

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENTAL KOMPOZİTLERDE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNDEN ÜRETİLEN SİLİKA
TOZLARININ KULLANILMASI**

YELİZ ELALMIŞ

**DOKTORA TEZİ
BİYOMÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI
BİYOMÜHENDİSLİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. SEVİL YÜCEL
EŞ DANIŞMAN
PROF. DR. İSMAİL AYDIN**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DENTAL KOMPOZİTLERDE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNDEN ÜRETİLEN SİLİKA
TOZLARININ KULLANILMASI**

Yeliz ELALMIŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 09.06.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Sevil YÜCEL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr. İsmail AYDIN

İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Ülker BEKER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail BOZ

İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Burçin PİŞKİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hanzade AÇMA

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mithat ÇELEBİ

Yalova Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2012-07-04-DOP01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, desteklerini esirgemeyen çok değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Sevil YÜCEL ve Prof. Dr. İsmail AYDIN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Değerli hocalarım Prof. Dr. İsmail BOZ ve Prof. Dr. Ülker BEKER'e katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında her türlü analiz imkanını sağlayan, bilgi ve birikimiyle destek olan Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Kimyasal Teknolojier Anabilim Dalı başkanı çok değerli hocam Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Analizlerimin yapılmasında emeği geçen Yrd. Doç. Dr. Aysel KANTÜRK FİGEN başta olmak üzere, Arş. Gör. Dr. Özgül DERE ÖZDEMİR, Arş. Gör. Dr. A. Seyhun KIPÇAK ve Yüksek Kimya Mühendisi Bilge COŞKUNER'e çok teşekkür ederim.

Üç-nokta kırma ve Vickers sertlik testlerimin yapılmasında emeği geçen Arş. Gör. M. Fatih ERGİN ve Dr. Bilge S. TEKEREK'e, sonuçlarımın istatistiksel analizlerinde yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Serpil KILIÇ DEPREN'e çok teşekkür ederim. Laboratuvar olanaklarından yararlanma imkanı sunan Biyomühendislik Bölüm Başkanı Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK ve öğretim üyesi Doç. Dr. Mehmet Burçin PİŞKİN'e çok teşekkür ederim. Çalışma arkadaşlarım Yüksek Kimyager Özlem TAVUKÇUOĞLU, Dr. Murat TOPUZOĞULLARI, Biyomühendis Burcu KARAKUZU, Tülay Merve TEMEL ve Ali Can ÖZARSLAN'a desteklerinden dolayı teşekkürü borç bilirim.

23 Kasım 2009'da kaybettiğim, çok değerli hocam Prof. Dr. Huriye KUZU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyor, kendisini saygı, sevgi ve rahmet ile anıyorum.

Hayatım boyunca yanımda olan ve her konuda bana destek olan sevgili babam İdris BAŞARAN, annem Hayriye BAŞARAN ve kardeşim Metin BAŞARAN'a sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım. Doktora tez çalışmalarım esnasında desteğini esirgemeyen eşim Ceyhun ELALMIŞ'a teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Haziran, 2015

Yeliz BAŞARAN ELALMIŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xviii
ÖZET	xxviii
ABSTRACT.....	xxx
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez.....	4
BÖLÜM 2	
DENTAL KOMPOZİTLER	5
2.1 Dental Kompozit Malzemeler ve Bileşimleri.....	6
2.1.1 Organik Matris	6
2.1.1.1 Rezin Monomerler	7
2.1.1.2 Polimerizasyon Başlatıcı Sistem	8
2.1.2 Ara Faz	10
2.1.3 İnorganik Faz.....	11
2.2 Dental Kompozitlerin Sınıflandırılması	13
2.3 Dental Kompozitlerin Özellikleri	15
2.3.1 Fiziksel Özellikler.....	16
2.3.1.1 Çalışma ve Polimerizasyon Süreleri	16
2.3.1.2 Polimerizasyon Büzülmesi ve Gerilmesi.....	17
2.3.1.3 Isıl Özellikleri	17
2.3.1.4 Su Emilimi.....	18

2.3.1.5	Çözünürlük	19
2.3.1.6	Renk ve Renk Kararlılığı	19
2.3.2	Mekanik Özellikleri	20
2.3.2.1	Dayanım ve Modülüs	20
2.3.2.2	Mikro Sertlik (Knoop Hardness)	21
2.3.2.3	Dental Substratlara Bağlanma Kuvveti	21
	Diş Minesi ve Dentin	21
	Diğer Substratlar	21
2.3.3	Klinik Özellikler	22
2.3.3.1	Işık ile Sertleşen Kompozitler için Sertleşme Derinliği	22
2.3.3.2	Radyo-opasite	22
2.3.3.3	Aşınma Oranları	23
2.3.3.4	Biyo-uyumluluk	24
2.4	Dental Kompozitlere Uygulanan Testler	26
2.4.1	Üç-nokta Bükülme Testi	27
2.4.2	Su Absorpsiyonu ve Çözünürlük Testi	29
2.4.3	Vickers Sertlik Testi	29

BÖLÜM 3

PIRİNÇ KABUĞU KÜLÜ VE SİLİKA.....	31
3.1 Pirinç Kabuğu	32
3.2 Pirinç Kabuğu Külü	34
3.3 Pirinç Kabuğu ve Pirinç Kabuğu Külünden Silika Üretimi.....	35
3.3.1 Doğrudan Yakma	35
3.3.2 Ön Muamele Sonrası Yakma	36
3.3.3 Alkali Ekstraksiyon Sonrası Çöktürme ile Silika Eldesi	37
3.3.3.1 Sodyum Hidroksit ile Ekstraksiyon	37
Sodyum Hidroksit Ekstraksiyonu Sonrası Asit ile Silika Eldesi	37
Sodyum Hidroksit Ekstraksiyonu Sonrası Karbonlama ile Silika Eldesi ...	39
3.3.3.2 Sodyum Karbonat ile Ekstraksiyon.....	41
Sodyum Karbonat Ekstraksiyonu Sonrası Karbonlama ile Silika Eldesi ..	41
3.3.4 Hidrotermal Yöntem.....	42

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	44
4.1 Kullanılan Malzemeler	44
4.1.1 Hammaddeler	44
4.1.1.1 Pirinç Kabuğu Külü	44
4.1.2 Kimyasal Malzemeler	45
4.1.2.1 Dental Kompozitlerin Organik Matrisini Oluşturan Kimyasallar ..	46
4.1.2.2 Dental Kompozitlerin İnorganik Fazını Oluşturan Kimyasallar	47
4.1.2.3 Foto-başlatıcı Olarak Kullanılan Kimyasallar	55
4.1.2.4 Silan ile Muamele İşleminde Kullanılan Kimyasallar	55
4.1.2.5 Silika Üretiminde Kullanılan Kimyasallar	58
4.2 Kullanılan Cihazlar	59

4.2.1	Enstrümental Analiz Cihazları	59
4.2.1.1	X-Işını Difraktometresi (XRD)	59
4.2.1.2	Diferansiyel Termal Analiz/Termogravimetri Cihazı (DTA/TG)	59
4.2.1.3	X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)	60
4.2.1.4	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	60
4.2.1.5	İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES)	60
4.2.1.6	Adsorpsiyon Cihazı	61
4.2.1.7	Partikül Boyut Analizörü	61
4.2.2	Mekanik Test Cihazları	61
4.2.2.1	Universal Mekanik Test Cihazı	61
4.2.2.2	Mikro-Sertlik Test Cihazı	62
4.2.3	Diğer Cihazlar ve Yardımcı Malzemeler	62
4.2.3.1	Yüksek Sıcaklık Fırını	62
4.2.3.2	Mekanik Öğütücü	62
4.2.3.3	Mikrodalga Sentez Cihazı	62
4.2.3.4	pH-Metre	62
4.2.3.5	Santrifüj	63
4.2.3.6	LED Işık Cihazı	63
4.2.3.7	Etüv	63
4.2.3.8	Terazi	63
4.2.3.9	Manyetik Karıştırıcı (Isıtıcı)	63
4.2.3.10	Vakum Etüv	63
4.2.3.11	Yardımcı Araç ve Gereçler	64
4.3	DeneySEL Yöntem	64
4.3.1	Pirinç Kabuğu Külü İşlemleri	65
4.3.1.1	Alınan Pirinç Kabuğu Külünün Karakterizasyonu	65
4.3.1.2	Pirinç Kabuğu Külünün Silika Üretimi İçin Hazırlanması	65
4.3.2	Silika Tozlarının Üretimi ve Karakterizasyonu	67
4.3.3	Dental Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu	72
4.3.3.1	Dental Kompozitlerin Hazırlanması	72
	Dental Kompozitlerde Kullanılan Organik Fazın Hazırlanması	72
	Dental Kompozitlerde Kullanılan İnorganik Fazın Hazırlanması	72
	Dental Kompozit Karışımların Hazırlanması	74
4.3.3.2	Hazırlanan Dental Kompozitlerin Karakterizasyonu	75
	Mikro (Vickers) Sertik Testi	75
	Üç-nokta Kırma Testi	76
	Su Absorpsiyonu ve Suda Çözünürlük Testi	77
4.3.4	İstatistiksel Analiz	79

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA	80
5.1 Pirinç Kabuğu Külünün Yapısal Özellikleri	80
5.2 Pirinç Kabuğu Külünden Silika Üretimi	88
5.2.1 Silika Tozu Elde Yöntemlerinin Değerlendirilmesi	88
5.2.2 Elde Edilen Silika Tozlarının Karakterizasyonu	96

5.2.2.1	XRD Sonuçları	96
5.2.2.2	SEM Görüntüleri.....	97
5.2.2.3	Partikül Boyut Dağılımı Sonuçları.....	100
5.2.2.4	FT-IR Sonuçları.....	101
5.2.2.5	ICP-OES Sonuçları.....	102
5.2.2.6	Azot Adsorpsiyon Sonuçları	103
5.2.2.7	Termogravimetrik Analiz Sonuçları.....	103
5.3	Dental Kompozitlerin Hazırlanmasında Kullanılacak Foto-başlatıcı Miktarı ve İnorganik Doldurucu Silan Bağlama İşleminin Değerlendirilmesi	107
5.3.1	Foto-başlatıcı Miktarının Değerlendirilmesi.....	107
5.3.2	Silan Bağlama İşleminin Değerlendirilmesi	109
5.4	Dental Kompozitlerin Fiziksel Özellikleri.....	113
5.4.1	Mekanik Test Sonuçları	113
5.4.1.1	Vickers Sertlik Testi Sonuçları	113
	pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Vickers Sertlik Sonuçları.....	113
	pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Vickers Sertlik Sonuçları.....	119
	pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Vickers Sertlik Sonuçları.....	121
5.4.1.2	Üç-nokta Kırma Testi Sonuçları.....	127
	pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Esneme Dayanımı Sonuçları..	127
	pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Esneme Dayanımı Sonuçları..	132
	pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Esneme Dayanımı Sonuçları..	133
	pH 4 Silika İçeren Kompozitlerin Elastisite Modülü Sonuçları	138
	pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Elastisite Modülü Sonuçları ..	142
	pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Elastisite Modülü Sonuçları ..	143
	pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Tokluk Sonuçları.....	148
	pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Tokluk Sonuçları.....	152
	pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Tokluk Sonuçları.....	153
5.4.2	Su Testi Sonuçları.....	157
5.4.2.1	Su Absorpsiyonu Sonuçları.....	157
	pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Su Absorpsiyonu Sonuçları ...	157
	pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Su Absorpsiyonu Sonuçları ...	161
	pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Su Absorpsiyonu Sonuçları ...	163
5.4.2.2	Suda Çözünürlük Sonuçları.....	167
	pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Suda Çözünürlük Sonuçları ...	167
	pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Suda Çözünürlük Sonuçları ...	171
	pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Suda Çözünürlük Sonuçları ...	172

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER	176
-------------------------	-----

KAYNAKLAR.....	180
----------------	-----

EK-A

İSTATİSTİKSEL ANALİZ	190
----------------------------	-----

A-1 Vickers Sertlik İstatistiksel Analiz Sonuçları.....	190
---	-----

A-2 Üç-nokta Kırma Testi Sonuçlarının İstatistiksel Analizi	208
---	-----

A-3 Su Testi Sonuçlarının İstatistiksel Analizi.....	235
ÖZGEÇMİŞ.....	252

SİMGE LİSTESİ

A	Üretilen silika tozunun yüzey alanı
cm	Santimetre
f	Silan ile modifiye edilecek silika miktarı
g	Gram
GPa	Gigapascal
HV	Vickers sertlik sayısı
J	Joule
M	Molarite
μm	Mikrometre
ml	mililitre
mm	milimetre
MPa	Megapascal
ω	Silanın kapladığı alan
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
sn	Saniye
rpm	Dakikadaki devir sayısı (revolution per minute)
γ	Gama
X	Kullanılacak γ -MPS miktarı
θ	Teta açısı

KISALTMA LİSTESİ

BET	Brunauer-Emmett-Teller
Bis-DMA	Bisfenol-A Dimetakrilat
Bis-EMA	Etoksillenmiş Bisfenol-A Dimetakrilat
Bis-GMA	Bisfenol-A Glisidil Metakrilat
CQ	Camphorquinone
DTA/TG	Diferansiyel Terman Analiz/ Termogravimetri Cihazı
EGDMA	Etilenglikol Dimetakrilat
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division
FT-IR	Fourier Transform İnfrared Spektrometre
HA	Hidroksiapatit
HEMA	2-Hidroksietil Metakrilat
ICP-OES	İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
ISO	International Organization for Standardization
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
KK	Kızdırma Kaybı
LED	Light Emitting Diode
MMA	Metil Metakrilat
PDF	Powder Difrraction File
SEM-EDS	Taramalı Elektron Mikroskop-
TEGDMA	Trietilenglikol Dimetakrilat
UDMA	Üretan Dimetakrilat
UTMA	Üretan Tetrametakrilat
XRD	X-Işını Difraktometresi
XRF	X-Işını Floresans Spektrometresi
γ -MPS	γ -Metakriloksipropil Trimetoksi Silan

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Kompozit bir malzemenin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2. 2 Bis-GMA, UDMA ve TEGDMA monomerlerinin yapısı [17]	8
Şekil 2. 3 CQ'nun tersiyer amin varlığında foto-başlatıcı mekanizması [20]	9
Şekil 2. 4 Dental kompozitlerde doldurucu ve polimer matris arasında silan vasıtasıyla gerçekleşen bağlanmanın basit şematik gösterimi [10]	10
Şekil 2. 5 γ -MPS'nin kimyasal yapısı [26], [29]	11
Şekil 2. 6 Dental kompozitlerin güçlendirici doldurucularının boyutlarına bağlı sınıflandırması [65].	15
Şekil 2. 7 Dental kompozitlerin özellikleri.....	16
Şekil 2. 8 Üç-nokta bükülme testi	27
Şekil 2. 9 Vickers sertlik testinde numune yüzeyindeki yükün kaldırılması sonrası oluşan iz ve köşegen uzunluklarının belirlenmesi	30
Şekil 4. 1 Kullanılan pirinç kabuğu külünün görüntüsü.....	44
Şekil 4. 2 Bis-GMA monomerinin kimyasal formülü	46
Şekil 4. 3 HEMA monomerinin kimyasal formülü	46
Şekil 4. 4 Ticari TiO_2 tozunun XRD paterni	48
Şekil 4. 5 Ticari ZrO_2 tozunun XRD paterni.....	48
Şekil 4. 6 Ticari Al_2O_3 tozunun XRD paterni	49
Şekil 4. 7 Ticari HA tozunun XRD paterni	49
Şekil 4. 8 TiO_2 'nin SEM görüntüleri, (a) X 5000 (b) X 10000 (c) X 20000	51
Şekil 4. 9 ZrO_2 'nin SEM görüntüleri, (a) X 1000 (b) X 5000 (c) X 10000.....	52
Şekil 4. 10 Al_2O_3 'ün SEM görüntüleri, (a) X 1000 (b) X 10000 (c) X 5000	53
Şekil 4. 11 HA'nın SEM görüntüleri, (a) X 5000 (b) X 10000 (c) X 20000	54
Şekil 4. 12 Ticari HA numunesinin partikül boyut dağılım grafiği	54
Şekil 4. 13 (a) CQ, (b) DMAM molekülünün kimyasal formülü	55
Şekil 4. 14 γ -MPS molekülünün kimyasal formülü.....	56
Şekil 4. 15 Propilamin molekülünün kimyasal formülü	56
Şekil 4. 16 Üniversal mekanik test cihazı H10K-S (Hounsfield, İngiltere)	61
Şekil 4. 17 Mekanik öğütücü ve öğütme kapları	62
Şekil 4. 18 Ana hatları ile tez çalışması süresince izlenen deneysel yöntem.....	64
Şekil 4. 19 Alınan pirinç kabuğu külüne uygulanan öğütme ve yakma işlemleri.....	67
Şekil 4. 20 Tekrar yakılan pirinç kabuğu külüne uygulanan asit muamele işlemi.....	67
Şekil 4. 21 Sodyum silikat çözeltisinden HCl ilavesi ile pH 9'da jel eldesi.....	69

Şekil 4. 22 Sodyum silikat çözeltisinden HCl ilavesi ile pH 4'te hazırlanan silika jel, (a) 30 °C'de 18 saat yaşlandırma öncesi ve (b) sonrası.....	69
Şekil 4. 23 Silika jel yıkama ve kurutma işlemleri sonrası "xerogel" eldesi	70
Şekil 4. 24 Asit ile muamele edilmiş pirinç kabuğu külünden "xerogel" eldesi	70
Şekil 4. 25 "Xerogel"den toz silika eldesi	71
Şekil 4. 26 "Xerogel"e uygulanan öğütme işlemi ve sonrasında elde edilen silika toz numunenin yıkama ve kurutma işlemleri	71
Şekil 4. 27 Doldurucu tozlarının siklohegzan içerisinde γ -MPS ve propilamin ile birlikte (a) oda sıcaklığında, (b) 60 °C'de karıştırılması işlemi.....	73
Şekil 4. 28 Vickers sertlik testi için (a) kullanılan kalıp ve cam malzemeler, (b) hazırlanan dental kompozit karışımların kalıplama işlemi	76
Şekil 4. 29 Üç-nokta kırma testi için (a) numunelerin hazırlanmasında kullanılan kalıp sistemi, (b) polimerizasyon şeması ve (c) hazırlanan numune örnekleri	76
Şekil 4. 30 Su absorpsiyonu ve suda çözünürlük testi için numunelerin hazırlanması...	77
Şekil 4. 31 Su absorpsiyonu ve suda çözünürlük testi için hazırlanan numuneler	78
Şekil 5. 1 Çeltik fabrikasından temin edilen pirinç kabuğu külünün XRD paterni.....	80
Şekil 5. 2 Alınan pirinç kabuğu külünün SEM görüntüleri, (a) X 40, (b) X 500, (c) X 1000, (d) X 5000	81
Şekil 5. 3 Alınan pirinç kabuğu külünün SEM-EDS ile incelenen bölgeleri, (a) X 500-1. bölge, (b) X-500-2. bölge, (c) X 500-3. bölge, (d) X 5000-4. bölge, (e) X 5000-5.bölge ..	82
Şekil 5. 4 Alınan pirinç kabuğu külünün O ₂ atmosferinde gerçekleştirilen DTA/TG analizi sonucu elde edilen DTA, DTG ve TG eğrileri	84
Şekil 5. 5 Alınan pirinç kabuğu külünün N ₂ atmosferinde gerçekleştirilen termogravimetrik analizi sonucu elde edilen termogram ve DTG eğrisi.....	85
Şekil 5. 6 Alınan pirinç kabuğu külünün N ₂ ve O ₂ atmosferinde gerçekleştirilen termogravimetrik analizi sonucu elde edilen termogramları.....	86
Şekil 5. 7 Alınan pirinç kabuğu külünün FT-IR spektrumu	88
Şekil 5. 8 450 °C'de 5 saat tekrar yakılan pirinç kabuğu külünün XRD paterni.....	90
Şekil 5. 9 600 °C'de 5 saat tekrar yakılan pirinç kabuğu külünün XRD paterni.....	91
Şekil 5. 10 750 °C'de 5 saat tekrar yakılan pirinç kabuğu külünün XRD paterni.....	91
Şekil 5. 11 900 °C'de 5 saat tekrar yakılan pirinç kabuğu külünün XRD paterni.....	92
Şekil 5. 12 900°C'de yeniden yakılmış pirinç kabuğu külünden elde edilen SiO ₂ toz numunesinin XRD paterni	93
Şekil 5. 13 Mikrodalga ekstraksiyon çalışması sonuçları	95
Şekil 5. 14 (a) pH 4, (b) pH 7 ve (c) pH 9'da üretilen SiO ₂ tozlarının XRD paterni.....	96
Şekil 5. 15 pH 4'te üretilen SiO ₂ 'nin SEM görüntüleri, (a) X 100 (b) X 1000 (c) X 5000 (d) X 10000 (e) X 10000	97
Şekil 5. 16 pH 7'de üretilen SiO ₂ 'nin SEM görüntüleri, (a) X 100 (b) X 1000 (c) X 5000 (d) X 10000 (e) X 10000	98
Şekil 5. 17 pH 9'da üretilen SiO ₂ 'nin SEM görüntüleri, (a) X 100 (b) X 1000 (c) X 5000 (d) X 10000 (e) X 10000	99
Şekil 5. 18 (a) pH 4, (b) pH 7 ve (c) pH 9'da üretilen silika tozlarının partikül boyut dağılımları	100
Şekil 5. 19 pH 4, 7 ve 9'da üretilen SiO ₂ numunelerinin FT-IR spektrumları	101
Şekil 5. 20 pH 4 SiO ₂ termogram ve DTG eğrisi.....	104
Şekil 5. 21 pH 7 SiO ₂ Termogram ve DTG eğrisi	105

Şekil 5. 22 pH 9 SiO ₂ Termogram ve DTG eğrisi	105
Şekil 5. 23 Monomer karışıma ilave edilen CQ miktarına bağlı olarak elastisite modülü ve esneme dayanımı değerleri.....	108
Şekil 5. 24 pH 4'te üretilen SiO ₂ toz numunesi ve γ-MPS ile modifiye edilmiş pH 4'te üretilen SiO ₂ toz numunesinin FT-IR spektrumları	109
Şekil 5. 25 pH 7'de üretilen SiO ₂ toz numunesi ve γ-MPS ile modifiye edilmiş pH 7'de üretilen SiO ₂ toz numunesinin FT-IR spektrumları	110
Şekil 5. 26 pH 9'da üretilen SiO ₂ toz numunesi ve γ-MPS ile modifiye edilmiş pH 9'da üretilen SiO ₂ toz numunesinin FT-IR spektrumları	111
Şekil 5. 27 HA ve γ-MPS modifiye HA tozunun FT-IR spektrumları.....	112
Şekil 5. 28 γ-MPS modifiye HA tozunun HA ile kör alındıktan sonraki FT-IR spektrumu	113
Şekil 5. 29 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH 4 SiO ₂ -MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı Vickers sertlik grafiği	114
Şekil 5. 30 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri	116
Şekil 5. 31 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri	118
Şekil 5. 32 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri	119
Şekil 5. 33 pH 7 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı Vickers sertlik değerleri.....	121
Şekil 5. 34 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA bileşimlerine bağlı Vickers sertlik değerleri	122
Şekil 5. 35 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri	123
Şekil 5. 36 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri	124
Şekil 5. 37 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganığı % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO ₂ -MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı Vickers sertlik grafiği	125
Şekil 5. 38 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı Vickers sertlik değerleri	126
Şekil 5. 39 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı Vickers sertlik değerleri	126
Şekil 5. 40 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH4 SiO ₂ -MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı esneme dayanımı değerleri.....	127

Şekil 5. 41 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri.....	129
Şekil 5. 42 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri.....	130
Şekil 5. 43 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri.....	131
Şekil 5. 44 pH 7 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı esneme dayanımı değerleri.....	133
Şekil 5. 45 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA bileşimlerine bağlı esneme dayanımı değerleri.....	134
Şekil 5. 46 İnorganik doldurucu olarak pH9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri	135
Şekil 5. 47 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri.....	136
Şekil 5. 48 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganığı % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO ₂ -MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı esneme dayanımı değerleri	136
Şekil 5. 49 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı esneme dayanımı değerleri	137
Şekil 5. 50 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı esneme dayanımı değerleri	138
Şekil 5. 51 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH4 SiO ₂ -MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı elastisite modülü değerleri.....	139
Şekil 5. 52 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA içeriklerine bağlı elastisite modülü değerleri	140
Şekil 5. 53 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı elastisite modülü değerleri	141
Şekil 5. 54 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı elastisite modülü değerleri	141
Şekil 5. 55 pH 7 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı elastisite modülü değerleri	143
Şekil 5. 56 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA bileşimlerine bağlı elastisite modülü değerleri.....	144

Şekil 5. 57 İnorganik doldurucu olarak pH9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı elastisite modülü değerleri	145
Şekil 5. 58 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganığı % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO ₂ -MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı elastisite modülü değerleri	146
Şekil 5. 59 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı elastisite modülü değerleri	147
Şekil 5. 60 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı elastisite modülü değerleri	147
Şekil 5. 61 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH 4 SiO ₂ -MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı tokluk değerleri	148
Şekil 5. 62 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA içeriklerine bağlı tokluk değerleri	150
Şekil 5. 63 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı tokluk değerleri	151
Şekil 5. 64 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı tokluk değerleri	151
Şekil 5. 65 pH 7 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı tokluk değerleri	153
Şekil 5. 66 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA bileşimlerine bağlı tokluk değerleri	153
Şekil 5. 67 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı tokluk değerleri	155
Şekil 5. 68 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganığı % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO ₂ -MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı tokluk değerleri.....	156
Şekil 5. 69 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı tokluk değerleri.....	156
Şekil 5. 70 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı tokluk değerleri.....	157
Şekil 5. 71 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH4 SiO ₂ -MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % su absorpsiyonu değerleri.....	158
Şekil 5. 72 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri.....	159

Şekil 5. 73 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri	160
Şekil 5. 74 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri	161
Şekil 5. 75 pH 7 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı % su absorpsiyonu değerleri	162
Şekil 5. 76 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri	163
Şekil 5. 77 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri	164
Şekil 5. 78 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganığı % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO ₂ -MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % su absorpsiyonu değerleri	165
Şekil 5. 79 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % su absorpsiyonu değerleri	166
Şekil 5. 80 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % su absorpsiyonu değerleri	166
Şekil 5. 81 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH 4 SiO ₂ -MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % çözünürlük değerleri	167
Şekil 5. 82 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri	169
Şekil 5. 83 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri	170
Şekil 5. 84 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri	170
Şekil 5. 85 pH 7 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı % çözünürlük değerleri	172
Şekil 5. 86 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO ₂ – HA içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri	173
Şekil 5. 87 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO ₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri	174
Şekil 5. 88 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganığı % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO ₂ -MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % çözünürlük değerleri	174

Şekil 5. 89 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO_2 -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % çözünürlük değerleri	175
Şekil 5. 90 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO_2 -MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % çözünürlük değerleri	175

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 2010 – 2013 yılları Türkiye, Asya kıtası ve Dünya pirinç üretimi verileri [FAOSTAT]	32
Çizelge 3. 2 Pirinç kabuğu organik bileşenleri [82], [85]	33
Çizelge 3. 3 Pirinç kabuğu külünün kimyasal analizi [81], [88]	34
Çizelge 4. 1 Deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar ve kullanım amaçları	45
Çizelge 4. 2 Organik matriksi oluşturan Bis-GMA ve HEMA'nın teknik özellikleri	46
Çizelge 4. 3 Deneysel dental kompozitlerde doldurucu olarak kullanılan HA, Al ₂ O ₃ ve ZrO ₂ tozlarının teknik özellikleri	47
Çizelge 4. 4 Ticari HA tozu difraksiyon açıları ve fazları	50
Çizelge 4. 5 Foto-başlatıcı olarak kullanılan CQ ve DMAM'nin teknik özellikleri	55
Çizelge 4. 6 γ -MPS'nin teknik özellikleri	56
Çizelge 4. 7 Siklohegzan kimyasalına ait kimyasal ve fiziksel veriler	57
Çizelge 4. 8 Propilamin kimyasalına ait kimyasal ve fiziksel veriler	57
Çizelge 4. 9 Hidroklorik asit kimyasalına ait teknik özellikler	58
Çizelge 4. 10 Sodyum hidroksit kimyasalına ait teknik özellikler	58
Çizelge 4. 11 Sodyum hidroksit kimyasalının eser miktardaki katyon içerikleri	59
Çizelge 4. 12 pH 4'te üretilen SiO ₂ tozları kullanılarak hazırlanan dental kompozitler	74
Çizelge 4. 13 pH 7'de üretilen SiO ₂ tozları kullanılarak hazırlanan dental kompozitler	75
Çizelge 4. 14 pH 9'da üretilen SiO ₂ tozları kullanılarak hazırlanan dental kompozitler	75
Çizelge 5. 1 Alınan pirinç kabuğu külünün XRF analiz sonuçları	81
Çizelge 5. 2 Alınan pirinç kabuğu külünün 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı bölgelerine ait SEM-EDS sonuçları	83
Çizelge 5. 3 Alınan pirinç kabuğu külünün kısa analizi	86
Çizelge 5. 4 Alınan pirinç kabuğu külünün TG vasıtasıyla belirlenen kızdırma kaybı göz önüne alındığında XRF sonuçları	86
Çizelge 5. 5 Alınan pirinç kabuğu külünün ICP-OES analiz sonuçları	87
Çizelge 5. 6 Pirinç kabuğu külünün farklı sıcaklıklarda 5 saat süre ile tekrar yakılması esnasında meydana gelen ağırlık kayıpları	89
Çizelge 5. 7 Alınan pirinç kabuğu külü ve farklı sıcaklık değerlerinde tekrar yakılması ile elde edilen kül örneklerinin XRF analiz sonuçları ve 1000°C'deki kızdırma kayıpları	89
Çizelge 5. 8 Alınan pirinç kabuğu külü ve 450, 600, 750 ve 900°C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü numunelerinin % kristal içerikleri	93

Çizelge 5. 9 Alınan pirinç kabuğu külünün tekrar yakma sıcaklığına ve silika jel pH değerine bağlı olarak silika verimi (Silika üretimi geleneksel yöntem ile gerçekleştirildi)	94
Çizelge 5. 10 Geleneksel yöntem ve mikrodalga ile ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen sodyum silikat çözeltilerinin $n\text{SiO}_2/n\text{Na}_2\text{O}$ oranları	95
Çizelge 5. 11 450°C’de tekrar yakılan pirinç kabuğu külünden mikrodalga ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen sodyum silikat çözeltisinden silika eldesi verimi	95
Çizelge 5. 12 pH 4, 7 ve 9’da üretilen silika tozlarının ortalama partikül boyutları	101
Çizelge 5. 13 pH 4, 7 ve 9’da hazırlanan silika jellerden üretilen silika toz numunelerinin ICP-OES sonuçları	102
Çizelge 5. 14 pH 4, 7 ve 9’da hazırlanan silika jellerden üretilen silika toz numunelerinin yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek boyutu değerleri	103
Çizelge 5. 15 Üretilen silika örneklerinin termogramlarında ilk adımın sonlandığı sıcaklık değerleri ve fiziksel olarak adsorplanmış su içerikleri	106
Çizelge 5. 16 Üretilen silika numunelerinin silanol sayıları	107
Çizelge 5. 17 Monomer karışıma ilave edilen CQ miktarına bağlı olarak elastisite modülü ve esneme dayanımı değerleri (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir)	108
Çizelge 5. 18 pH 4 SiO_2 -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin Vickers sertlik değerleri	114
Çizelge 5. 19 pH 4 SiO_2 -MPS ve HA-MPS tozları ile hazırlanan deneysel kompozitlerin Vickers sertlik değerleri	115
Çizelge 5. 20 pH 4 SiO_2 -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı Vickers sertlik değerleri	117
Çizelge 5. 21 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO_2 -MPS içeren ve pH 4 SiO_2 -MPS’nin yanısıra Al_2O_3 , ZrO_2 ve TiO_2 içeren kompozitlerin Vickers Sertlikleri	119
Çizelge 5. 22 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 7 SiO_2 -MPS içeren kompozit Vickers sertlik değeri	120
Çizelge 5. 23 pH 7 SiO_2 -MPS, HA-MPS ve Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 içeren dental kompozitlerin Vickers sertlik değerleri	120
Çizelge 5. 24 pH 9 SiO_2 -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin Vickers sertlik değerleri	122
Çizelge 5. 25 pH 9 SiO_2 -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı Vickers sertlik değerleri	124
Çizelge 5. 26 pH 4 SiO_2 -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin esneme dayanımı değerleri	127
Çizelge 5. 27 İnorganik olarak pH 4 SiO_2 -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin esneme dayanımı değerleri	128
Çizelge 5. 28 pH 4 SiO_2 -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı esneme dayanımı değerleri	130
Çizelge 5. 29 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO_2 -MPS içeren ve pH 4 SiO_2 -MPS’nin yanısıra Al_2O_3 , ZrO_2 ve TiO_2 içeren kompozitlerin esneme dayanımları	132
Çizelge 5. 30 pH 7 SiO_2 -MPS içeren dental kompozitlerin esneme dayanımı değerleri	132
Çizelge 5. 31 pH 7 SiO_2 -MPS, HA-MPS ve Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 içeren dental kompozitlerin esneme dayanımı değerleri	133

Çizelge 5. 32 pH 9 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin esneme dayanımı değerleri.....	134
Çizelge 5. 33 pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı esneme dayanımı değerleri	135
Çizelge 5. 34 pH4 SiO ₂ -MPS içeren dental kompozitlerin elastisite modülü değerleri	138
Çizelge 5. 35 İnorganik olarak pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin elastisite modülü değerleri	139
Çizelge 5. 36 pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı elastisite modülü değerleri	140
Çizelge 5. 37 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO ₂ -MPS içeren ve pH 4 SiO ₂ -MPS'nin yanısıra Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ ve TiO ₂ içeren kompozitlerin elastisite modülü	142
Çizelge 5. 38 pH 7 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozit malzemenin elastisite modülü değerleri	142
Çizelge 5. 39 pH 7 SiO ₂ -MPS, HA-MPS ve Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂ içeren dental kompozitlerin elastisite modülü değerleri	143
Çizelge 5. 40 pH 9 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin elastisite modülü değerleri.....	144
Çizelge 5. 41 pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı elastisite modülü değerleri	145
Çizelge 5. 42 pH 4 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin tokluk değerleri.....	148
Çizelge 5. 43 pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin tokluk değerleri.....	149
Çizelge 5. 44 pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı tokluk değerleri.....	150
Çizelge 5. 45 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO ₂ -MPS içeren ve pH 4 SiO ₂ -MPS'nin yanısıra Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ ve TiO ₂ içeren kompozitlerin elastisite modülü	152
Çizelge 5. 46 pH 7 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin tokluk değerleri.....	152
Çizelge 5. 47 pH 7 SiO ₂ -MPS, HA-MPS ve Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂ içeren dental kompozitlerin tokluk değerleri.....	152
Çizelge 5. 48 pH 9 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin tokluk değerleri.....	154
Çizelge 5. 49 pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı tokluk değerleri.....	154
Çizelge 5. 50 pH 4 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin su absorpsiyonu değerleri.....	157
Çizelge 5. 51 pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren dental kompozitlerin % su absorpsiyonu değerleri.....	158
Çizelge 5. 52 pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % su absorpsiyonu değerleri.....	160
Çizelge 5. 53 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO ₂ -MPS içeren ve pH 4 SiO ₂ -MPS'nin yanısıra Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ ve TiO ₂ içeren kompozitlerin % su absorpsiyonu	161
Çizelge 5. 54 pH 7 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin su absorpsiyonu değerleri.....	162
Çizelge 5. 55 pH 7 SiO ₂ -MPS, HA-MPS ve Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂ içeren dental kompozitlerin % su absorpsiyonu değerleri.....	162
Çizelge 5. 56 pH 9 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin su absorpsiyonu değerleri.....	163

Çizelge 5. 57 pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % su absorpsiyonu değerleri.....	165
Çizelge 5. 58 pH 4 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin çözünürlük değerleri	167
Çizelge 5. 59 pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren dental kompozitlerin % çözünürlük değerleri.....	168
Çizelge 5. 60 pH 4 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % çözünürlük değerleri	169
Çizelge 5. 61 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO ₂ -MPS içeren ve pH 4 SiO ₂ -MPS'nin yanısıra Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ ve TiO ₂ içeren kompozitlerin % su absorpsiyonu	171
Çizelge 5. 62 pH 7 SiO ₂ -MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin çözünürlük değeri ..	171
Çizelge 5. 63 pH 7 SiO ₂ -MPS, HA-MPS ve Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂ içeren dental kompozitlerin % çözünürlük değerleri	171
Çizelge 5. 64 pH 9 SiO ₂ ile hazırlanan dental kompozitlerin çözünürlük değerleri.....	172
Çizelge 5. 65 pH 9 SiO ₂ -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % çözünürlük değerleri	173
Çizelge EK-A. 1 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	190
Çizelge EK-A. 2 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	191
Çizelge EK-A. 3 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	191
Çizelge EK-A. 4 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	191
Çizelge EK-A. 5 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	192
Çizelge EK-A. 6 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	192
Çizelge EK-A. 7 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	192
Çizelge EK-A. 8 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	193
Çizelge EK-A. 9 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	193
Çizelge EK-A. 10 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	193
Çizelge EK-A. 11 Grup numarası 4 – 6 – 1, 4 – 6 – 2 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	194
Çizelge EK-A. 12 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları.....	194
Çizelge EK-A. 13 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	194
Çizelge EK-A. 14 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	195
Çizelge EK-A. 15 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları.....	195

Çizelge EK-A. 16 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	196
Çizelge EK-A. 17 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	196
Çizelge EK-A. 18 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları.....	197
Çizelge EK-A. 19 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	197
Çizelge EK-A. 20 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	198
Çizelge EK-A. 21 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	198
Çizelge EK-A. 22 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	198
Çizelge EK-A. 23 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları.....	199
Çizelge EK-A. 24 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	199
Çizelge EK-A. 25 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	200
Çizelge EK-A. 26 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	200
Çizelge EK-A. 27 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	200
Çizelge EK-A. 28 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları	201
Çizelge EK-A. 29 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2 ve 9 – 3 – olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	201
Çizelge EK-A. 30 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	201
Çizelge EK-A. 31 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	202
Çizelge EK-A. 32 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	202
Çizelge EK-A. 33 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	202
Çizelge EK-A. 34 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	203
Çizelge EK-A. 35 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	203
Çizelge EK-A. 36 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	203
Çizelge EK-A. 37 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	204
Çizelge EK-A. 38 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	204

Çizelge EK-A. 39 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları	205
Çizelge EK-A. 40 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	205
Çizelge EK-A. 41 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	206
Çizelge EK-A. 42 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	206
Çizelge EK-A. 43 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin ANOVA sonuçları.....	206
Çizelge EK-A. 44 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	207
Çizelge EK-A. 45 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları.....	207
Çizelge EK-A. 46 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları	207
Çizelge EK-A. 47 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 grup numaralı kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi.....	208
Çizelge EK-A. 48 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 grup numaralı kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	208
Çizelge EK-A. 49 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 grup numaralı kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	209
Çizelge EK-A. 50 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi.....	209
Çizelge EK-A. 51 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi	210
Çizelge EK-A. 52 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	210
Çizelge EK-A. 53 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	211
Çizelge EK-A. 54 Grup numarası 4 – 4 – 1 ve 4 – 4 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları	211
Çizelge EK-A. 55 Grup numarası 4 – 4 – 1 ve 4 – 4 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları	212
Çizelge EK-A. 56 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi	212
Çizelge EK-A. 57 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	213
Çizelge EK-A. 58 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	213
Çizelge EK-A. 59 Grup numarası 4 – 5 – 1 ve 4 – 5 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları	214
Çizelge EK-A. 60 Grup numarası 4 – 5 – 1 ve 4 – 5 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları	214
Çizelge EK-A. 61 Grup numarası 4 – 6 – 1, 4 – 6 – 2 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımlarının ANOVA analizi	215

Çizelge EK-A. 62 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi	215
Çizelge EK-A. 63 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi.....	216
Çizelge EK-A. 64 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi.....	217
Çizelge EK-A. 65 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi	217
Çizelge EK-A. 66 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi.....	218
Çizelge EK-A. 67 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinin Tukey HSD analizi	218
Çizelge EK-A. 68 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinin Tukey HSD analizi	219
Çizelge EK-A. 69 Grup numarası 4 – 3 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları	219
Çizelge EK-A. 70 Grup numarası 4 – 3 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları	220
Çizelge EK-A. 71 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları	220
Çizelge EK-A. 72 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları	221
Çizelge EK-A. 73 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi.....	222
Çizelge EK-A. 74 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluklarının Tukey HSD analizi	223
Çizelge EK-A. 75 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	224
Çizelge EK-A. 76 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi	225
Çizelge EK-A. 77 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	225
Çizelge EK-A. 78 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	226
Çizelge EK-A. 79 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi	226
Çizelge EK-A. 80 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi	227
Çizelge EK-A. 81 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi.....	227
Çizelge EK-A. 82 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları	228

Çizelge EK-A. 83 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları	228
Çizelge EK-A. 84 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları	229
Çizelge EK-A. 85 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları	229
Çizelge EK-A. 86 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları	230
Çizelge EK-A. 87 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları	230
Çizelge EK-A. 88 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları.....	231
Çizelge EK-A. 89 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları.....	231
Çizelge EK-A. 90 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi.....	232
Çizelge EK-A. 91 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü ve esneme dayanımı değerlerinin Tukey HSD analizi	232
Çizelge EK-A. 92 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü ve esneme dayanımı değerlerinin Tukey HSD analizi	233
Çizelge EK-A. 93 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi.....	233
Çizelge EK-A. 94 Grup numarası 4 – 6 – 3, 7 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi.....	234
Çizelge EK-A. 95 Grup numarası 4 – 6 – 3, 7 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	234
Çizelge EK-A. 96 Grup numarası 4 – 6 – 3, 7 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi	235
Çizelge EK-A. 97 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi.....	235
Çizelge EK-A. 98 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	236
Çizelge EK-A. 99 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	236
Çizelge EK-A. 100 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	237
Çizelge EK-A. 101 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu değerlerinin Tukey HSD analizi	237
Çizelge EK-A. 102 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu değerlerinin Tukey HSD analizi	237
Çizelge EK-A. 103 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	238
Çizelge EK-A. 104 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	238
Çizelge EK-A. 105 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	239

Çizelge EK-A. 106 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	239
Çizelge EK-A. 107 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	240
Çizelge EK-A. 108 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	240
Çizelge EK-A. 109 Grup numarası 4 – 6 – 1, 4 – 6 – 2 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	241
Çizelge EK-A. 110 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	241
Çizelge EK-A. 111 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	242
Çizelge EK-A. 112 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	242
Çizelge EK-A. 113 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	243
Çizelge EK-A. 114 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	243
Çizelge EK-A. 115 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi sonuçları	243
Çizelge EK-A. 116 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi sonuçları	244
Çizelge EK-A. 117 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	244
Çizelge EK-A. 118 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2, 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	245
Çizelge EK-A. 119 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2, 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	245
Çizelge EK-A. 120 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2, 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi	246
Çizelge EK-A. 121 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2, 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi	246
Çizelge EK-A. 122 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi	247
Çizelge EK-A. 123 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi	247
Çizelge EK-A. 124 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi	248
Çizelge EK-A. 125 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi	248
Çizelge EK-A. 126 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi	249
Çizelge EK-A. 127 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi	249
Çizelge EK-A. 128 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi	250

Çizelge EK-A. 129 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi	250
Çizelge EK-A. 130 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1, 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi.....	251
Çizelge EK-A. 131 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2, 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi.....	251
Çizelge EK-A. 132 Grup numarası 4 – 6 – 3, 7 – 2 – 3, 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi.....	251

DENTAL KOMPOZİTLERDE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNDEN ÜRETİLEN SİLİKA TOZLARININ KULLANILMASI

Yeliz ELALMIŞ

Biyomühendislik Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevil YÜCEL

Eş Danışman: Prof. Dr. İsmail AYDIN

Dental kompozitler sentetik polimerler, güçlendirici doldurucu partiküller, silan bağlama ajanı ve polimerizasyon reaksiyonunu başlatan moleküllerden oluşan diş renginde dolgu malzemeleridir. Bu malzemelerin kullanımı son dönemlerde tüketicinin estetik restorasyon malzemesi talebi ve civa içeren dental amalgam ile ilgili toplumsal kaygılar sebebi ile artmıştır. Kompozitin her bir bileşeni dental restorasyonun başarısında kritik bir öneme sahiptir. Ancak ticari kompozitlerin bugüne kadar olan gelişiminde en belirgin iyileştirmeler doğrudan inorganik doldurucu bileşenin modifikasyonu ile sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında tarımsal bir atık ve sürdürülebilir bir hammadde olan pirinç kabuğu külünden düşük maliyetli silika toz malzeme üretimi ve bu silika toz malzemelerin dental kompozitlerde doldurucu bileşen olarak uygulanabilirliği ilk defa incelendi. Bu amaçla; alınan pirinç kabuğu külü karakterize edilerek silika üretim parametreleri değerlendirildi ve üretilen silika numuneler karakterize edildi. Elde edilen silika toz numuneler ile birlikte ticari hidroksiapatit (HA), alüminyum oksit (Al_2O_3), zirkonyum oksit (ZrO_2) ve titanyum oksit (TiO_2) içeren 29 farklı kompozit hazırlandı ve bu kompozitlerin üç-nokta kırma, Vickers sertlik testleri gerçekleştirildi, su emilimi ve çözünürlükleri belirlendi. Elde edilen deneysel veriler sonucunda pH 4 ve 7’de üretilen silika tozlarının, incelenen kompozit özellikleri bazında, kompozit yapının fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlayacak ek inorganik malzemeler ile birlikte dental

kompozitlerde kullanılabileceği, pH 9'da üretilen silika tozların ise ışık ile sertleştirilen dental kompozitlerde kullanıma uygun olmadığı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Dental kompozitler, pirinç kabuğu külü, silika, elastisite modülü, esneme dayanımı, Vickers sertlik, su absorpsiyonu, çözünürlük.

**THE USE OF SILICA POWDERS PRODUCED FROM RICE HUSK ASH IN
DENTAL COMPOSITES**

Yeliz ELALMIŞ

Department of Biongeneering

PhD. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Sevil YÜCEL

Co-Adviser: Prof. Dr. İsmail AYDIN

Dental composites are tooth colored filling materials composed of synthetic polymers, reinforcing filler particles, silane coupling agent and molecules which initiate the polymerization reaction. Recently, use of this material has increased due to the aesthetic restoration demand and publics's concern related to mercury containing dental amalgam. Each constituent of the dental composite is critically importante for the success of the final dental restoration. However, the most notable progress in the evolution of commercial composites to date has been provided by the modifications to the filler component.

In this study, production of cost efficient silica powder materials from rice husk ash, which is an agricultural waste and a sustainable raw material, and their applicability in dental composites as a reinforcing filler component was investigated for the first time. For this purpose, as resieved rice husk ash was characterized, silica production parameters were evaluated and produced silica powders were characterized. 29 different composite materials were prepared with produced silica samples, hydroxyapatite (HA), aluminium oxide (Al_2O_3), zirconium oxide (ZrO_2) and titanium oxide (TiO_2). Three point bendig, Vickers hardness tests of these experimental composites were performed, water uptake and solubility values were determined. As a

result of obtained experimental data it was stated that, silica powders produced at pH 4 and 7 can be used in dental composites as inorganic fillers. In order to improve physical and mechanical properties of prepared composites, these silica powders should be used together with additional fillers. On the other hand, silica powders produced at pH 9 were found to be unsuitable fillers for light-cured dental composites.

Keywords: Dental composites, rice husk ash, silica, modulus of elasticity, flexural strength, Vickers hardness, water uptake, solubility.

1.1 Literatür Özeti

Dental kompozitler başlıca monomer matris içinde inorganik dolgu fazının homojen bir şekilde dağılmasıyla elde edilen restoratif dolgu malzemeleridir; temel olarak üç esas fazdan oluşurlar: organik, inorganik ve bağlayıcı (silan ajan) fazlar. İnorganik dolgu fazı organik polimer fazı içerisinde dağılmış farklı büyüklük ve şekilde kullanılan, ayrıca malzemeye mekanik ve estetik özelliklerini kazandıran maddelerden oluşmaktadır. İnorganik dolgu fazı olarak kuvarz, borosilikat cam, lityum alüminyum silikat, stronsiyum, baryum, çinko ve yitriyum cam, baryum alüminyum silikat ve diğer silika türevlerinin kullanımı yaygındır. Son yıllarda tüketicinin estetik restorasyon malzemesi talebi ve civa içeren dental amalgam ile ilgili toplumsal kaygılar sebebi ile estetik dişçiliğe talebin artması doğrudan restorasyonlar için iyileştirilmiş mekanik özellik ve dayanıklılığa sahip kompozit malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır.

Dentin, organik matris olarak başlıca kollajen ve küçük miktarda sitrat ve inorganik doldurucu olarak nanoskopik (10 – 100 nm) hidroksiapatit (HA) kristalleri içeren doğal bir kompozit olarak görülebilir. HA kristalleri ile güçlendirilmiş bir dental rezin prensipte kemik dokusu için olduğu gibi insan diş dokusu için de uygun bir restoratif malzeme olarak görülmektedir. HA'nın restoratif dişçilikte kullanımı umut verici çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bunlar, gerçek radyo-opak cevap, arttırılmış cilalanabilirlik ve sentetik HA doğal dişin sertliğine benzer bir sertliğe sahip olduğundan geliştirilmiş aşınma performansdır. Ayrıca bu malzeme yaygın olarak kullanılan pek çok doldurucuya (örneğin baryum ya da çinko camlar, kuvarz, zirkonya, silika ya da

alümina) kıyasla daha ucuzdur. HA'nın temel dezavantajı dental restorasyonlarda kullanılan ışık ile aktive olan polimerlere kıyasla yüksek kırılma indisine sahip olmasıdır. Biyo-uyumluluğu sebebiyle HA'nın iskelet ve dental restorasyonlarda kullanımı esas araştırma alanıdır.

Ticari kompozitlerin çoğu görünür ışık ile polimerize olan Bis-GMA monomerini içermektedir. Taneli doldurucuların katılabilmesi, uygun kıvamın elde edilebilmesi ve dönüşüm derecesinin de yükseltilebilmesi için yüksek viskoziteli Bis-GMA monomerine düşük molekül ağırlıklı metakrilat bir seyreltici eklenmektedir. Hidroksietil metakrilat (HEMA) dental dokuların mineral fazına kendiliğinden bağlandığından (self-adhesion) yaygın olarak yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. HA ile etkileşim eğiliminin matris/doldurucu tutunmasını iyileştirmesi beklenmektedir.

Rezin matris üzerine gerçekleştirilen çalışmalar esas olarak yeni monomerlerin geliştirilmesine dayanmaktadır. Doldurucu ile alakalı çalışmalar ise partikül boyutu, yükleme, silan modifikasyonu ve yeni partiküllerin geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Doldurucu partiküllerinin boyut ve hacim/ağırlık oranının dental kompozitlerin mekanik özelliklerini çok büyük oranda iyileştirdiği gerçeği göz önüne alındığında bu çalışmalar büyük öneme sahiptir.

Pirinç kabuğu pirincin işlenmesi esnasında ortaya çıkan bir yan üründür ve dünya üzerindeki en büyük atık problemlerinden birini oluşturmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler yaygın olarak tarımsal kaynaklar ve onların endüstriyel yan ürünlerine sahiptir. Bu yan ürünlerin çoğu çeşitli düşük değere sahip ürünler ile birlikte yeterince değerlendirilememektedir. Diğer taraftan gelişmiş ülkeler "atık yoktur" görüşünü kabul etmektedir ve bu tür malzemeler değer katılarak yeni malzemeler geliştirilmek üzere "yeni kaynaklar" olarak nitelendirilmektedir. Pirinç kabuğu değer katılabilecek tarımsal "atıklardan" biridir ve pirinç üreten ülkelerde çok miktarda bulunmaktadır. Üretilen her bir ton pirinç için yaklaşık 0.23 ton pirinç kabuğu ortaya çıkmaktadır. Pirinç kabuklarının enerji üretmek üzere yakılması kısmen de olsa araziye bırakılmasından daha çevre dostu bir alternatif olabilir. Pirinç kabuğu külü bu prosesin yan ürünüdür. Pirinç kabuğu külünün yaklaşık olarak % 97 – 99'u silikadır, geri kalan kısım ise karbon ve diğer safsızlıklardan oluşmaktadır. Silika kaynağı olarak pirinç kabuğu ve külünün

değerlendirilmesi ile ilgili bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalarda pirinç kabuğu külünden silika ve türevlerinin üretimi yapılmakta böylece atık malzeme olan pirinç kabuğu değerlendirilerek geri dönüşümü sağlanmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Günümüz teknolojilerinde önemli bir yer tutan silikanın tarımsal bir atık ve yenilenebilir bir hammadde olan pirinç kabuklarından elde edilerek dental kompozitlerde kullanılması ve bu şekilde üretilen kompozitlerin esneme dayanımı, elastisite modülü, tokluk, Vickers sertlik, su absorpsiyonu ve çözünürlüğünün incelenmesinin amaçlandığı bu tez çalışması; silika kaynağının hazırlanması, silika üretimi ve dental kompozitlerin hazırlanması olmak üzere üç ana bölüm altında gerçekleştirildi.

Çalışmanın ilk bölümünde pirinç kabuğu külünün yapısal özelliklerinin karakterizasyonu yapıldı ve silika üretimi için yakma sıcaklığı belirlendi. İkinci aşamada silika ekstraksiyonu için sıklıkla kullanılan yöntemlere alternatif olarak, işlemin daha kısa sürede gerçekleştirilebilmesi amacıyla mikrodalga tekniği optimizasyon çalışmaları yapıldı ve pirinç kabuğu külünden silikanın ekstraksiyonu bu optimize mikrodalga tekniği ile gerçekleştirildi. Ekstraksiyon sonrası elde edilen silikat çözeltisi ile pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan jellerden üretilen silika tozlarının karakterizasyonları yapıldı. Son bölümde, üretilen silika tozları dental kompozitlerin inorganik fazını oluşturmak üzere silan ile modifiye edildi. Üretilen silika tozları ile birlikte inorganik bileşen olarak dişin mineral fazını oluşturan HA ve düşük miktarlarda alüminyum oksit (Al_2O_3), zirkonyum oksit (ZrO_2) ve titanyum oksit (TiO_2) kullanıldı. Dental kompozitlerin organik fazı, bisfenol A gliserolat dimetakrilat (Bis-GMA) ve 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) monomerleri, polimerizasyon başlatıcı sistem olarak "Camphorquinone" (CQ) ve hızlandırıcı olarak da 2-(dimetilamino)etil metakrilat (DMAM) kullanılarak hazırlandı. Organik matrise, farklı oran ve bileşimlerde inorganik malzemelerin ilavesi ile toplam 29 farklı kompozit karışım hazırlandı. Bu kompozitlerin esneme dayanımı, elastisite modülü, tokluk, Vickers sertlik, su absorpsiyonu ve çözünürlük değerleri belirlendi.

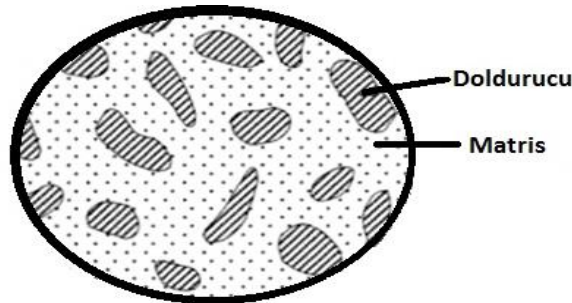
1.3 Hipotez

Dental kompozit malzemelerde çeşitli boyut ve yapıda silika tozları inorganik fazın bileşeni olarak kullanılmaktadır. Silika tozlarının yapısı ve miktarı kompozitlerin özelliklerini etkilemektedir. Pirinç kabuğu külünden yüksek saflıkta amorf silika elde edildiği ve üretim parametrelerinin elde edilen silika tozların yapısal özelliklerini etkilediği bilinmektedir. Farklı özellikte silika tozlarının kullanımı dental kompozit malzemelerin mekanik ve diğer özelliklerini etkileyecektir. Dolayısıyla pirinç kabuğundan elde edilen farklı silika yapılarının dental kompozitlere yaptığı etkilerin incelenmesi bu tezin hipotezidir.

BÖLÜM 2

DENTAL KOMPOZİTLER

Kompozit malzemeler, farklı yapıdaki iki malzemenin birleştirilmesiyle elde edilen ve performans nitelikleri tek tek bileşenlerinden daha üstün olan malzemelerdir. En genel şekliyle kompozit bir malzeme, sürekli bir faz içerisinde dağılmış bir ya da daha fazla süreksiz fazdan oluşmaktadır. Birden fazla farklı yapıda süreksiz faz söz konusu olduğunda kompozit “hibrit” olarak adlandırılmaktadır. Süreksiz faz sürekli faz ile kıyaslandığında genellikle daha serttir ve mekanik özellikleri daha üstündür. Sürekli faz matris, süreksiz faz ise güçlendirici malzeme olarak adlandırılmaktadır [1].



Şekil 2. 1 Kompozit bir malzemenin şematik gösterimi

Kompozit rezin 50 yılı aşkın bir süredir dişçilikte restorasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemenin kullanımı son dönemlerde tüketicinin estetik restorasyon malzemesi talebi ve civa içeren dental amalgam ile ilgili toplumsal kaygılar sebebi ile artmıştır. Günümüzde tüm ön diş direkt restorasyonların % 95'inden, arka diş direkt restorasyonların ise % 50'sinden fazlasında kompozit kullanılmaktadır [2].

2.1 Dental Kompozit Malzemeler ve Bileşimleri

Dental kompozitler kavimleri doldurmak, kırık dişleri onarmak, ortodontik braketleri yapıştırmak gibi amaçlar ile kullanılan estetik restoratif malzemeler sınıfında yer almaktadırlar. Bu malzemelerin çiğneme ve ısırma kuvvetlerine karşı dayanıklı olabilmeleri için uygun dayanım ve aşınma direncine sahip olmaları gerekmektedir [3].

Kompozitlerin fiziksel, mekanik ve estetik özellikleri ve klinik davranışları yapılarına bağlıdır. Temel olarak dental kompozitler kimyasal olarak farklı üç malzemeden oluşmaktadır: Organik matris ya da organik faz; inorganik matris, doldurucu ya da dispers faz; ve ara faz, doldurucuyu organik rezine bağlamak üzere bir ucunda silan grupları (SiO_2 ile iyonik bağ) ve diğer ucunda metakrilat grupları (rezin ile kovalent bağ) olan bir organosilan ya da bağlayıcı ajan.

2.1.1 Organik Matris

Kompozit rezinlerin organik matrisi esas olarak mono-, di- veya tri-fonksiyonel bir monomer sistemi; bir serbest radikal polimerizasyon başlatıcı sistem; bir hızlandırıcı sistem; bir stabilizatör ya da inhibitör sistem ve son olarak 350 nm'nin altındaki mor-ötesi dalga boylarını absorplayan moleküllerden oluşmaktadır [4].

Dental kompozitlerin sertleşmesi, inert doldurucu partikülleri saran rijit ve çok fazla sayıda çapraz bağ içeren bir polimer ağı oluşturan, dimetakrilat rezin monomerleri arasındaki kimyasal reaksiyonun sonucudur. Bu reaksiyonun boyutu, genellikle sertleşme derecesi olarak adlandırılmaktadır, kompozit restorasyonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birçoğunu belirlediğinden çok önemlidir. Sertleşme derecesi polimerizasyon hızlandırıcı ve inhibitörlerinin ilavesi [5], monomerlerin kimyasal yapısı [6], [7], reaksiyonu aktive etmek için verilen kimyasal ya da ışık enerjisi [8], malzemenin doldurucu içeriği [9] ve kompozitin tonu gibi pek çok faktörden etkilenmektedir.

Polimerizasyon reaksiyonuna büzülme ile sonuçlanan bir boyutsal değişim eşlik etmektedir. Büzülmeye polimerizasyon reaksiyonu ile monomerlerin kovalent olarak bağlanması sebep olmaktadır. Çünkü van der Waals mesafelerinin yerini kovalent bağ mesafeleri almaktadır. Büzülmenin büyüklüğünü oluşturan kovalent bağların sayısı, yani reaksiyonun boyutu ve monomerlerin büyüklüğü belirlemektedir [10]. Monomer ya da

monomer karışımlarının molekül ağırlığı ne kadar düşük ise büzölme oranının o kadar yüksek olduğu genel bir kural olarak kabul edilmektedir.

2.1.1.1 Rezin Monomerler

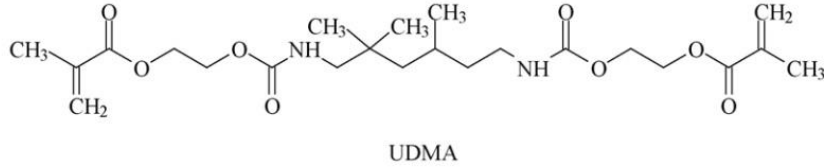
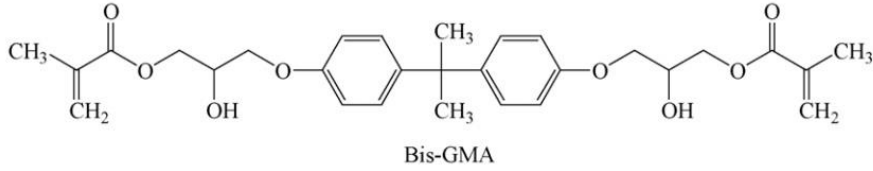
Monomer sistemi kompozit rezinin omurgası olarak görülebilir [4]. Çoğunlukla rezin monomerler kompleks metakrilat rezinlerden oluşmaktadır. Bu monomerler 1956 yılında Bowen, metakrilat grupları vasıtasıyla polimerize olan ve ester grupları vasıtasıyla Bis-fenol A türevlerine bağlanmış hibrit bir molekülü tanımladığında tasarlanmıştır. Deneysel bir dimetakrilat monomer glisidil metakrilatın reaksiyonu ile sentezlenmiş ve sonra metakrilik asit ve bisfenol A'nın diglisidil eteri ile reaksiyonu vasıtasıyla üretilmiştir. Bu monomer çoğunlukla Bis-GMA (2,2-bis[4(2-hidroksi-3-metakriloksipropoksi)-fenil]propan) olarak anılmaktadır [11].

Ticari dental kompozitlerin % 80 – 90'ında Dr. Rafael Bowen tarafından geliştirilmiş bu Bis-GMA monomeri matris oluşturan rezin olarak kullanılmaktadır [12]. Ticari kompozitlerde üretan dimetakrilat (UDMA; Bis-GMA ile birlikte ya da ayrı), üretan tetrametakrilat (UTMA), etoksillenmiş bisfenol-A-dimetakrilat (Bis-EMA) gibi temel monomerler kullanılmaktadır [13]. Viskoziteleri daha düşük olduğundan UDMA esaslı kompozitler Bis-GMA esaslı kompozitlere nazaran daha geniş ölçüde sertleştirilebilirler. Bununla birlikte, belirli UDMA kompozitlerinde polimerizasyon derinliğinin, monomer ve doldurucu arasındaki kırılma indisi uyumsuzluğuna bağlı olarak, düşük olduğu gösterilmiştir [10].

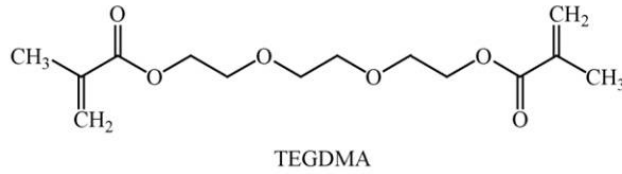
Monomer molekülleri üzerinde bulunan hidroksil grupları arasında oluşan hidrojen bağları sebebiyle Bis-GMA molekülünün viskozitesi çok yüksektir. Bu sebeple üretim prosesinin ve klinik uygulamalarının kolaylaştırılması için düşük viskoziteli farklı monomerler (düşük molekül ağırlıklı) ile seyreltilmektedir. Bunlar bisfenol A dimetakrilat (Bis-DMA), etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA), metil metakrilat (MMA) ya da UDMA gibi monomerlerdir [4], [10]. TEGDMA ve 2- hidroksietil metakrilat (HEMA) rezin bazlı dental restoratif malzemelerde yaygın olarak kullanılan monomerlerdir [14]. HEMA dental dokuların mineral fazına kendiliğinden bağlandığından (self-adhesion) yaygın bir şekilde yapıştırıcı olarak

kullanılmaktadır [15]. Bununla birlikte seyreltici monomer de bazı eksikliklere sebep olmaktadır [16].

Temel Monomerler



Seyreltici Monomer



Şekil 2. 2 Bis-GMA, UDMA ve TEGDMA monomerlerinin yapısı [17]

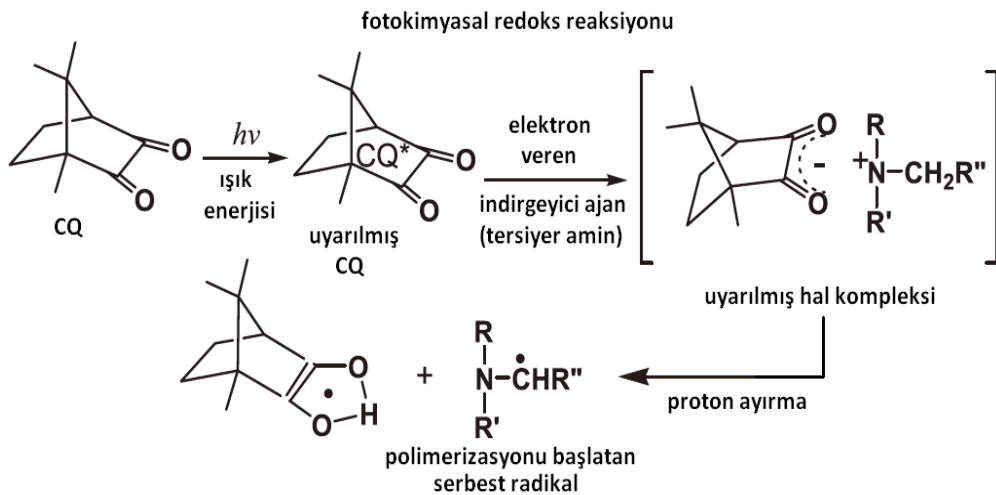
Bis-GMA'nın dezavantajı, alkil zincirlerindeki hidroksil grupları arasında meydana gelen hidrojen bağları sebebiyle viskozitesinin yüksek olması ve seyreltici bir monomerin gerekliliğidir (Şekil 2. 2). Seyreltici monomer genellikle TEGDMA'dır, ancak hem Bis-GMA hem de TEGDMA kompozitin hidrofilik karakterini arttırmaktadır. Bu da kompozitin su bazlı ortamda mekanik özelliklerinde bozulmaya sebep olmaktadır [18].

2.1.1.2 Polimerizasyon Başlatıcı Sistem

Dental kompozit rezinlerin viskoz bir rezinden rijit bir katıya dönüşümü metakrilat monomerlerinin serbest radikal polimerizasyonu ile gerçekleşmektedir [11]. Dental kompozit pasta içerisindeki monomerlerin polimerizasyonu birkaç yol ile sağlanabilir. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için kompozit pasta içerisine uygun kimyasal türler ilave edilmektedir. Ancak reaksiyonun bir harici uyarıcı ile aktive edilmesi gereklidir. Kendiliğinden polimerize olan malzemeler için uyarıcı, biri kimyasal aktivatör diğeri kimyasal başlatıcı içeren iki pastanın karıştırılmasıdır. Isı ile sertleşen malzemelerde 100 °C ve üstündeki sıcaklıklar başlatıcıyı aktive etmektedir. Işık ile sertleşen

sistemlerde, görünür ışık enerjisi pasta içerisindeki özel başlatıcıyı aktive eden uyarıyı sağlamaktadır. Bu mekanizmaların her biri uygun koşullar altında yüksek derecede sertleşme sağlayabilmektedir [10].

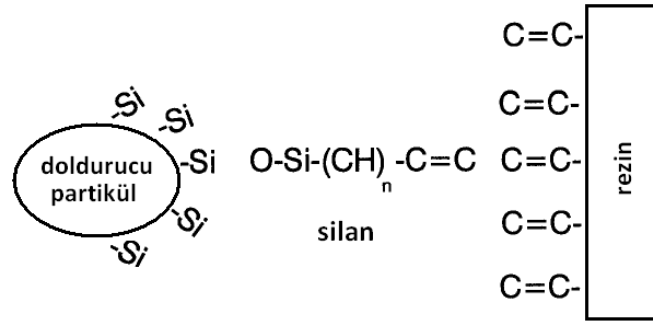
1960'lı yıllardan bu yana dimetakrilat rezinlerin foto-polimerizasyonu dişçilik alanında yaygın olarak uygulanmaktadır [11]. En çok kullanılan foto-başlatıcı bir diketon olan "camphorquinone"dur (CQ). Maksimum absorpsiyon dalgaboyu 473 nm'dir [19]. CQ foto-başlatıcı aktivitesini tersiyer aminler ile birlikte göstermektedir, bu sebeple CQ/tersiyer amin sistemi hidrojen ayırma (elektron verici) tipi foto-başlatıcı olarak adlandırılmaktadır [20]. Temel olarak, ışığın CQ tarafından absorplanması molekülün "triplet hal" olarak bilinen uyarılmış hale geçmesine sebep olmaktadır. Uyarılmış CQ molekülünün bir amin molekülü ile etkileşimi sonucu uyarılmış hal kompleksi oluşmaktadır. Bu halde CQ tersiyer aminden bir hidrojen atomu alarak serbest radikal oluşumuna sebep olmaktadır [21]. Daha sonra bu kompleks CQ-ketil radikalleri ve aminil $\bullet\text{C-N}$ radikallerine (çapraz bağlama sürecini başlatan esas serbest radikal) ayrılmaktadır [20]. Bu sebeple CQ ve amin konsantrasyonları, oranları, aminin moleküler yapısı, ve monomer polimerizasyonunu başlatacak olan radikallerin reaktivitesi polimerizasyon reaksiyonu ve sonuçta oluşan polimerin özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır [21].



Şekil 2. 3 CQ'nun tersiyer amin varlığında foto-başlatıcı mekanizması [20]

2.1.2 Ara Faz

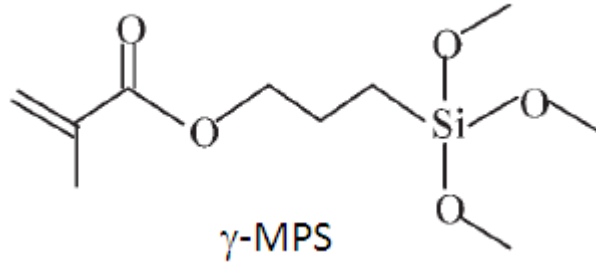
Dental kompozitlerin geliştirilmeye başlandığı dönemde malzemede iyi özelliklerin elde edilebilmesinin inorganik doldurucu partikülleri ve organik polimer matris arasında kuvvetli bağların oluşumuna bağlı olduğu gösterilmiştir. Bu iki fazın birbirine bağlanması hem doldurucu hem de matrisin karakteristiklerine sahip bir bağlama ajanı ile doldurucuların kaplanması ile gerçekleştirilmiştir. Dental kompozitler için genel bağlama ajanı bir ucunda silanol (Si-OH), diğer ucunda metakrilat grupları (C=C içeren) bulunan bir moleküldür. Bu moleküller hem silika bazlı doldurucuların silisyum-oksijen grupları hem de rezin matristeki metakrilat grupları ile kovalent bağ oluşturabilmektedir (Şekil 2. 4). Çalışmalar bu bağlanmanın sonuçta oluşan kompozitin mekanik özelliklerinin belirlenmesindeki önemini ortaya koymuştur [10], [22], [23], [24].



Şekil 2. 4 Dental kompozitlerde doldurucu ve polimer matris arasında silan vasıtasıyla gerçekleşen bağlanmanın basit şematik gösterimi [10]

Ara faz genellikle silan bağlama ajanları olarak adlandırılan organosilanlardan türetilmiş, matris ve doldurucu faza kimyasal olarak bağlanmak üzere dizayn edilmiştir. Doldurucu-matris ara fazı kompozit malzemenin en az yaygın fazı olduğu halde kompozitin fiziko-mekanik özellikleri üzerinde kayda değer etkileri olabilmektedir. Resin matris ve cam doldurucular arasında etkili bağlanmanın degradasyon sürecini yavaşlattığı, doldurucu yüzeyini kırıklara karşı koruduğu, ayrıca esnek resin matristen daha sert ve güçlü inorganik doldurucu partiküllerine stres iletimi ve dağılımını iyileştirdiği bildirilmiştir. Silan bağlama ajanlarının hidroforik yapısı sebebiyle silan kullanımı kompozitlerin hidrolitik stabilitesini de arttırmaktadır [25], [26].

Dental kompozitlerde doldurucu yüzeyine kimyasal olarak bağlanması ve metakrilik polimer matris ile kopolimerize olması beklenen, en çok kullanılan silan γ -metakriloksipropiltrimetoksi silandır (γ -MPS). Kompozit malzemenin mekanik özellikleri ile doldurucu yüzeyine adsorplanmış silan bağlama ajanının miktarı arasında bir ilişki olduğu iyi bilinmektedir [27]. Etkili olabilmesi için doldurucu yüzeyine adsorplanmış silan miktarının optimum olması gerekmektedir [27], [28].



Şekil 2. 5 γ -MPS'nin kimyasal yapısı [26], [29]

Silanın kopolimerizasyon vasıtasıyla dimetakrilat ile ve siloksan oluşumu vasıtasıyla cam doldurucu ya da kendisi ile reaksiyon derecesi bağlama ajanının etkinliğini belirlemektedir. Oluşan siloksan ağının yapısı temel olarak silan konsantrasyonuna bağlıdır. Mikro boyutta doldurucular içeren geleneksel kompozitler ile kıyaslandığında nano-partiküller içeren kompozitlerde silan fazı daha önemlidir. Çünkü nano-partiküller son derece büyük yüzey alanı/ hacim oranına sahiptirler ve daha büyük partiküllü dolduruculardan daha yüksek bir silanlama derecesi gerektirmektedirler [29].

2.1.3 İnorganik Faz

Pek çok kompozit rezin malzemenin ağırlık ve hacim olarak majör bileşeni doldurucu partiküller olarak tanımlanmıştır [11]. Tanecikli inorganik doldurucular dental rezin kompozitlerde malzemeye güç ve dayanım katmak için kullanılmaktadır [30]. Ticari ürünlerde doldurucu tanecikleri çeşitli tür, şekil, boyut, hacim oranı ve dağılımında kullanılmaktadır ve bütün bu faktörler malzemenin sertlik [31], [32], termal stabilite [33], radyo-opasite [34], pürüzlülük [35], su emilimi [36], kırılma tokluğu [37], kırılma davranışı [38], [39], elastisite modülü [40] gibi özelliklerini etkilemektedir. Resin kompozit formülasyonlarında kullanılan doldurucu toplam hacmi klinik uygulamasına,

firmanın üretim işlemine ve rezin matris viskozitesine bağlı olarak değişebilmektedir [41].

Modern kompozit sistemler inorganik yapı olarak matriks içine dağılmış olan çeşitli şekil ve büyüklükteki kuvarz, silika, zirkonyum [41], borosilikat cam, lityum alüminyum silikat cam [10], [42], stronsiyum, baryum, çinko ve alüminyum oksit tabanlı silikat cam [43], [44] gibi partiküller ihtiva etmektedir [45]. Stronsiyum, baryum, çinko ve iterbiyum üçflorür rezine, radyo-oposite kazandırmaktadır [10], [42]. İterbiyum ayrıca estetik etkisi sebebiyle ilave edilmektedir [37], [46]. Silika partikülleri kompozit karışımın mekanik özelliklerini güçlendirmekte, ışığı geçirmekte ve yarmaktadır. Bu sayede kompozit rezin, mineye benzer yarı şeffaf bir görüntü kazanmaktadır. Kristal formlarının sert olması kompozit rezinin bitirme ve polisaj işlemini güçleştirmektedir. Bu sebeple, günümüzde kompozit rezinler amorf silika kullanılarak üretilmektedir [47].

TiO₂ nanopartiküller memnuniyet verici renk ve yüksek biyo-uyumlulukları sebebiyle dişçilikte genellikle tercih edilmektedirler [48]. TiO₂ nanopartiküller dental malzemelerde dişin opak özelliklerine benzerliği sağlamak amacıyla kullanılmaktadır [49]. Ayrıca TiO₂ nanopartiküller ile güçlendirilmiş rezin kompozitlerin gelişmiş mikro-sertlik ve esneme dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür [50]. Kimyasal olarak inert ve biyo-uyumlu olan zirkonya da üstün mekanik özellikleri sebebiyle biyomalzeme olarak kullanılmaktadır [51].

İdeal bir dental restoratif malzeme dişin genel özelliklerine sahip bir malzeme olmalıdır. Böyle ideal bir restoratif malzeme arayışı içerisinde dişin pekçok fiziksel ve kimyasal özelliğine sahip kalsiyum fosfatlar gibi inorganik malzemeler üzerine yoğunlaşmıştır [52]. Kemik ve dişin mineral fazı temel olarak hidroksiapatittir (HA). Bu sebeple sentetik HA inorganik doldurucu olarak dental restorasyon ve kemik implantlarında kullanılmak üzere iyi bir seçim gibi görünmektedir. Sentetik HA doğal dişin sertliğine benzer bir sertlik değerine sahip olduğundan HA'nın restoratif dişçilikte kullanımı ümit verici farklı avantajlar sunmaktadır. Gerçek radyo-opak cevap, iyileştirilmiş cilalanabilirlik ve iyileştirilmiş aşınma direnci bu avantajlar arasındadır [53]. HA'nın özellikleri bu malzemeye olan ilgiyi arttırmaktadır. HA biyo-uyumlu ve biyo-aktif bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Ayrıca kalsiyum iyonu salabilmektedir (kemiğin

yeniden mineralizasyonunu sağlamaktadır) ve yaygın olarak kullanılan cam dolduruculardan çok daha ucuzdur [54].

Son yıllarda estetik dişçiliğe talebin artması doğrudan restorasyonlar için iyileştirilmiş mekanik özellik ve dayanıklılığa sahip kompozit malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Rezin matris üzerine gerçekleştirilen çalışmalar esas olarak yeni monomerlerin geliştirilmesine odaklanmıştır. Doldurucu ile alakalı çalışmalar ise partikül boyutu, yükleme, silan modifikasyonu ve yeni partiküllerin geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Doldurucu partiküllerinin boyut ve ağırlık veya hacim oranının dental kompozitlerin mekanik özelliklerini çok büyük oranda iyileştirdiği gerçeği göz önüne alındığında bu çalışmalar büyük öneme sahiptir [55].

Doldurucu boyutu, rezin kompozitlerin özelliklerini etkileyen pek çok parametreden sadece biridir. Doldurucu türü, şekli ve miktarının yanı sıra doldurucu ve rezin matrisin etkili bağlanması da malzeme performansına katkı sağlamaktadır. Basma ya da esneme dayanımı, sertlik [55] ve Young modülü gibi özellikler doldurucu içeriği arttıkça iyileşmektedir. Aynı zamanda polimerizasyon büzülmesi azalmaktadır. Ancak bazı durumlarda belirli bir doldurucu hacim yüzdesinde optimum bir değere ulaşılabilen ve hacim bileşiminin daha fazla artırılması ile mekanik özelliklerde gerileme meydana gelebilmektedir [40].

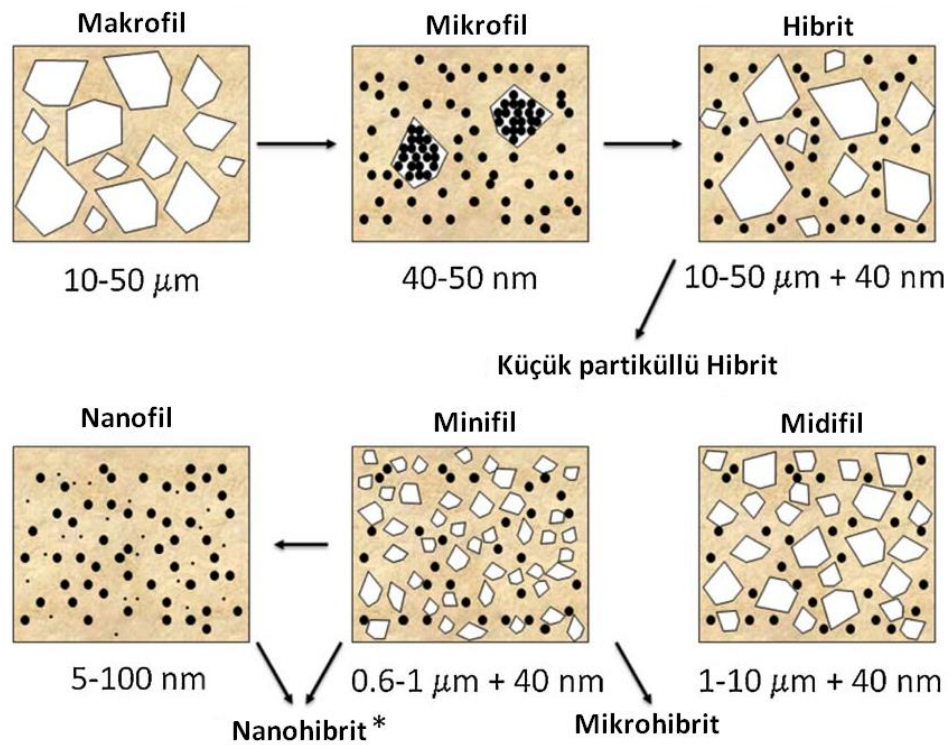
Kompozitlerin aşınma direnci ortalama partikül boyutunun azaltılması ve doldurucu yüklemesinin artırılması ile belirgin bir şekilde iyileştirilmiştir. Yüksek aşınma oranları kompozit malzemeler içerisindeki büyük doldurucu partikülleri ile ilişkilidir. Bu nedenle, doldurucu içeriğinin artırılması ve ortalama partikül boyutunun düşürülmesi çiğneme kuvvetlerine dayanabilmesi için uygun dayanım ve aşınma direncine ihtiyaç duyan arka diş restorasyonlarında kullanılmak üzere kompozit rezin üretiminde bir yöntem haline gelmiştir [56].

2.2 Dental Kompozitlerin Sınıflandırılması

Doldurucular farklı tür (silika, seramik, vs.), boyut, şekil ve morfolojidedir. Doldurucuların fiziksel özellikler üzerine etkisi büyük olduğundan dental kompozitlerin sınıflandırılması doldurucuların türü ve partikül boyutuna göre yapılmaktadır [57].

Geleneksel dental kompozitler makrofil kompozitlerdi. Bu kompozitler, ortalama doldurucu çapı 20-30 μm olan büyük küresel ya da düzensiz şekilli tanecikler içermekteydi. Oluşan kompozitler oldukça opak ve düşük aşınma direncine sahip kompozitlerdi [58]. Makrofil malzemeler çok güçlü, ancak cilalanması zor ve yüzey pürüzsüzlüğünün muhafaza edilmesi imkansız malzemelerdi. Uzun süreli estetik görüntünün önemi sebebiyle üreticiler mikrofil kompozit formülasyonları üzerinde çalışmaya başlamışlardır. O dönemde adlandırma yanlış yapılmış olmakla birlikte partiküllerin mikroskobik olduğu vurgulanmak istenmiştir. Aslında bu malzemeler, ortalama partikül boyutu 40 nm olan küresel amorf silika içerdiklerinden nanokompozitlerdir. Nanoteknoloji alanı nano-ölçek ile tanımlanmaktadır ve 1 – 100 nm boyut aralığını kapsamaktadır. Bu sebep ile orijinal mikrofiller daha doğru bir şekilde nanofil olarak adlandırılabilirdi. Ancak o dönemde nano kavramı henüz tanınmıyordu. Bu malzemelerde doldurucu oranı düşüktü, ancak yüksek oranda doldurulmuş önceden polimerize edilmiş rezin doldurucuların matris içerisine mikrofil partiküller ile birlikte ilavesi ile yükseltilebilmekteydi. Mikrofil kompozitler cilalanabilirdi ancak göreceli olarak düşük doldurucu içerikleri sebebiyle genellikle zayıflardı. Yeterli dayanım ve iyileştirilmiş cilalanabilirlik ve estetiğe sahip malzemeyi üretmek için orta yolu bulmak gerekiyordu. Bu sebeple geleneksel kompozitlerin partikül boyutu daha fazla öğütme ile küçültüldü ve sonuçta küçük partiküllü hibrit olarak adlandırılan kompozitler üretildi. Bu kompozitler kendi aralarında da sınıflandırılmıştır. Ortalama partikül boyutu 1 μm 'den biraz büyük olan ve aynı zamanda bir kısım nano-boyutta "fumed" silika (40 nm) içeren kompozitler midifil olarak sınıflandırılmıştır. İyileştirilmiş öğütme teknikleri sebebiyle ortalama boyutu 0.4-1.0 μm olan mikron altı (sub-micron) partikülleri içeren kompozitler başlangıçta minifil olarak adlandırılmış [59] ve sonrasında mikrohibrit olarak anılmışlardır. Bu malzemeler, dayanım ve cilalanabilirlik özelliklerinden dolayı ön ve arka diş uygulamalarında kullanılabildiklerinden genellikle universal kompozitler olarak nitelendirilmektedir. En son yenilik sadece nano-boyutta partiküller içeren nanofil kompozitlerin geliştirilmesidir. Üreticilerin büyük çoğunluğu ürettikleri mikrohibrit kompozitlerin formülasyonlarını daha fazla nano-partikül ve muhtemelen, mikrofil kompozitlerde bulunanlara benzer olan önceden polimerize edilmiş rezin doldurucu içerecek şekilde

modifiye etmişlerdir ve bu grubu nanohibrit olarak adlandırmışlardır. Genel olarak, nanohibritleri mikrohibritlerden ayırt etmek zordur. Esneme dayanımı ve elastisite modülü gibi özellikleri benzerdir [60]. Bununla birlikte bazı çalışmalarda suda bekletme işlemleri sırasında nanohibrit ya da nanofil kompozitlerin mikrohibritlere kıyasla stabilitelerinin daha düşük olduğu gösterilirken [61], bazılarında zıttı gösterilmiş [62] ya da yaşlanmaya karşı duyarlılıklarının benzer olduğu gösterilmiştir [63]. Bazı nanohibrit kompozitlerin kısmen düşük özelliklere sahip olmasının önceden polimerize edilmiş rezin doldurucuların ilavesinden kaynaklandığı ortaya atılmıştır [64], [65].



* Önceden polimerize edilmiş rezin doldurucu içerebilir

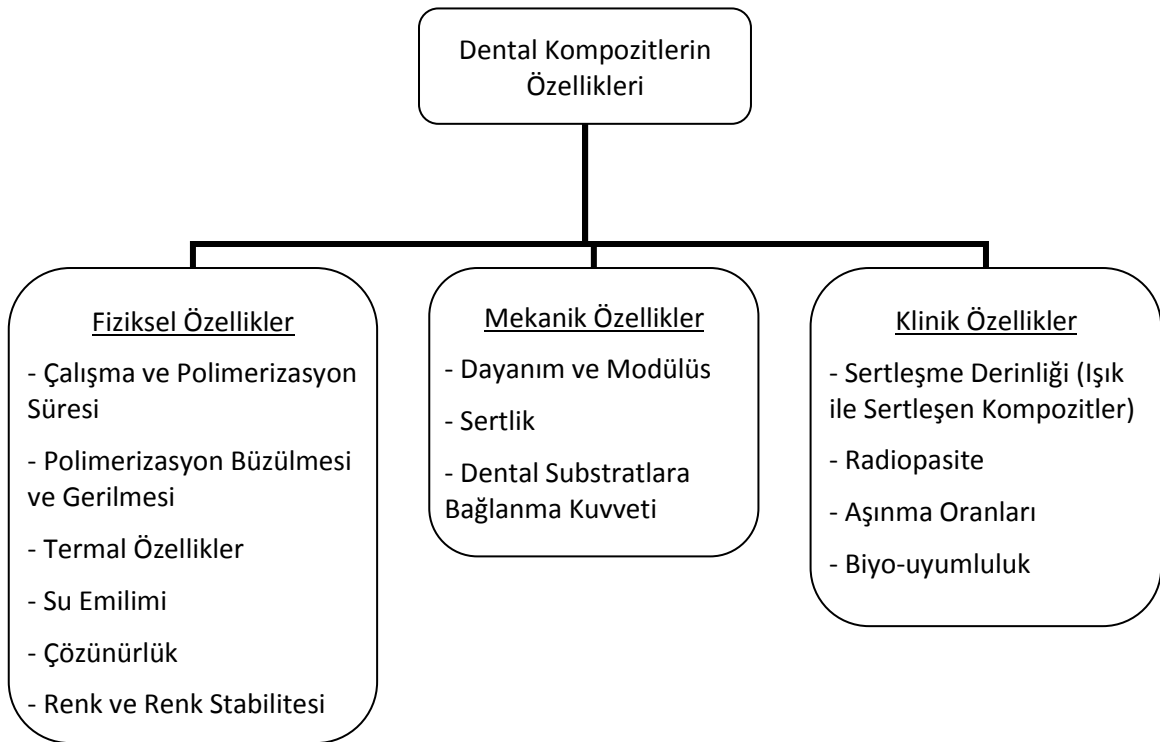
Şekil 2. 6 Dental kompozitlerin güçlendirici doldurucularının boyutlarına bağlı sınıflandırması [65].

2.3 Dental Kompozitlerin Özellikleri

Restoratif bir malzeme çürük ya da travmaya bağlı olarak kaybedilen dental sert dokunun işlev (pulpal koruma, çiğneme) ve estetiğini (anatomik şekil, renk) onarmak zorundadır. Farklı uygulama bölgeleri farklı özellikler gerektirmektedir. İdeal olarak dişçinin restoratif malzemeyi kolayca uygulayabilmesi ve bu malzemenin de fonksiyon

ve estetik özelliklerini mümkün olduğunca uzun süre koruması gerekmektedir. Günümüzde pek çok kompozit üniversal kompozit olarak piyasaya sürülmektedir. Bu ifade kompozit malzemenin her bulgu ve boyutta doğrudan restorasyon için uygun olduğunu belirtmektedir [66].

İyi bir klinik kullanım süresine sahip olabilmeleri için kompozitlerin belirli performans kriterlerini sağlamaları gerekmektedir. Bu bölümde kompozitlerin önemli fiziksel, mekanik ve klinik özelliklerine yer verilmiştir [58].



Şekil 2. 7 Dental kompozitlerin özellikleri

2.3.1 Fiziksel Özellikler

2.3.1.1 Çalışma ve Polimerizasyon Süreleri

Işık ile sertleştirilen kompozitlerde polimerizasyon kompozit sertleştirme ışığına ilk maruz kaldığında başlamaktadır. Sertleşme, yüksek şiddetli ışık kaynağına maruz kaldıktan sonra birkaç saniye içerisinde gerçekleşmektedir. Kompozit restorasyon ışık kaynağına maruz kaldıktan sonra sert ve tamamen polimerleşmiş gibi görünse de polimerizasyon reaksiyonu 24 saatlik bir süre boyunca devam etmektedir. Metakrilat

tabanlı kompozitlerin tüm doymamış karbon çift bağları reaksiyona girmemektedir, yaklaşık % 25'inin restorasyon içerisinde reaksiyona girmeden kaldığı çalışmalarda bildirilmektedir. Bazı kompozitler, polimerizasyon reaksiyonunun başlatıldığı an sonrasında 24 saat geçmeden son fiziksel özelliklerine erişememektedir. Ancak sertleştirme işleminin hemen sonrasında restorasyonun bitirilmesi, aşındırıcılar ile cilalanması ve fonksiyonel olması için yeterli mekanik özelliklere ulaşılmaktadır.

Görünür ışık ile sertleştirilen kompozitlerin çoğu karıştırma tablası üzerinde korumasız bir şekilde bırakıldığında, parlak operasyon ışıkları sertleşmenin erken başlamasına sebep olabilmektedir.

Kimyasal olarak aktive olan kompozitler için polimerizasyon süresi 3 – 5 dakika arasında değişmektedir. Bu kısa polimerizasyon süreleri başlatıcı ve hızlandırıcı konsantrasyonlarının kontrolü ile sağlanmıştır.

2.3.1.2 Polimerizasyon Büzülmesi ve Gerilmesi

Bütün kompozitler sertleştirme ya da polimerizasyon sonrasında hacimsel büzülmeye uğramaktadır [58]. Monomer moleküllerinin bir polimer ağı dönüşümüne daha yakın moleküler paketlenme eşlik etmektedir. Bu da hacimsel daralmaya sebep olmaktadır. Hacim azalması genellikle sertleşme daralması (curing contraction) ya da polimerizasyon büzülmesi olarak ifade edilmektedir [67]. Hacimsel büzülme, kompozit ve diş yapısı arasında 13 MPa'a kadar çıkan daralma gerilmelerinin (stress) gelişmesi ile sonuçlanmaktadır. Bu gerilmeler kompozit ve diş arasındaki arayüzeyssel bağları ciddi bir şekilde germektedir. Sonuçta mikroorganizma ve tükürüğün marjinal sızıntısına izin verebilecek küçük açıklıklar oluşmaktadır.

2.3.1.3 Isıl Özellikleri

Kompozitlerin doğrusal ısı genleşme katsayısı (α) ince partiküllü kompozitler için $25 - 38 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, mikro-ince partiküllü kompozitler için ise $55 - 68 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ aralığında değişmektedir. Kompozitlerin α değerleri bileşenlerinin ortalamasından düşüktür, ancak dentin ($8.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) ve diş minesinin ($11.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) değerlerinden yüksektir.

Mikrofil kompozitlere ait değerlerin yüksek olması daha fazla miktarda polimer içermeleri ile ilgilidir.

Isıl gerilmeler diş yapısına bağlanan bağa polimerizasyon büzülmesinin zararlı etkisine eklenen ek bir gerinim uygulamaktadır.

İnorganik doldurucuların iletkenliği polimer matrise oranla daha yüksek olduğundan ince partiküller içeren kompozitlerin ısı iletkenlikleri ($25 - 30 \times 10^{-4} \text{ cal/sn/cm}^2$ [$^{\circ}\text{C/cm}$]) mikro-ince partiküller içeren kompozitlere ait ısı iletkenlik değerlerinden ($12 - 15 \times 10^{-4} \text{ cal/sn/cm}^2$ [$^{\circ}\text{C/cm}$]) daha yüksektir. Bununla birlikte geçici sıcaklık değişimlerinde kompozit malzeme diş yapısı kadar hızlı sıcaklık değiştirmediğinden bu farklılık klinik bir problem oluşturmamaktadır [58].

2.3.1.4 Su Emilimi

Islak ağız ortamında kompozitler su ya da tükürük, gıda bileşenleri ve içecekler gibi diğer sıvıları absorbe edebilmektedirler. Bu, dental kompozitlerin degradasyonunda oldukça etkili olabilmektedir [68]. Ağız boşluğunda kompozitlerin içerisine su girişi zamanla, silan ve doldurucu tanecikleri arasındaki bağın hidrolitik bozunması, doldurucu-matris ayrışması hatta doldurucuların hidrolitik bozunmasına bağlı olarak fiziksel/meکانik özelliklerin bozulmasına yol açabilmektedir. Su absorpsiyonu kaynaklı negatif etkiler çekme dayanımı, esneme dayanımı, elastisite modülü ve aşınma direnci ile bağlantılı olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte biraz su girişinin kompozitin, polimerizasyon büzülmesini dengeleyecek şekilde genişlemesi gibi pozitif bir yan etkisi de olabilmektedir [69], [70].

Hibrit partiküller içeren kompozitlerin su emilim değerleri ($5 - 17 \mu\text{g/mm}^3$) mikro-ince partiküller içeren kompozitlerin su emilim değerlerine ($26 - 30 \mu\text{g/mm}^3$) nazaran daha düşüktür. Çünkü polimer hacimsel oranı daha düşüktür. Silan bağlama ajanının kalite ve stabilitesi doldurucu ve polimer arasındaki bağın bozulmasının azaltılmasında ve dolayısıyla su emiliminin de azaltılmasında önemlidir. Ağız sıvılarından su emilimi ile bağlantılı genişleme polimerizasyon gerilimini biraz hafifletebilir, ancak su absorpsiyonu polimerizasyon büzülmesi ve gerilimi oluşumu ile kıyaslandığında yavaş bir işlemdir [58].

Su emilimi rezin matris miktarı arttıkça ve doldurucu miktarı azaldıkça artmaktadır. Resin kompozit malzemenin türü, kimyasal bileşim, bekletme süresi, bekletme çözeltisinin türü ve pH değeri ve polimerizasyon derecesi gibi faktörler malzemenin su emilimi ve sızdırma davranışını kuvvetli bir şekilde etkilemektedir. Malzeme içerisine su girişinin doğrudan doldurucu-matris arayüzeyinin degradasyonu ile ilişkili olduğu gösterilmiştir [71].

2.3.1.5 Çözünürlük

Su içeren ortamda dental kompozitler reaksiyona girmeden kalan monomerleri ortama bırakmaktadırlar. Reaksiyona girmemiş monomerlerin salınması restorasyon çevresinde bakteriyel üremeyi ve bazı hastalarda alerjik reaksiyonları arttırabilmektedir [69], [72].

Kompozitlerin suda çözünürlük değerleri 0.25 – 2.5 mg/mm³ aralığında değişmektedir. Yetersiz ışık şiddet ve süresi, özellikle yüzeyden derin bölgelerde, yetersiz polimerizasyon ile sonuçlanabilmektedir. Yetersiz polimerize olmuş kompozitler yüksek su emilimi ve çözünürlük değerlerine sahiptirler ve bu durum erken renk değişkenliği ile klinik olarak ortaya çıkabilmektedir.

Mikrohibrit kompozitlerin suda bekletilmesi esnasında inorganik iyon salınımı tespit edilebilmektedir, bu iyonların varlığı arayüzey bağlarının kırılması ile ilişkilidir. Silisyum suda bekletme esnasında ilk 30 gün en büyük miktarda (15 – 17 µg/mL) salınır ve maruz kalma süresi arttıkça azalır. Mikrofil kompozitler daha yavaş silisyum salmaktadır ve ikinci 30 günlük süreçte % 100 miktar artışı göstermektedirler (14.2 µg/mL). Cam doldurucularda bulunan bor, baryum ve stronsiyum çeşitli resin-doldurucu sistemlerinden farklı derecelerde (6 – 19 µg/mL) salınmaktadır. Bağların kırılması ve sızıntı kompozitlerin eskime ve aşınma direncini azaltan yardımcı etmenler olabilmektedir.

2.3.1.6 Renk ve Renk Kararlılığı

Klinik uyum için estetik restorasyonların renk ve ton harmanları önemlidir. Ünlversal tonlar günümüzde piyasaya sunulan ürünler arasında çeşitlilik göstermektedir.

Günümüz modern kompozitleri genellikle üreticileri tarafından çeşitli opasitelerde sağlanmaktadır. Restorasyonu yapmak için farklı opasitelerde çeşitli tonların kullanımı daha iyi estetik sonuçlar ortaya çıkartmaktadır.

Renk değişimi ve çevreleyen diş yapısı ile ton uyumunun kaybedilmesi restorasyonların değiştirilme sebeplerindendir. Polimer matris içerisindeki gerilim çatlakları ve hidroliz sonucu bölgesel doldurucu – rezin bağ bozulmaları opasiteyi yükseltme ve görünümü değiştirme eğilimindedir. Renk değişimi ayrıca oksidasyon ile ortaya çıkabilmekte ve polimer matris içerisinde su değişimi ve suyun reaksiyona girmemiş polimer kısımları ve kullanılmamış başlatıcı veya hızlandırıcı ile etkileşiminden kaynaklanmaktadır.

2.3.2 Mekanik Özellikleri

Kompozitler istenen özelliklere sahip bileşenlerden oluşturulabildikleri halde kompozitin fiziksel ve mekanik özellikleri tek tek bileşenlerinin özelliklerinden farklıdır. Kompozitlerin özelliklerini etkileyen faktörler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. İkinci (süreksiz) fazın hali
2. İkinci fazın geometrisi
3. İkinci fazın uyumu (orientation)
4. Süreksiz ve sürekli fazın bileşimi
5. Fazların oranı
6. Fazların bağlanması

Değiştirilebilecek (kompozitler mantıklı bir şekilde geliştirilirse, iyileştirilebilecek) özelliklere örnekler; modülüs, dayanım, kırılma tokluğu, aşınma direnci, ısı genleşme ve kimyasal ve korozyon direncidir [58].

2.3.2.1 Dayanım ve Modülüs

Esneme ya da bükülme dayanımı malzemenin kırılma direncinin bir ölçüsüdür. Isırma bölgelerine uygulanan restoratif malzemeler için Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) standardı esneme dayanımı alt limitini 80 MPa olarak belirlemiştir [66]. Basma dayanımı çiğneme kuvvetleri sebebiyle önemlidir. Mikrofil kompozitlerin

esneme ve basma modülü değeri çok amaçlı hibritlerin değeriinden yaklaşık % 50 daha düşüktür. Bu da mikrofil kompozitlerde daha düşük olan doldurucu hacim yüzdesinden kaynaklanmaktadır.

2.3.2.2 Mikro Sertlik (Knoop Hardness)

Kompozitlerin Knoop sertlikleri ($22 - 80 \text{ kg/mm}^2$) diş minesi (343 kg/mm^2) ya da dental amalgamın sertliğinden (110 kg/mm^2) daha düşüktür. Doldurucu partiküllerinin sertliği ve hacim oranına bağlı olarak ince partiküller içeren kompozitlerin Knoop sertlikleri mikro-ince partiküller içeren kompozitlerin sertlik değeriinden biraz daha fazladır.

2.3.2.3 Dental Substratlara Bağlanma Kuvveti

Diş Minesi ve Dentin

Kompozitlerin aşındırılmış diş minesi ve kaplanmış dentine bağlanma kuvveti genellikle $20 - 30 \text{ MPa}$ arasındadır. Bağlanma esasen bağlama ajanının aşındırılmış diş minesi ve kaplanmış dentine mikromekanik tutunmasının bir sonucudur. Dentinde genellikle bağlayıcı rezin ve kollajen içeren hibrit bir tabaka oluşmaktadır ve bağlayıcı dentin tübüllerinin içine işlemektedir.

Diğer Substratlar

Kompozit var olan kompozit restorasyon, seramik ve alaşımlara substrat pürüzlendirildiğinde ve uygun bir şekilde kaplandığında bağlanabilmektedir. Genel olarak bağlanacak yüzey; $50 \mu\text{m}$ alümina ile aşındırılır (sandblasted, microetched) ve akabinde kullanılacak kompozitler rezin-silan kaplama, silika temelli seramikler silan kaplama ve zirkonya ise asidik bir fosfat monomer ile muamele edilir. Muamele edilmiş yüzeyler için bağlanma kuvveti genellikle 20 MPa 'dan büyüktür [58].

2.3.3 Klinik Özellikler

2.3.3.1 Işık ile Sertleşen Kompozitler için Sertleşme Derinliği

Sertleşme derinliği, kompozit tabakasının ne kadar kalın olabileceğini belirlemektedir. Bir kompozitin tamamen polimerize olması kompozitin saydamlığı, polimerizasyon ünitesinin güç yoğunluğu, ışınlama süresi ve polimerize edilecek kompozit ile ışık kaynağının emisyon penceresi arasındaki mesafeye bağlıdır [66].

Işık kaynağı bir nesnenin yüzeyinden uzaklaştırıldıkça ışık şiddeti azalmaktadır. Ayrıca ışık, kompozit gibi doldurucu partikülleri içeren saçıcı bir ortam içerisinde ilerlerken de ışık şiddeti azalmaktadır. Kompozit bir restorasyon içerisine ışığın işleme derinliği ışığın dalgaboyu, ışığın birim alandaki radyasyon değeri ve restorasyon içerisinde meydana gelen saçılmaya bağlıdır. Işık ile sertleştirme işlemi sonrası yüzeyden belirli bir derinlikteki polimerizasyon derecesini etkileyen birkaç faktör vardır. Kompozit içerisindeki foto-başlatıcı ya da ışık absorbe edici konsantrasyonu doğru dalgaboyunda reaksiyona girecek ve yeterli konsantrasyonda olacak şekilde ayarlanmalıdır. Işık saçılmasında doldurucu içeriği ve partikül boyutu kritik bir öneme sahiptir. Bu sebeple, daha küçük ve fazla sayıda tanecikler içeren mikrofil kompozitler ışığı daha büyük ve daha az sayıda cam tanecikler içeren mikrohibrit kompozitlerden daha fazla saçmaktadır. Mikrofil kompozitlerde uygun polimerizasyonun sağlanabilmesi için daha uzun süre ışığa maruz bırakılmaları gerekmektedir.

Diğer bir önemli etken de kullanılan kompozitin ton ve opasitesidir. Kullanım amacına bağlı olarak malzemeler daha fazla ışık saçılmasına sebep olan opaklaştırıcı ajan ve pigmentleri yüksek konsantrasyonlarda içerebilmektedir. Bu tür malzemelerin sertleşme derinliği düşüktür ve bu sebeple klinik başarı için daha uzun süre ışığa maruz bırakılmaları gerekmektedir.

2.3.3.2 Radyo-opasite

Diş minesi – kompozit kenarlarının radyografik olarak tespiti kompozitlerin göreceli olarak düşük radyo-opasiteleri sebebiyle oldukça zordur. Modern kompozitler baryum, stronsiyum ve zirkonyum gibi yüksek atom numarasına sahip atomlar içeren camlar

bulundurmaktadır. Kuvartz, lityum – alüminyum camlar ve silika gibi bazı doldurucular radyo-opak değildirler ve radyo-opak bir kompozit üretilmesi için farklı doldurucular ile karıştırılmaları gerekmektedir [58].

2.3.3.3 Aşınma Oranları

Aşınma, temas eden hareketli iki yüzey arasındaki mekanik etkileşim sonucu aşamalı madde kaybı olarak tanımlanabilir. Yapı ve etkileşim koşullarına bağlı olarak mekanik ve çevresel faktörler ayrışmayı etkilemektedir. Aşınma tipleri adezyon, abrazyon, yüzey yorulması ve temel olarak çevrenin kimyasal etkisine bağlı korozyon olarak sınıflandırılmaktadır [73].

Ağız boşluğunda yüzeyi yenilenemeyen sert dental dokularda aşınma meydana gelmektedir. Karşılıklı dişlerin ısıрма teması, yiyeceklerin çiğnenmesi, diş macunu ile dişlerin fırçalanması, asidik meyve ve içeceklerin tüketimine bağlı olarak asit atakları gibi pek çok bileşen ağız boşluğunda diş minesi ve dentin aşınmasına katkı sağlamaktadır. Yüzey yorulma aşınması da çiğneme işleminin dairesel karakterine bağlı olarak bozunma sebebidir. Tükürük enzimleri ya da asitleri korozyon vasıtasıyla restoratif malzemelerin aşınmasını arttırabilmektedirler. Genel olarak diş gıcırdatma problemi olmayanlarda molar diş minesi için bildirilen yıllık aşınma oranı çok düşüktür (29 µm).

İdeal olarak, dental restoratif malzemelerin aşınması diş minesine eş olmalıdır. Bununla birlikte, dört farklı dental malzeme kategorisi (metal alaşımlar, seramikler, amalgamlar, kompozit ve doldurulmamış polimerler) arasında sadece seramikler ve özel metal alaşımlar bu özelliğe sahip olabilmektedir. Amalgam restorasyonların aşınması diş minesininkinden yüksek, ancak kompozit rezinlerden düşüktür. Dikkate değer geliştirmeler yapıldığı halde kompozitler hala uzun *in vivo* süreçlerde önemli ölçülerde aşınma göstermektedirler [74].

Pek çok *in vitro* aşınma çalışması bildirilmiştir ancak çok farklı yöntemler kullanıldığından standardizasyon ve elde edilen sonuçların gerçek klinik performans ile doğrudan kıyası mevcut değildir. Bir kompozit seçerken, kontrollü klinik çalışmaların dikkate alınması özellikle arka diş restorasyonları için tavsiye edilmektedir.

Klinik alışmalar kompozitlerin estetiğin önemli, ısırma kuvvetlerinin ise düşük olduğu n diş restorasyonları için ideal olduğunu göstermiştir. Aşınma oranları ısırma kuvvetleri ve yanal düzensiz temasların daha fazla olduğu arka kısımlarda daha büyük bir problemdir. Günümüzde arka bölge uygulamaları için 18 aydan uzun klinik çalışmalarda 50 μm 'den az yüzey hattı kaybetmiş kompozitler kabul görmektedir [58].

2.3.3.4 Biyo-uyumluluk

Biyo-uyumluluk "bir malzemenin spesifik bir uygulamada uygun bir konakçı yanıtı varlığında işlev göstermesi" olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım bir konakçı, malzeme ve malzemenin beklenen işlevi arasında bir etkileşim olduğunu ifade etmektedir. Malzemenin biyo-uyumlu olarak nitelendirilebilmesi için önce bu üç etken uyum içerisinde olmalıdır. Dental malzemelerin çoğundan beklenen eylem fiziksel/mekanik özellikleri tarafından karşılandığından "uygun konakçı yanıtı" ifadesi çoğu durumda bu malzemenin varlığında canlı sistemin karşı reaksiyon göstermemesi anlamına gelmektedir. Çeşitli dental malzemeler için karşı reaksiyonlar bildirilmiştir. Bu reaksiyonlar seyrek olduğu halde gerçekleştirilen milyonlarca tedavi göz önüne alındığında potansiyel olarak pek çok bireyin etkilenmesi söz konusudur [75].

Rezin bazlı malzemeler restorasyonun yerleştirilmesi sonrasında ağız boşluğunda polimerize olmamış monomerler, katkılar ve doldurucu bileşenleri salabilirler. Hastalar restorasyonun yerleştirilmesi esnasında büyük miktarlarda sertleşmemiş monomer ile temas ettikleri halde literatürdeki kaygıların çoğunluğu polimerizasyon sonrası polimerize olmamış monomerlerin salımı kaynaklıdır. Klinik koşullar altında ağız boşluğunda 40 sn'den fazla olmayan kısa sertleştirme süresi ve 37 $^{\circ}\text{C}$ civarındaki sıcaklık değerleri ile kompozitler kesinlikle tam olarak polimerize olmamaktadır. Ancak apraz bağlanma reaksiyonunun ilerlemesi ile monomerlerin hareketliliği şiddetli bir şekilde azaltılmaktadır. Sonuç olarak, sadece katkı maddeleri gibi bağlanmamış bileşikler değil polimerize olmamış monomerler de kompozit yapısından sızabilir. Resin bazlı malzemeye bağlı olarak dönüşüm derecesi % 50 – 70 aralığında değişebilmektedir. Maksimum dönüşüm derecesi 24 saat sonra "post-cure" işlemine (ışıksız polimerizasyon) bağlı olarak elde edilebilmektedir. Bu da ışık ile sertleştirme işleminin hemen sonrasında polimerizasyon oranının daha da düşük (% 30 – 40)

olduğunu göstermektedir. Doldurucu salımı hem doldurucu-matris siloksan bağlarının hidrolizi sonrası tam doldurucu partiküllerinin salımını hem de hidroliz ve iyon değişimi mekanizmalarına bağlı olarak SiO_2 , Ba, Sr, Na gibi doldurucu bileşenlerinin salımını kapsamaktadır. Doldurucu partiküllerinin salımı temel olarak kompozitlerin ilerleyen aşınması ile bağdaştırılmaktadır. Bununla birlikte sağlık üzerine muhtemel etkileri hakkında çok az bilgi vardır [76].

Kompozitlerin neredeyse tüm majör bileşenleri (Bis-GMA, TEGDMA ve UDMA gibi) sadece monomer olarak test edildiklerinde sitotoksiktirler. Ancak sertleştirilmiş kompozitin biyolojik yatkınlığı kompozitten bu bileşenlerin salınım boyutuna bağlıdır. Kompozitler sertleştirme sonrası haftalarca düşük seviyelerde bileşen saldıkları halde bu bileşenlerin biyolojik etkileri ile ilgili kayda değer derecede ihtilaf vardır. Salımın miktarı kompozit tipine ve kompozitin sertleştirme yöntemi ve etkinliğine bağlıdır. Dentin bariyeri bileşenlerin pulpa dokusuna ulaşmasını belirgin bir şekilde azaltmaktadır. Bu bileşenler dentin bariyeri içerisinden ancak düşük konsantrasyonlarda geçebilmektedir. Hücrelerin resin bileşenlerine düşük doz ve uzun süreli maruziyetinin etkileri genellikle bilinmemektedir. Diğer taraftan kompozit malzemelerin doğrudan pulpa kaplama ajanı olarak kullanımı karşı biyolojik yanıt açısından daha yüksek bir risk oluşturmaktadır, çünkü pulpanın salınan bileşenlere maruziyetini sınırlandıracak bir dentin bariyeri bulunmamaktadır.

Kompozitlerden salınan bileşenlerin ağız ya da diğer dokular üzerine etkisi kesin olarak bilinmemektedir. Bununla birlikte karşı biyolojik etkileri belgeleyen bir çalışma da yoktur. ISO dental malzemelerin toksitesini test etmek üzere kompozitlerin çeşitli su bazlı ve organik bazlı elüsyon ortamlarında bekletilmesini takiben elüantların karşı biyolojik cevap için test edilmesini istemektedir. Bu tür salınım sebebiyle en yüksek risk altındaki doku kompozitler ile yakın ve uzun süreli temasta olan mukoza gibi görülmektedir. Kompozitlerin bileşenleri bilinen alerjenlerdir ve kompozitler ile temasa bağlı olarak alerjik reaksiyon geliştiği bazı kaynaklarda bildirilmiştir. Bu reaksiyonların çoğu düzenli olarak, sertleştirilmemiş kompozit malzemeler ile çalışan ve bu sebeple en büyük maruziyeti yaşayan dişçi ya da dental personelde ortaya çıkmaktadır. Genel toplum üzerinde kompozitlere karşı alerji sıklığını belgeleyen iyi çalışmalar bulunmamaktadır [58].

2.4 Dental Kompozitlere Uygulanan Testler

Kompozit restorasyonlar ağız boşluğunda çeşitli etkilere maruz kalmaktadır ve bu sebeple mekanik, kimyasal ve renk stabilitesi bakımından yüksek olan talepleri karşılamak zorundadırlar. Dental malzemeleri karakterize etmek ve klinik kullanıma uygunluklarını test etmek üzere mevcut pek çok yöntem vardır [66].

Rezin bazlı kompozitlerin mekanik özellikleri esas olarak mikroyapılarına ve bileşimlerine bağlıdır. Mikroyapısal karakteristikler doldurucu taneciklerinin dağılımı, bu doldurucu taneciklerinin morfolojisi ve önceden var olan kırık ve boşluklardır. Bu karakteristikler doğrudan kompozitin bileşimi ile ilişkilidir.

Bis-GMA/TEGDMA/UEDMA oranının değiştirilmesinin kompozitin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği yapılan çalışmalarda gözlemlenmiş ve malzemenin spesifik uygulamalarına bağlı olarak spesifik kombinasyonların geliştirilmesi önerilmiştir. Kompozitlerin su absorpsiyonu ve çözünürlüğü ile değerlendirilen uzun süreli dayanıklılığın da kompozitlerin organik bileşimine bağlı olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Bununla birlikte inorganik doldurucu bileşeni, resin bazlı kompozitlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ile ilgili olarak değerlendirilecek en önemli etkendir ve bu sebeple yaygın olarak çalışılmaktadır [77].

İlk bakışta ISO tarafından belirlenen laboratuvar testleri klinik gerçeklikten çok uzak gibi görünmektedir. Test düzeneklerinin hiçbirinde doğal diş kullanılmamakta ve bunun yerine malzemelerden standart test numuneleri hazırlanmaktadır. Standardize edilmiş testlerin en büyük avantajı farklı araştırma kuruluşlarında elde edilen değerlerin birbirleri ile kıyaslanabilmesidir. Ayrıca, bu *in vitro* testler malzemenin klinik uygunluğunun değerlendirilmesinde kritik öneme sahip fiziksel değerler sağlamaktadır. Bu, özellikle esneme dayanımı için doğrudur. Standartların dezavantajı ise, ideal limitler başlığı altında yatmaktadır. Çünkü bu limitler üreticiler ve test enstitüleri arasındaki anlaşmaya bağlıdır.

Standart laboratuvar testleri malzemenin ilk analizi için önemlidir. Diğer test yöntemlerinin aksine kısmen de olsa klinik veriler ile iyi uyum göstermektedirler. Laboratuvar testleri klinik testlerin yerini alamamaktadır, ancak yeni malzemeler ile yapılan kontrollü klinik çalışmalara katılan hastaların güvenliğini arttırmaktadırlar.

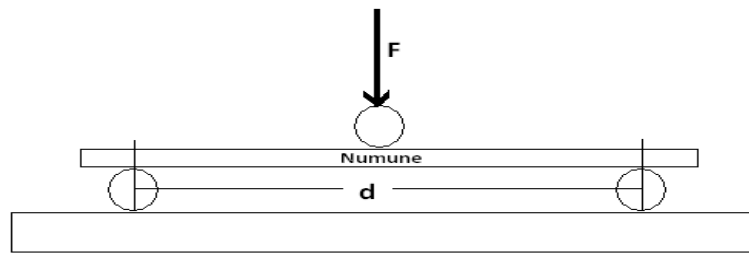
Ancak üreticiler ürünlerini pazara sunmadan önce sadece ISO standart testlerine güvenirlerse, bu klinik kullanımda beklenmeyen sorunlara yol açabilir. Bu sebeple uygun süreli klinik çalışmalar önemlidir [66].

Bükülme testleri numunenin esas kısmının (malzemenin iç kısmı) deformasyonu ve kırılması üzerine sonuçlar verirken, indentasyon (batırma) testleri daha çok bölgesel, üniform olmayan ya da yüzey pürüzleri ile ya da çiğneme ve kullanma esnasında üçüncül cisimler ile oklüzyon temasları gibi nokta temasları ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadırlar [55].

2.4.1 Üç-nokta Bükülme Testi

Esneme dayanımı gevrek malzemeler için anlamlı bir mekanik özelliktir. Bununla birlikte malzemenin hata dağılımı ve yapısal güvenirliliği gibi bazı hususlar değerlendirilmeden, sonuçlar klinik davranış ile ilişkilendirilememektedir. Her şeye rağmen *in vitro* üç-nokta bükülme testi polimer bazlı malzemeler için ISO 4049/2000 şartnamesi tarafından tavsiye edilmektedir ve kıyas amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [77].

Bir malzemenin esneme dayanımı iki ucundan desteklenmiş (sabitlenmemiş) numunenin orta noktasına uygulanan yük ile elde edilmektedir. Bu test üç-nokta bükülme testi olarak adlandırılmaktadır [58].



Şekil 2. 8 Üç-nokta bükülme testi

Bu test için çubuk şeklinde numuneler (25 mm × 2 mm × 2 mm) hazırlanmakta ve 37°C'de 24 saat suda bekletilmektedir. Bu numunelere üniversal test cihazında kırılana kadar yük uygulanmaktadır. Bu test neticesinde uygulanan maksimum kuvvet değeri elde edilmektedir, esneme dayanımı Eşitlik 2. 1 vasıtasıyla hesaplanmaktadır [66].

$$BF = \frac{3Fd}{2wh^2} \quad (2. 1)$$

BF: Esneme dayanımı (MPa)

w: Numunenin genişliği (mm)

F: Maksimum kuvvet (N)

h: Numunenin yüksekliği (mm)

d: Destekler arası mesafe (mm)

Bükülme testi tarafından sağlanan diğer bir önemli mekanik parametre malzemenin bükülmezliğini ifade eden elastisite modülüdür. Farklı klinik durumlar farklı elastisite modülü değerlerine sahip rezin bazlı restoratif malzemeler gerektirmektedir. Örneğin, sınıf V (servikal) kaviteleler diş ile birlikte esneyebilmeleri için düşük modülüs değerlerine sahip restoratif malzemeler gerektirmektedir. Diğer taraftan, ısırma (occlusal) kuvvetlerine dayanabilmeleri ve yapışma arayüzeyini koruyabilmeleri için arka (posterior) kompozitlerden göreceli olarak yüksek modülüs beklenmektedir.

Pek çok araştırmacı elastisite modülü ve doldurucu hacim yüzdesi (% hacim) ya da ağırlık yüzdesi (% ağırlık) arasında kayda değer bir ilişki bildirmiştir [55]. Kompozitler arasındaki üreticiye bağlı bileşim (monomer türü, inorganik doldurucunun şekli ve boyutu) farklılığının malzemenin mekanik davranışını etkilediği bilinmektedir [77].

Elastisite modülü üç-nokta bükülme testi sonrasında Eşitlik 2. 2 vasıtasıyla hesaplanabilmektedir.

$$E = \frac{Fd^3}{4wh^3L} \quad (2. 2)$$

E: Elastisite modülü (GPa)

w: Numunenin genişliği (mm)

F: Maksimum kuvvet (N)

h: Numunenin yüksekliği (mm)

d: Destekler arası mesafe (mm)

L: F kuvvetine denk gelen sapma (mm)

2.4.2 Su Absorpsiyonu ve Çözünürlük Testi

Standardize su emilimi testi standart bir numunenin desikatör içerisinde önce 37 °C’de 22 saat sonra 23 °C’de 2 saat kalmasını şart koşturmaktadır. Sonrasında malzeme tartılmaktadır. Bu işlem ağırlık değişimi 0.1 mg’dan daha fazla olmayana kadar tekrar edilmektedir. Sonrasında bu ağırlık başlangıç ağırlığı m_1 olarak kayıtedilmektedir. Bu kurutma işlemi sonrasında hacim (V) belirlemek üzere numune ölçüleri belirlenmektedir. Sonrasında numune su içerisinde 37 °C’de 7 gün süresince bekletilmektedir. Suda bekletme işlemi sonrasında numune tartılmaktadır (m_2) ve testin başındaki gibi tekrar kurutulmaktadır. Numunenin ağırlığı sabit kaldığında m_3 ağırlığı belirlenmiş olur. Bu değerlerden su emilimi (W_{sp}) aşağıda verilen Eşitlik 2. 3 vasıtasıyla hesaplanabilmektedir.

$$W_{sp} = \frac{(m_2 - m_3)}{V} \quad (2. 3)$$

m_2 : su emilimi sonrası ağırlık m_3 : numunenin tekrar kurutulması sonrası ağırlık

ISO standardının karşılanabilmesi için 40 $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ değerinden daha düşük bir değer elde edilmelidir. Çözünürlük testi için daha önce kaydedilen veriler aşağıda verilen Eşitlik 2. 4’te yerine yazılarak çözünürlük (W_{sl}) hesaplanabilmektedir.

$$W_{sl} = \frac{(m_1 - m_3)}{V} \quad (2. 4)$$

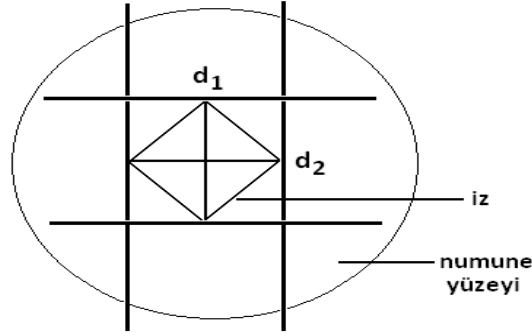
m_1 : başlangıç kurutma işlemi sonrası numune ağırlığı

m_3 : numunenin tekrar kurutulması sonrası ağırlık

Çözünürlük değerinin 7.5 $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ değerini geçmemesi gerekmektedir [66], [69].

2.4.3 Vickers Sertlik Testi

Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzeme yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir.



Şekil 2. 9 Vickers sertlik testinde numune yüzeyindeki yükün kaldırılması sonrası oluşan iz ve köşegen uzunluklarının belirlenmesi

Vickers sertlik değerini bulmak için, numune yüzeyindeki yükün kaldırılmasından sonra numune üzerinde meydana getirilen izin görüntüsü mikroskop yardımı ile ölçme ekranına aktarılır. Ölçme ekranındaki hareketli cetvel yardımı ile izin köşegen uzunlukları ölçülerek ortalaması alınır [78], [79].

$$d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (2. 5)$$

İzin alanının bulunmasından sonra Vickers sertliği aşağıdaki formül ile bulunur.

$$HV = \frac{P}{A} \quad (2. 6)$$

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2} \quad (2. 7)$$

HV: Vickers sertlik değeri (kg/mm²) A: Numune üzerindeki izin yüzey alanı (mm²)

P: Yükleme kuvveti

d: Numune üzerindeki izin köşegen boyu (mm)

PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ VE SİLİKA

Buğday ile eşit derecede önemli olan pirinç dünya çapında en çok üretilen mahsullerden biridir. Pirinç dünya nüfusu için temel bir gıda ve besin maddesidir. Pirinç kabuğu pirincin işlenmesi esnasında ortaya çıkan bir yan üründür [80] ve Dünya üzerindeki en büyük atık problemlerinden birini oluşturmaktadır [81]. Gelişmekte olan ülkeler yaygın olarak tarımsal kaynaklar ve onların endüstriyel yan ürünlerine sahiptir. Bu yan ürünlerin çoğu çeşitli düşük değere sahip ürünler ile birlikte yeterince değerlendirilememektedir. Diğer taraftan gelişmiş ülkeler “atık yoktur” görüşünü kabul etmektedir ve bu tür malzemeler değer katılarak yeni malzemeler geliştirilmek üzere “yeni kaynaklar” olarak nitelendirilmektedir. Pirinç kabuğu değer katılabilecek tarımsal “atıklardan” biridir ve pirinç üreten ülkelerde çok miktarda bulunmaktadır. Üretilen her 1 ton pirinç için yaklaşık 0.23 ton pirinç kabuğu ortaya çıkmaktadır [82].

Dünya genelinde yıllık yaklaşık 700 milyon ton pirinç işlenmektedir [83] ve bunun sonucunda yaklaşık 140 milyon ton pirinç kabuğu ortaya çıkmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü İstatistik Bölümü (FAOSTAT) tarafından sağlanan 2010 – 2013 yıllarına ait ülkemiz, Asya kıtası ve Dünya yıllık pirinç üretim bilgileri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Bu verilere göre ülkemizde yıllık olarak 180000 ton pirinç kabuğu ortaya çıkmaktadır.

Aşındırıcı yapısı ve düşük besin ögesi içeriği sebebiyle pirinç kabuğu gıda için uygun değildir ve bu sebeple de genellikle atılmaktadır. Pirinç kabuğu genellikle açık havada yakılmakta ya da tarım alanlarında istiflenmektedir. Bunun sonucunda büyük miktarlarda tehlikeli madde salınmakta, toprak kaynakları (tarım alanları) işgal

edilmekte ve çevre kirletilmektedir. Bu sebeple pirinç kabuğunun değerlendirilmesi çevrenin korunması ve tarımsal atıkların arıtılması açısından çok önemlidir [80].

Çizelge 3. 1 2010 – 2013 yılları Türkiye, Asya kıtası ve Dünya pirinç üretimi verileri [FAOSTAT]

Yıl	Yıllık Üretim (Ton)			*Dünya Üretimindeki Payı (%)	
	Türkiye	Asya	Dünya	Türkiye	Asya
2010	860000.00	634691897.40	701974998.04	0.12	90.42
2011	900000.00	654564074.70	722718631.39	0.12	90.57
2012	880000.00	665160732.64	734906259.74	0.12	90.51
2013	900000.00	671016524.26	740902531.63	0.12	90.57

*FAOSTAT verilerine dayalı olarak hesaplanmış değerlerdir.

Yüksek silisyum içeriği sebebiyle pirinç kabuklarının kullanımı son yıllarda belirgin şekilde yaygınlaşmıştır. Günümüzde silisyum karbür, silika, silisyum nitrür, silisyum tetraklorür, saf silisyum ve zeolit gibi silisyum temelli malzemelerin üretiminde pirinç kabukları hammadde olarak kullanılabilir.

3.1 Pirinç Kabuğu

Pirinç kabuğu temel olarak lignin, selüloz ve sulu silika içermektedir. Silisyum, pirinç bitkisine kökleri vasıtasıyla çözünmüş formda (muhtemelen silikat ya da monosilik asit) geçmektedir ve sonrasında buharlaşma ile konsantre hale geldiği ve polimerizasyon ile selüloz silika membranı oluşturduğu bitki dış yüzeyine geçmektedir. Silikanın baskın olarak inorganik bağlı olduğu yönünde genel bir kabul vardır ancak bir kısım silika da organik bileşiklere kovalent olarak bağlıdır. Silikanın bu kısmı alkali ortamda çözünmemekte ve çok yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir [81].

Kuru kabuk içerisindeki silika konsantrasyonu ağırlıkça % 21.5 kadar yüksek olabilmektedir. Böyle yüksek bir silika oranı ve silika-lignin sıkı bileşimi pirinç kabuğunu

su geçirgenliğine ve fungal ayrışmaya karşı dirençli hale getirmektedir. Bu sebeple pirinç kabuklarının biyolojik bozunma ile imha olması çok zordur [84].

Pirinç kabuğunun bileşimi numuneye bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu farklılık çeltik türü, yetiştirilme yılı, iklim ve coğrafya koşullarına ek olarak numune hazırlama ve analiz yöntemine de bağlıdır. Dünyanın farklı bölgelerinden elde edilen pirinç kabuklarının bileşimi üzerine gerçekleştirilen çalışmaların çoğunda, organik kısmın kabuk ağırlığının % 72'sini oluşturduğu belirtilmektedir. Ancak doğal malzemelerden beklenebileceği gibi selüloz, nem içeriği ve kül gibi bileşenler çeşitlilik göstermektedir [82].

Çizelge 3. 2 Pirinç kabuğu organik bileşenleri [82], [85]

Bileşen	Pirinç kabuğunda bulunan miktar (% Ağırlık)
α -selüloz	43.30
Lignin	22.00
D-ksiloz	17.52
l-arabinoz	6.53
Metilglukuronik asit	3.27
D-galaktoz	2.37
Toplam	94.99

Günümüzde pirinç kabuklarının büyük çoğunluğu pratik olarak tekrar kullanılamamakta ve çevre problemleri yaratmaktadır. Örneğin; 1 ton pirinç kabuğunun açık alanda yakılması 0.15 kg CO₂ gazı açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Pirinç kabukları arazide doğal parçalanmaya bırakıldığında ise yaklaşık olarak 0.09 kg metan (CH₄) üretilmektedir [86]. Pirinç kabukları, yakıt olarak tekrar kullanım açısından değerlendirildiğinde kullanışlı biyokütlelerdir. Çünkü kuru pirinç kabuğu % 70 – 85 oranında organik madde (selüloz, lignin, hemi-selüloz, vb.) içermekte [80] ve enerji üretmek için uygun bir yakıt kaynağı haline gelmektedir [86]. Ayrıca yüksek saflıkta

silika külü, silisyum karbür ve zeolit gibi teknolojik ürünler geliştirmek üzere hammadde olarak kullanılmaktadır [87].

3.2 Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuklarının enerji üretmek üzere yakılması kısmen de olsa araziye bırakılmasından daha çevre dostu bir alternatif olabilir. Pirinç kabuğu külü bu prosesin yan ürünüdür. Pirinç kabuğu külünün yaklaşık olarak % 97 – 99'u silikadır, geriye kalan kısım ise karbon ve diğer safsızlıklardan oluşmaktadır. Pirinç kabuğu külü ağırlıklı olarak amorfür ve bu sebeple “opalın” silika külü olarak adlandırılmaktadır.

Çizelge 3. 3 Pirinç kabuğu külünün kimyasal analizi [81], [88]

Bileşen	% Ağırlık	Bileşen	% Ağırlık
SiO ₂	86.9 – 97.3	MgO	0.12 – 9.96
K ₂ O	0.58 – 2.50	Fe ₂ O ₃	Eser – 0.54
Na ₂ O	0.00 – 1.75	P ₂ O ₅	0.20 – 2.85
CaO	0.20 – 1.50	Cl	Eser – 0.42

Artan çevre kaygısı, enerji ve kaynakların korunmasının gerekliliği gibi sebeplerden dolayı kabukların kontrollü koşullar altında yakılması ve sonuçta oluşan külün çimento ve polimer endüstrilerinde dolgu malzemesi gibi alternatif çevre dostu uygulamalarda değerlendirilmesi yönünde çabalar bulunmaktadır [84].

Pirinç kabuğu külü silika jel ve tozlarının üretimi için ekonomik bir hammadde olarak kullanılabilir. Silika bitkisel yağ arıtımında [89], [90], farmasötik ürünlerde, deterjanlarda, yapıştırıcılarda, kromatografik kolon malzemelerinde ve seramiklerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde silika malzeme hazırlamak üzere çeşitli yöntemler bildirilmiştir. Plazma sentez, kimyasal buhar çökeltme, sol-jel işleme, mikro-emülsiyon işleme ve hidrotermal teknik bu yöntemlerden bazılarıdır.

Silika üretimi için kullanılan geleneksel endüstriyel yöntemde sodyum silikat elde etmek üzere sodyum karbonat tozu ile kuvarz kumu yüksek sıcaklıkta (1300 °C) [91]

reaksiyona sokulmaktadır. Sonrasında silikayı çöktürmek üzere elde edilen sodyum silikat sülfürik asit ile reaksiyona sokulmaktadır. 1 ton silika üretimi için 0.51 ton sülfürik asit ve 0.53 ton sodyum karbonat kullanılmakta ve 0.23 ton karbon dioksit (CO_2), 0.74 ton sodyum sülfat ve 20 ton atık su açığa çıkmaktadır. Bu nedenle çevreye oldukça zararlı bir yöntemdir. Son yıllarda dünyanın başlıca kaygısı özellikle CO_2 ile ilgili “sera” etkisidir.

Geleneksel yöntemlerin en temel dezavantajı yüksek enerji tüketimi ve kirliliktir. Proses esnasında büyük miktarlarda CO_2 ve inorganik tuz açığa çıkmaktadır, bu da büyük ölçekli ticari uygulamalarını sınırlandırmış ve sürdürülebilir gelişme ilkesini ihlal etmiştir. İstenen malzemeler ile silika üretmek için daha ucuz ve çevre dostu bir yol daha fazla ilgi çekecektir [92], [93].

Pirinç kabuğu külü, yanma işlemine ve pirinç kabuğunun bileşimine bağlı olarak farklı renklerde olabilmektedir (yüksek karbon içerikli kül, düşük karbonlu gri kül, karbonsuz pembe ve beyaz kül). Farklı sıcaklık uygulamaları ve farklı ajanlar (asit, baz, v.b.) ile gerçekleştirilen ön ve son saflaştırma işlemlerine bağlı olarak farklı yapı ve özellikler elde edilebilmektedir [93].

3.3 Pirinç Kabuğu ve Pirinç Kabuğu Külünden Silika Üretimi

3.3.1 Doğrudan Yakma

Silika üretmek üzere pirinç kabukları hiçbir ön muamele yapılmaksızın doğrudan yakılabilmektedir. İşlemde, silikanın kül içerisindeki faz bileşimi ve yüzey alanı kritik bir şekilde pirinç kabuklarının yanma sıcaklığına bağlıdır. Ayrıca üretilen silikanın kalitesi ayrıca yakma işleminde kullanılan cihazlara da kuvvetli bir şekilde bağlıdır [81], [94], [95], [96], [97], [98].

Pirinç kabuklarının durgun hava ve 800 °C sıcaklık değerinin altındaki sıcaklıklarda yakılması sonucu amorf silika elde edilirken, 900 °C üzerindeki sıcaklıklarda kristal silika oluşmaktadır [93]. Pirinç kabuğu külü tozlarının faz analizi sıcaklığın arttırılması ile pirinç kabuğu külü içerisinde kristobalit, tridimit [99] ve kuvarz olarak adlandırılan üç kristal fazın oluştuğunu göstermektedir. Sıcaklığın 900 °C'ye kadar yükseltilmesi ile

külden yanmamış karbon uzaklaştırılabilmektedir. Ancak bu işlem amorf silikanın kristobalit ve tridimit yapıya geçmesine sebep olmaktadır [93]. Pirinç kabuğu içerisinde potasyum oksit (K_2O) bulunduğu kristal faz oluşumunun arttığı literatürde bildirilmektedir. Ayrıca potasyum konsantrasyonunun arttırılması ile tridimit yapı ortaya çıkmaktadır [93], [100].

3.3.2 Ön Muamele Sonrası Yakma

Ön muamele işleminde farklı asitler (HCl, H_2SO_4 , HNO_3 , HF) kullanılmakla birlikte en çok kullanılan asit HCl'dir [81]. Isı muamelesi öncesinde pirinç kabuklarının asit çözeltileri ile kaynatılması ve filtre edilmesi işleminin pirinç kabuklarında bulunan selüloz ve hemiselülozun hidrolizini hızlandıracağı ve ayrıca metalik safsızlıkların çoğunun uzaklaştırılabileceği pek çok yazar tarafından belirtilmiştir [101], [102]. Bunun sonucunda spesifik yüzey alanı yüksek ve tamamen beyaz renkte kül-silika üretimi mümkün hale gelmektedir [93].

Farklı asitlerin ve bu asitlerin farklı konsantrasyonlarının pirinç kabuklarının yanma ürünleri üzerine etkisini incelemek üzere HCl, H_2SO_4 ve HNO_3 kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonucunda metalik safsızlıkların uzaklaştırılmasında HCl'in H_2SO_4 ve HNO_3 'ten daha etkili olduğu gösterilmiştir. Aynı çalışmada pirinç kabuklarının seyreltik HCl (1 N) ile muamelesinin tamamen beyaz renkte kül eldesine yardımcı olduğu gösterilmiştir [103]. HCl ile muamele işlemi, yakma sonrası elde edilen beyaz küle uygulandığında aynı saflıkta amorf silika elde edilebilmektedir. Ancak elde edilen silikanın spesifik yüzey alanının $1 \text{ m}^2/\text{g}$ 'a düştüğü belirtilmektedir. Spesifik yüzey alanı yüksek olan silika yüksek reaksiyon aktivitesine sahip olduğundan pirinç kabuğunun asit muamelesi üretilen silikanın kalitesini arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak elde edilen silikanın uygulama alanı da genişlemektedir [81], [102].

Metal oksitler silika üretimini etkilemektedir. Pirinç kabuğu külü içerisinde bulunan bazı metal oksitlerin, özellikle potasyum oksit, amorf silikanın kristobolite dönüşümünü tetiklediği belirlenmiştir [81], [95], [96], [104], [105]. Bu davranış pirinç kabuğu içerisinde bulunan silika ve potasyum arasındaki kuvvetli etkileşime bağlıdır [81], [95], [106]. Bu sebeple asit muamelesinin temel etkisi metal oksitlerin, özellikle potasyum oksitin, uzaklaştırılmasıdır [81].

3.3.3 Alkali Ekstraksiyon Sonrası Çöktürme ile Silika Eldesi

Pirinç kabukları yakıldığında silikat mineralleri ve karbon kalıntısından oluşan bir kül elde edilmektedir. Amorf silika pirinç kabuğu külünden düşük sıcaklıkta alkali ekstraksiyon ile elde edilebilmektedir. Amorf silikanın çözünürlüğü pH 10'un altında çok düşüktür ve pH 10'nun üzerinde yükselmektedir. Bu benzersiz çözünürlük davranışı silikanın saf halde alkali koşullar altında ekstraksiyonunu mümkün kılmaktadır [107]. Bu amaçla çoğunlukla sodyum hidroksit ve sodyum karbonat kullanılmaktadır [108]. Ekstraksiyon sonrası saf silika jel elde etmek üzere düşük pH değerlerinde çöktürme ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmektedir [107].

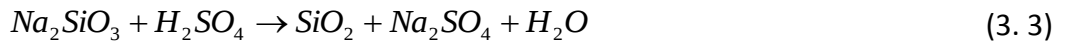
3.3.3.1 Sodyum Hidroksit ile Ekstraksiyon

Pirinç kabuğu külü içerisindeki amorf silika sodyum hidroksit içerisinde çözünür ve sodyum silikat çözeltisi elde edilir [109]. Amorf silika kristal silikanın tersine bazik çözeltelerde kolayca çözünmektedir [87]. Bu işleme ait reaksiyon Eşitlik 3. 1'de verilmiştir. Burada x sodyum silikat çözeltisindeki SiO_2 'nin Na_2O 'ya oranını belirten ve çözeltinin özelliklerini etkileyen bir değişkendir [109]. Bununla birlikte bu reaksiyon Eşitlik 3. 2'de verildiği şekliyle de literatürde karşımıza çıkmaktadır [93], [110].



Sodyum Hidroksit Ekstraksiyonu Sonrası Asit ile Silika Eldesi

Asit ilavesi ile sodyum silikat çözeltisinin pH değeri 10'un altına düşürüldüğünde silika jel elde edilmektedir [81], [93].



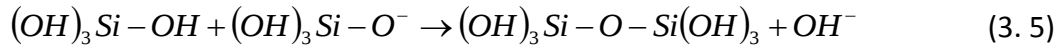
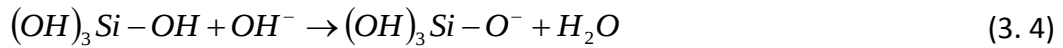
Elde edilen silika jel oluşan sodyum tuzlarının uzaklaştırılması amacı ile saflaştırılmaktadır [93], [111].

Sodyum silikat çözeltisinden silika eldesi amacıyla hidroklorik (HCl), sülfürik (H_2SO_4), sitrik ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), ogzalik ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$), nitrik (HNO_3) asit gibi farklı asitler kullanılmış [111], [112], [113] ve bu asitlerin sonuçta oluşan silika üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca

silika jel farklı pH değerlerinde hazırlanmış ve üretilen silika üzerine pH etkisi de incelenmiştir [111], [112]. Kalapathy vd. [111] tarafından gerçekleştirilen çalışmada sitrik, ogzalik ve hidroklorik asit kullanılarak pH 4 ve 7’de silika jel hazırlanmış ve elde edilen silika “xerogel” numunelerinin sodyum içerikleri belirlenmiştir. Sonuçlar pH 4’te hazırlanan silika “xerogel” numunesinin pH 7’de hazırlanan numuneden daha az sodyum içerdiğini göstermiştir. pH 4’te pH 7’ye kıyasla jelleşmenin daha yavaş gerçekleşmesi sodyum iyonları ve karşı anyonların jel matrisinden difüze olabilmesi için yeterli zaman sağlamaktadır ve sonuçta sodyum içeriği daha düşük silika “xerogel” elde edilmektedir. Sitrik ve ogzalik asit kullanılarak hazırlanan silika numunelerinin her ikisinin de sodyum içeriğinin hidroklorik asit ile hazırlanan numuneye kıyasla daha düşük olduğu görülmüş ve bunun oluşan sodyum tuzlarının boyutları ile bağlantılı olabileceği öne sürülmüştür. Sodyum klorürün küçük boyutu sebebiyle silika mikropor yüzeylerine absorbe olabileceği ve silika matristen yıkama ile uzaklaştırılamamış olabileceği öne sürülmüştür. Liou ve Yang [112] çalışmalarında pH 3 – 11 aralığında hidroklorik, sülfürik, ogzalik ve sitrik asit kullanarak silika jel hazırlamış ve jelleşme pH değerinin üretilen silika numunelerin yüzey alanına olan etkisini de incelemişlerdir. pH 4’te hazırlanan silikanın pH 9’da hazırlanan silika numuneye kıyasla daha az tuz içerdiğini Kalapathy vd. [111] tarafından gerçekleştirilen çalışmanın bulgularını doğrulayarak belirtmişlerdir. Ancak farklı asitlerin kullanımı ile üretilen numunelerdeki tuz içeriğinin kullanılan asit türüne bağlı olarak $C_6H_8O_7 > C_2H_2O_4 > H_2SO_4 > HCl$ düzeninde arttığını tespit etmişlerdir. Kullanılan asit türüne bağlı olarak oluşan sodyum tuzlarının boyutlarının da değiştiğini ve sodyum sitrat tuzunun daha büyük bir tuz olması sebebiyle jel matrisine gömüldüğünü ve Kalapathy vd. [111] tarafından belirtilenin aksine yıkama ile jelden uzaklaştırılamamış olabileceğini bildirmişlerdir.

Liou ve Yang [112] ayrıca silika jelin hazırlandığı pH değerinin elde edilen silika numunelerin yüzey alanına olan etkisini incelemiş, silika yüzey alanının kuvvetli bir şekilde jelleşme pH değerine bağlı olduğunu ve pH arttıkça azaldığını göstermişlerdir. En yüksek yüzey alanı pH 3’te hazırlanan silika numunede elde edilirken en düşük yüzey alanı pH 9’da hazırlanan silika numunede görülmüştür. Ayrıca pH değeri 3’ün altına düşürüldüğünde jelleşmenin gerçekleşmediğini, silika veriminin de pH değerinin artması ile arttığını ve maksimum verime pH 7 civarında ulaşıldığını ifade etmişlerdir.

pH 8'in üzerine çıktığında oluşan jellerin stabil olmadığı ve kısmen çözündüğü, pH 11'de ise neredeyse tamamen çözündüğü belirtilmiştir. Diğer taraftan jelleşme pH değerinin, üretilen silika numunelerin porozite ve partikül boyutu üzerine etkisinin çok büyük olduğunu belirtmişlerdir. pH 3'ten 9'a yükseltildiğinde partikül boyutu ve porozitenin arttığını ifade etmişlerdir. Bunun da jel oluşumu esnasında aşağıda iki ardışık basamak ile ifade edilen polikondenzasyon reaksiyonunun meydana gelebilmesi ile açıklamışlardır [93], [112], [114].

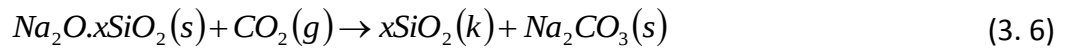


Bu polikondenzasyon reaksiyonlarında OH^- önemli bir katalizör rolü oynamaktadır. Asidik bölgede düşük jelleşme pH değeri, siloksan (Si-O-Si) bağlanmasının silanol (Si-OH) bağlanmasına dönüşmesine neden olmaktadır ve jel oluşumu yavaştır. Bu durumda silika daha küçük birincil partiküllerden oluşmakta ve bu sebeple yüksek yüzey alanına sahiptir. Bazik bölgede yüzey silanol gruplarından siloksan bağının oluşumu silika partikülleri arasında negatif yük oluşturmaktadır ve elektrostatik itmenin artmasına neden olmaktadır [115]. Partiküllerin daha fazla büyümesini yük katalizlemektedir, sonuçta artan pH ile partikül boyutu artmaktadır. Bu sonuç numune porozitesinin artmasına ve yüzey alanının azalmasına sebep olmaktadır. Bu işlem koşulları, numune yüzey alanının yaşlandırma süresi, yaşlandırma sıcaklığı ve sodyum silikat konsantrasyonu gibi değişkenler ile kıyaslandığında jel oluşum pH değerine karşı hassas olduğunu göstermektedir [93], [112].

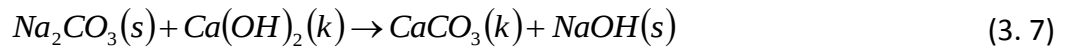
Sodyum Hidroksit Ekstraksiyonu Sonrası Karbonlama ile Silika Eldesi

Karbondioksit kullanılarak silikanın sodyum silikat çözeltisinden çöktürülebileceği belirtilmektedir [93]. Cai vd. [116] tarafından gerçekleştirilen çalışmada silika tozları sodyum silikat çözeltisinden CO_2 kullanılarak çöktürülmüştür. Bu amaçla PEG 6000, sodyum silikat çözeltisine belirli oranlarda ilave edilmiş ve enjektör vasıtasıyla yüksek basınçlı reaktöre beslenmiştir. Reaktör içerisinde belirli bir sıcaklık değerinde

karışmakta olan sodyum silikat çözeltisine 0.2 MPa basınç ile CO₂ verilmiş ve reaksiyon sonrasında 50 °C'de 2 saat yaşlanmaya bırakılan silika bulamaç bir pompa vasıtasıyla filtre edilmiştir. Çökelek su ve etanol ile birkaç defa yıkanmış ve vakum altında 50 °C'de 24 saat kurutulmuştur. Çalışmada partikül boyut ve dağılımını etkileyen faktörler reaksiyon süresi ve sıcaklığı, yüzey aktif madde ve sodyum silikat çözeltisi konsantrasyonu olarak belirtilmiş ve bu faktörler ile kontrol edilebileceği ifade edilmiştir. Basıncılı karbonlama yöntemi ile nanometre boyutunda, boyut dağılım aralığı dar, küresel şekilde ve Na₂CO₃ ve PEG kirliliği içermeyen yüksek saflıkta silika üretimi için optimum koşullar 0.2 MPa'da 1 saat reaksiyon süresi, 70 °C reaksiyon sıcaklığı, % 5 yüzey aktif madde (PEG) ve 0.5 M Na₂SiO₃ olarak belirtilmiştir [116]. Subbukrishna vd. [117] tarafından pirinç kabuğu külünden silika eldesi için kullanılan kimyasalların geri dönüşümünün mümkün olduğu bir yöntem önerilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında pirinç kabuğu külü NaOH ile belirli koşullarda reaksiyona sokulmaktadır ve sodyum silikat çözeltisi elde edilmektedir. İkinci aşamada elde edilen sodyum silikat çözeltisinden belirli bir akış hızında CO₂ geçirilerek silika çöktürülmektedir.



Üçüncü aşamada (rejenerasyon adımı) ise ikinci aşamada elde edilen ve sodyum karbonat içeren filtrat kalsiyum hidroksit kullanılarak sodyum hidroksite dönüştürülmektedir. Katı kalsiyum karbonat ve çözünmüş sodyum hidroksit filtrasyon ile ayrılmaktadır ve sodyum hidroksit silika ekstraksiyonu için tekrar kullanılmaktadır. Kalsiyum karbonat su ile yıkama işlemi sonrası kurutulmaktadır. Kurutulan kalsiyum karbonat kalsine edilerek rejenerasyon işleminde kullanılmak üzere kalsiyum hidroksite dönüştürülebilmekte ya da satılabilmektedir. Rejenerasyon işlemi için ise taze kalsiyum hidroksit kullanılabilmektedir.



Bu yöntem ile elde edilen silikanın amorf yapıda, % 98'den yüksek saflıkta ve 50 – 200 m²/g aralığında değişen yüzey alanına sahip olduğu çalışmada belirtilmiştir.

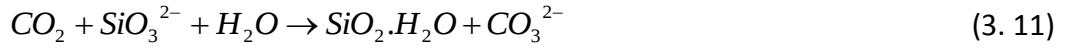
3.3.3.2 Sodyum Karbonat ile Ekstraksiyon

Pirinç kabuğu külünün Na_2CO_3 çözeltisi ile kaynatılması sonucu silika ekstraksiyonu gerçekleştirilmektedir. Bu ekstraksiyon işlemine ait reaksiyonlar Eşitlik 3. 9 ve 3. 10'da verilmiştir [93], [108].



Sodyum Karbonat Ekstraksiyonu Sonrası Karbonlama ile Silika Eldesi

An vd. [118] üretim maliyeti düşürülmüş ve çevreci bir silika toz üretimi için etkili alternatif bir yöntemin ticari öneme sahip olabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında pirinç kabuğu külünden silika elde etmek üzere çevreci bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde silika ekstraksiyonu Na_2CO_3 ile gerçekleştirilmiş ve silika tozları karbonlama ile hazırlanmıştır. Na_2CO_3 silika ekstraksiyon ajanı, atık gazların saflaştırılması ile elde edilen CO_2 ise çöktürme ajanı olarak kullanılmıştır. Silikanın endüstriyel bir atık olan pirinç kabuğu külü ve egzoz gazından sentezinin geleneksel yöntemlere kıyasla mantıklı bir yol olduğu belirtilmiştir.



Çalışmada pirinç kabuğu külü metalik safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla 1M HCl ile muamele edildikten sonra belirli bir konsantrasyonda Na_2CO_3 ile bir reaktör içerisinde 4 saat, karıştırılarak kaynatılmıştır. İşlem sonrası filtrat başka bir reaktöre alınmış ve saflaştırılan atık gaz da reaktöre beslenmiştir, bu karbonlama işlemi 1 saat sürdürülmüştür. Elde edilen bulamaç, oda sıcaklığında 3 saat yaşılandırılmış ve sonrasında filtre edilmiştir. Elde edilen çökelti su ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Çalışmada silika tozları endüstriyel atıklar olan pirinç kabuğu külü ve CO_2 ile çevreci bir yöntemle başarılı bir şekilde hazırlanmıştır. Optimum ekstraksiyon koşulları altında silisyum dioksit veriminin % 72.52'ye kadar çıkabileceği belirtilmiş ve optimum ekstraksiyon koşulları ağırlıkça % 20 Na_2CO_3 , 5:1 aşılama oranı, 4 saat ekstraksiyon

süresi ve 1 saat karbonlama süresi olarak belirlenmiştir. Elde edilen tozların silika ve nem içerikleri sırasıyla % 98.20 ve % 1.58 olarak belirlenmiştir [118].

An vd. [108] tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışma ise pirinç kabuğu külünden silika ve aktif karbon eldesi üzerinedir. Pirinç kabuğu külü metalik safsızlıkların uzaklaştırılması için asit ile muamele edilmiş ve sonrasında silika ekstraksiyonunu gerçekleştirmek üzere sodyum karbonat ile kaynatılmıştır. Filtrat silika tozlarının sentezinde katı kalıntı ise aktif karbonun hazırlanmasında kullanılmıştır. Pirinç kabuğu külünden silika ekstraksiyon verimine, elde edilen aktif karbonun gözenek hacmi ve BET yüzey alanına etki eden temel faktörleri incelemişlerdir.

Çalışmalar pirinç kabuğu külünden başarılı bir şekilde silika toz ve aktif karbon elde edilebileceğini göstermiştir. Silika ekstraksiyon veriminin ağırlıkça % 25 Na_2CO_3 , 6:1 aşılama oranı ve 4 saat reaksiyon süresi ile ağırlıkça % 84.57'ye ulaşabileceğini belirtmişlerdir. Karbon kalıntısından elde edilen aktif karbonun iyot adsorpsiyon kapasitesinin iyi olduğu belirtilmiş ve optimum deneysel parametreler 2:1 aşılama oranı ve 850°C aktivasyon sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların, eş zamanlı olarak silika toz ve aktif karbon hazırlamak üzere pirinç kabuğu külünün uygun bir öncü madde olduğunu gösterdiği öne sürülmüştür [108].

3.3.4 Hidrotermal Yöntem

Pirinç kabuğu, silikaya ek olarak organik bileşikler ve metaller içermektedir. Yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve yüksek oksidatif aktiviteli asidik ortamda organik bileşenler ayrıştırılabilmekte ve eser elementler çözünür iyonlara dönüştürülebilmekte ve sonrasında silika elde edilebilmektedir. Bu yöntemde kullanılan sıcaklık, yakma yönteminde kullanılanlardan çok daha düşüktür ve pirinç kabuğu içerisindeki silikanın amorf yapısının korunması daha kolaydır. H_2SO_4 ve HNO_3 gibi güçlü oksidasyon aktivitesi olan bazı asitler kullanılmaktadır, bazen H_2O_2 de oksidatif ortam olarak kullanılabilmektedir [81]. Su tabanlı bu işlemin prensibi yüksek sıcaklık ve basınçta suyun hidronyum (H_3O^+) ve hidroksil (OH^-) iyonlarına ayrışabilmesi ve böylece asidik ve bazik oksitler ile reaksiyona girebilen bir asit-baz sistemi gibi davranmasıdır. Bu işlem ile pirinç kabuğu içerisindeki metal safsızlıklar, silikanın hammadde olarak kullanıldığı pek çok endüstride kabul edilebilir seviyelere indirilebilmektedir. Ayrıca kabuğun

organik bileşenlerinin (hemi-selüloz, selüloz ve lignin) büyük ölçüde şeker ve asitlere ya da başka düşük molekül ağırlıklı organik bileşiklere dönüştüğü kabul edilmektedir. Bu da muamele edilen pirinç kabuğunda selülozik bileşenlerin az miktarda kalmasına ve böylece kabuktan silika elde etmek için gerekli yakma süresini azaltmakla birlikte duman oluşumu, maliyet ve zorlukları da azaltmaktadır [119].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kullanılan Malzemeler

4.1.1 Hammaddeler

4.1.1.1 Pirinç Kabuğu Külü

Deneysel çalışmalarda silika kaynağı olarak pirinç kabuğu külü (RHA) kullanılmış ve bir çeltik işleme fabrikası olan Yetiş Gıda San. ve Tic. A. Ş. (İpsala/Edirne)'den temin edilmiştir (Şekil 4. 1). Fabrika, çeltik kabuğunun yakılmasından düşük karbonlu ve yüksek silisyumlu kül üretmekte ve üretilen yüksek silisyumlu çeltik küllerini Türk demir/çelik sektörünün hizmetine sunmaktadır.



Şekil 4. 1 Kullanılan pirinç kabuğu külünün görüntüsü

4.1.2 Kimyasal Malzemeler

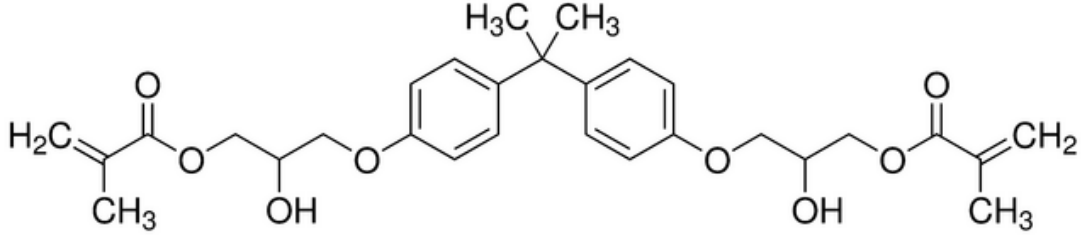
Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler kullanım amaçlarına bağlı olarak Çizelge 4. 1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar ve kullanım amaçları

Kullanım Amacı	Kimyasal Adı	Marka	Katalog No
Organik Matris	Bisfenol A gliserolat dimetakrilat (Bis-GMA)	Aldrich	494356-100ML
	2-Hidroksietil metakrilat (% 97) (HEMA)	Aldrich	128635-1KG
İnorganik Doldurucu Faz	Hidroksiapatit (HA)	Sigma-Aldrich	21223-1KG
	Titanyum (IV) oksit (Anatas)	Degussa	2120-25KG
	Alüminyum oksit	Riedel de Haën	11028
	Zirkonyum (IV) oksit	Riedel de Haën	14603
Foto-başlatıcı	(1 <i>R</i>)-(-)-Camphorquinone (% 99) (CQ)	Sigma-Aldrich	276286-5G
	2-(Dimetilamino)etil metakrilat (% 98) (DMAM)	Aldrich	234907-100ML
Silan ile Muamele	3-(Trimetoksisilil)propil metakrilat (γ -MPS)	Aldrich	440159-100ML
	Propilamin	Aldrich	109819-1L
	Siklohegzan	Merck	1.02832.2500
Silika Üretimi	Hidroklorik asit (% 37)	Merck	1.00314.2500
	Sodyum hidroksit	Riedel de Haën	06203

4.1.2.1 Dental Kompozitlerin Organik Matrisini Oluşturan Kimyasallar

Hazırlanan dental kompozitlerin organik matrisini oluşturmak üzere Bis-GMA ve HEMA monomerleri kullanıldı. Bu kimyasalların üretici firma (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Riedstr. 2, D-89555 Steinheim, Germany) tarafından belirtilen teknik özellikleri Çizelge 4. 2’de verilmiştir.

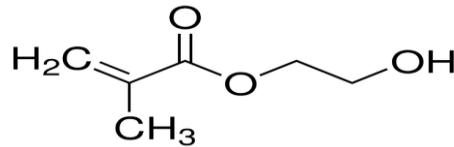


Şekil 4. 2 Bis-GMA monomerinin kimyasal formülü

Çizelge 4. 2 Organik matriksi oluşturan Bis-GMA ve HEMA’nın teknik özellikleri

Özellikler	Bis-GMA	HEMA
Molekül ağırlığı (g/mol)	512.59	130.14
Safılık (%)	–	97
Parlama noktası (°C)	110	96
Kaynama noktası (°C)	–	67
Erime noktası (°C)	–	<– 60
Yoğunluk (25 °C’de) (g/mL)	1.161	1.073
Refraktif indeks (n _{20/D})	1.552	1.453
Saklama sıcaklığı (°C)	2–8	2–8

HEMA kimyasalı inhibitör olarak 200 – 220 ppm monometil eter hidrokinon (monomethyl ether hydroquinone, MEHQ) içermektedir.



Şekil 4. 3 HEMA monomerinin kimyasal formülü

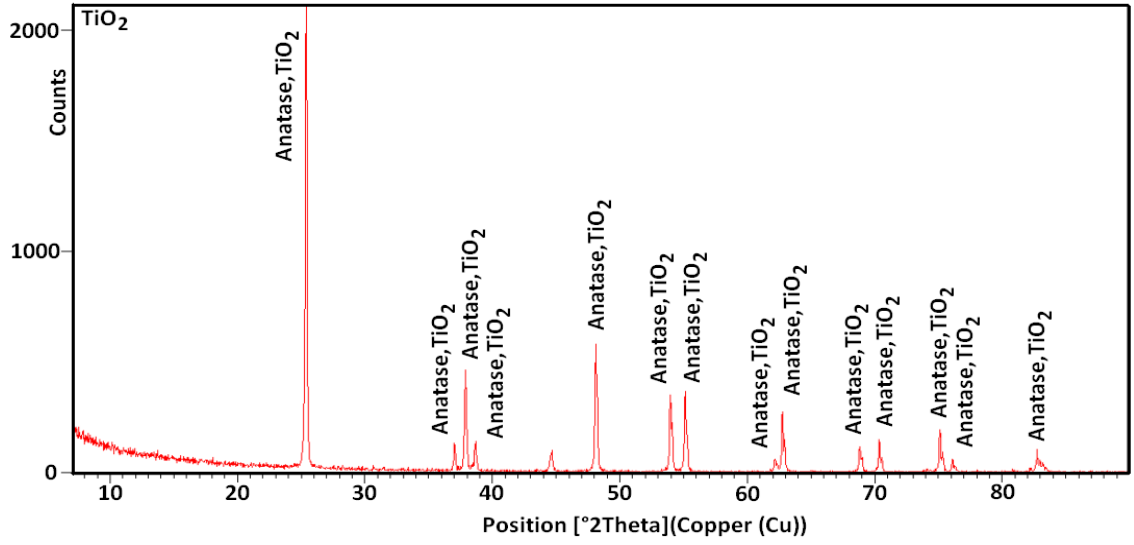
4.1.2.2 Dental Kompozitlerin İnorganik Fazını Oluşturan Kimyasallar

Hazırlanan dental kompozitlerin inorganik fazını oluşturmak üzere; üretilen SiO_2 tozları, hidroksiapatit (HA), alümina (Al_2O_3), zirkonya (ZrO_2) ve titanyum dioksit (TiO_2) kimyasalları kullanıldı. HA için üretici firma (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Riedstr. 2, D-89555 Steinheim, Germany) tarafından sağlanan teknik bilgiler ve Al_2O_3 , ZrO_2 için üretici firma (Sigma-Aldrich Laborchemikalien GmbH, D-30926 Seelze) tarafından sağlanan teknik bilgiler Çizelge 4. 3'te verilmiştir.

Çizelge 4. 3 Deneyisel dental kompozitlerde doldurucu olarak kullanılan HA, Al_2O_3 ve ZrO_2 tozlarının teknik özellikleri

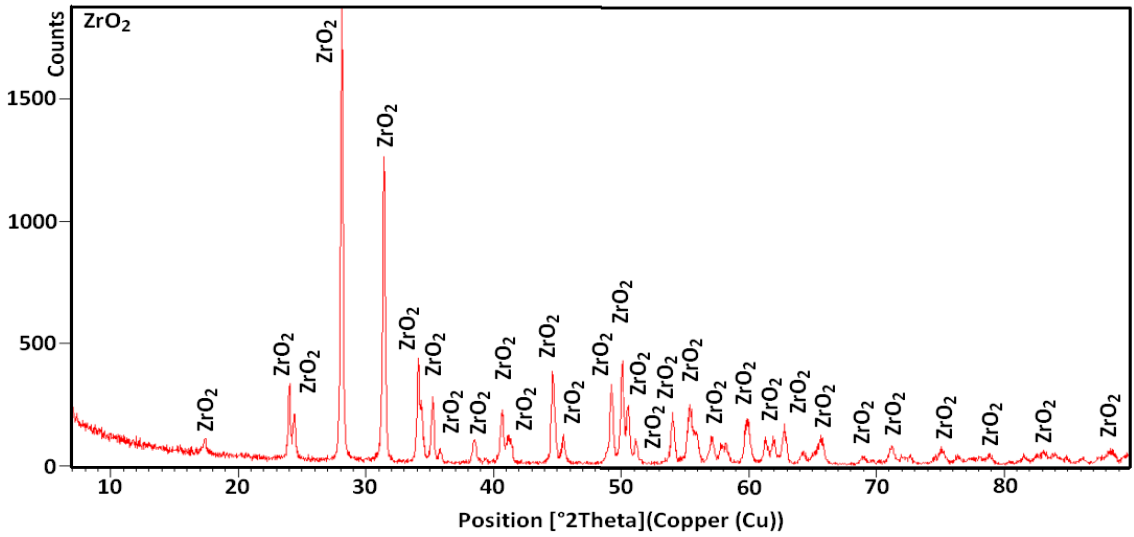
Teknik Özellikler	Element Analizi	HA	Al_2O_3	ZrO_2
Molekül ağırlığı (g/mol)		502.31	101.96	123.22
Kızdırma kaybı (%)		≤ 10 (800 °C)	0.5 (1000 °C)	–
Erime noktası (°C)		–	2040	2700
Kaynama noktası (°C)		–	2980	5000
Yoğunluk (25 °C'de) (g/mL)		–	4.0	5.89
Safılık (%)		≥ 90 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	≥ 98 Al_2O_3	≥ 99 $\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2$
Safsızlıklar (mg/kg)	Silikat (SiO_2 olarak)	–	≤ 1000	≤ 3000
	Sülfat (SO_4^{2-} olarak)	≤ 2000	≤ 500	≤ 2000
	Klorür (Cl^-)	≤ 500	≤ 50	–
	Demir (Fe)	≤ 400	≤ 300	≤ 300
	Titanyum (Ti)	–	–	≤ 1000
	Kadmiyum (Cd)	≤ 5	–	–
	Kobalt (Co)	≤ 5	–	–
	Bakır (Cu)	≤ 20	–	–
	Nikel (Ni)	≤ 5	–	–
	Kurşun (Pb)	≤ 5	–	–
	Çinko (Zn)	≤ 10	–	–

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak ticari toz numunelerin XRD analizleri gerçekleştirildi. TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 ve HA tozlarının XRD paternleri sırasıyla Şekil 4. 4, 4. 5, 4. 6 ve 4. 7'de verilmiştir.



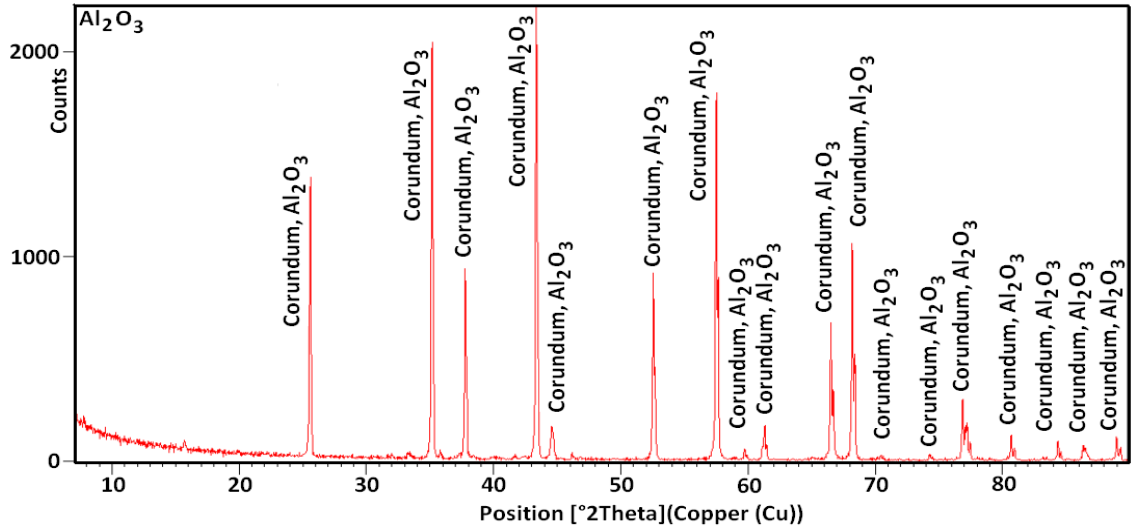
Şekil 4. 4 Ticari TiO_2 tozunun XRD paterni

XRD sonuçlarına göre TiO_2 numunesinin fazının tetragonal yapıda “anatase” mineral adlı titanyum oksit (TiO_2) olduğu tespit edilmiştir. Kristal parametrelerinin ($a=3.7892 \text{ \AA}$, $b=3.7892 \text{ \AA}$, $c=9.5370 \text{ \AA}$) 01 – 071 – 1167 nolu toz difraksiyon dosyası (powder diffraction file, PDF) kartı ile eşleştiği görülmektedir.



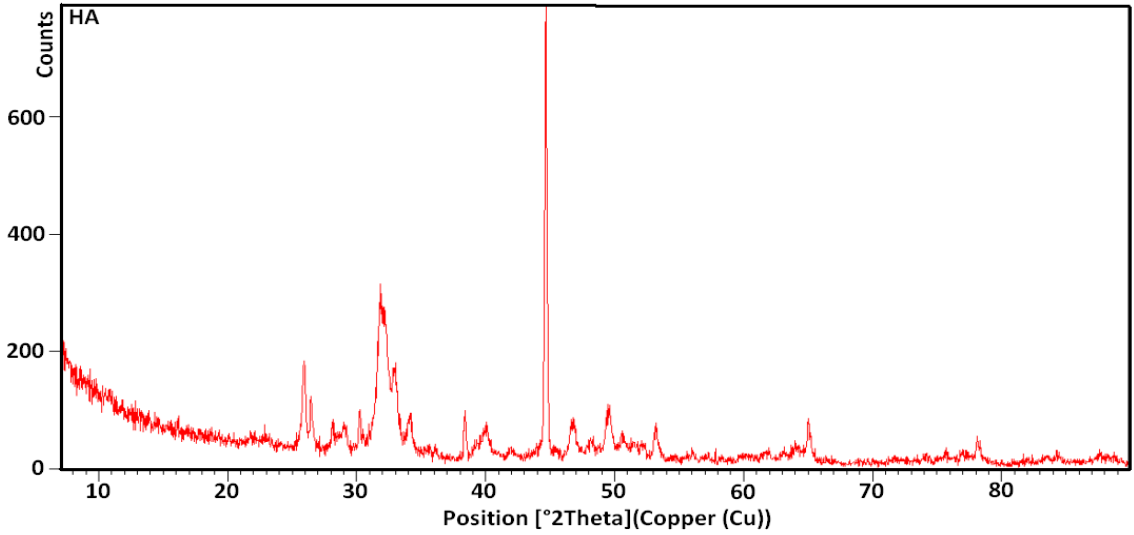
Şekil 4. 5 Ticari ZrO_2 tozunun XRD paterni

XRD sonuçlarına (Şekil 4. 5) göre ZrO_2 numunesinin fazının monoklinik yapıda zirkonyum oksit (ZrO_2) olduğu tespit edilmiştir. Kristal parametrelerinin ($a=5.1507 \text{ \AA}$, $b=5.2028 \text{ \AA}$, $c=5.3156 \text{ \AA}$) 01 – 078 – 0047 nolu PDF kartı ile eşleştiği görülmektedir.



Şekil 4. 6 Ticari Al_2O_3 tozunun XRD paterni

XRD sonuçlarına göre ticari Al_2O_3 numunesinin fazının rombohedral yapıda “corundum” mineral adlı alüminyum oksit (Al_2O_3) olduğu tespit edilmiştir. Kristal parametrelerinin ($a=5.1280 \text{ \AA}$, $b=5.1280 \text{ \AA}$, $c=5.1280 \text{ \AA}$) 01 – 074 – 1081 nolu PDF kartı ile eşleştiği görülmektedir.



Şekil 4. 7 Ticari HA tozunun XRD paterni

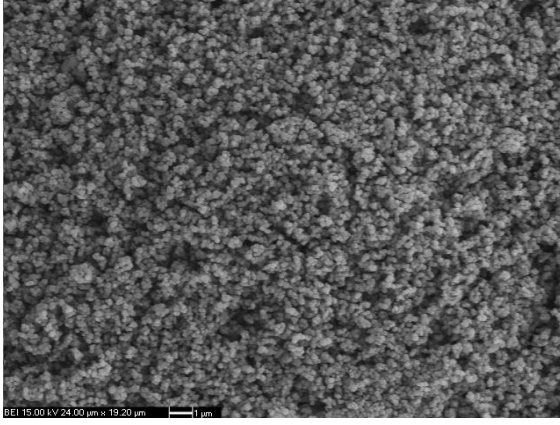
XRD sonuçlarına (Şekil 4. 7, Çizelge 4. 4) göre ticari HA numunesinin ana fazının hagzagonal yapıda hidroksilapatit mineral adlı kalsiyum fosfat hidroksit ($\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$) olduğu tespit edilmiştir. Kristal parametrelerinin ($a=9.4150 \text{ \AA}$, $b=9.4150 \text{ \AA}$, $c=6.8790 \text{ \AA}$) 01 – 086 – 1199 nolu PDF kartı ile eşleştiği görülmektedir.

Ticari HA numunesinin yan faz olarak kalsiyum hidrojen fosfat hidrat ($\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) içerdiği tespit edilmiştir (PDF: 00 – 011 – 0184).

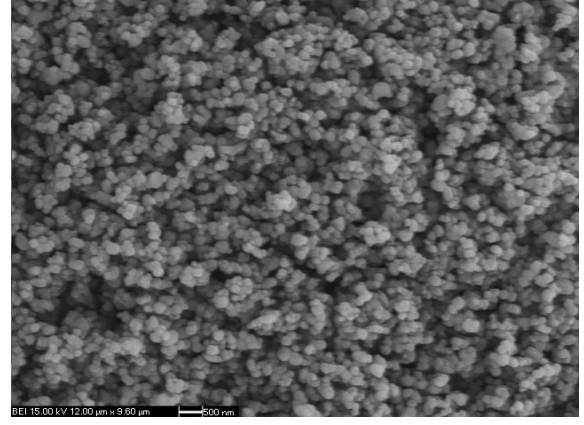
Çizelge 4. 4 Ticari HA tozu difraksiyon açıları ve fazları

No	2θ (°)	Faz
1	25.9524	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
2	26.4624	$\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
3	28.1441	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
4	29.0755	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
5	30.2676	$\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
6	31.8286	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
7	32.9350	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$
8	34.1583	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
9	38.4043	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
10	40.0480	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
11	44.6449	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$
12	46.8808	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
13	49.6299	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$; $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
14	53.1916	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$
15	65.0324	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$
16	78.2030	$\text{Ca}_{9.74}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2.08}$

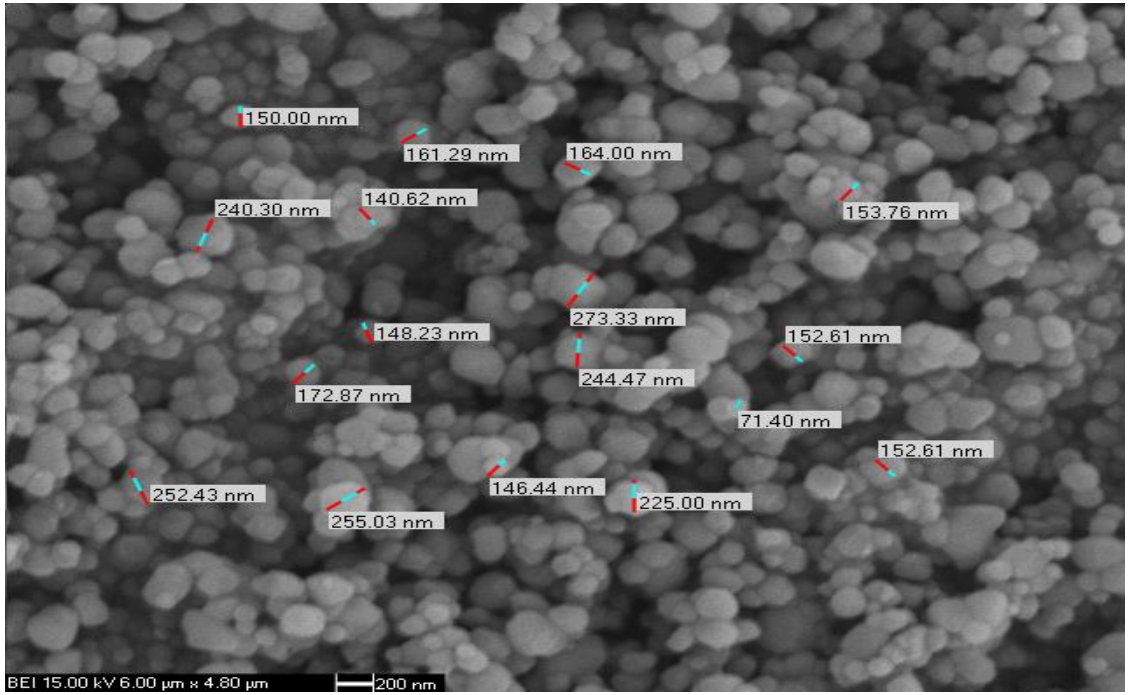
Dental kompozitlerin inorganik fazını oluşturmak üzere kullanılacak olan ticari tozların mikro yapıları ve partikül boyutları SEM ile belirlendi. TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 ve HA tozlarının SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4. 8, 4. 9, 4. 10 ve 4. 11’de verilmiştir.



(a)



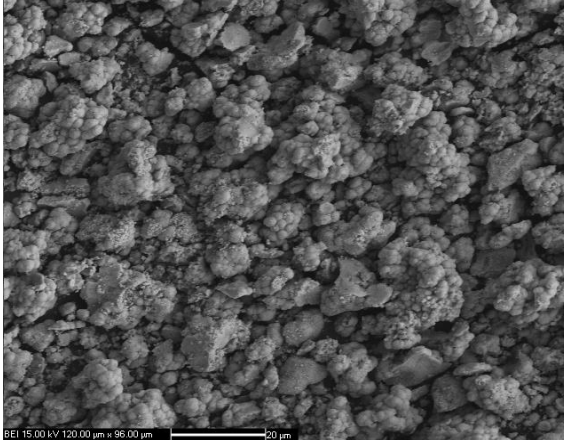
(b)



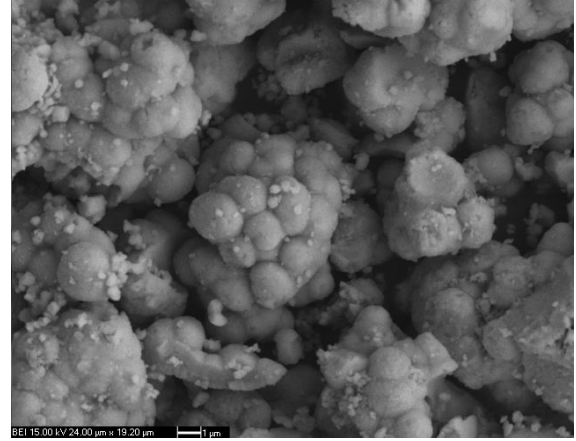
(c)

Şekil 4. 8 TiO_2 'nin SEM görüntüleri, (a) X 5000 (b) X 10000 (c) X 20000

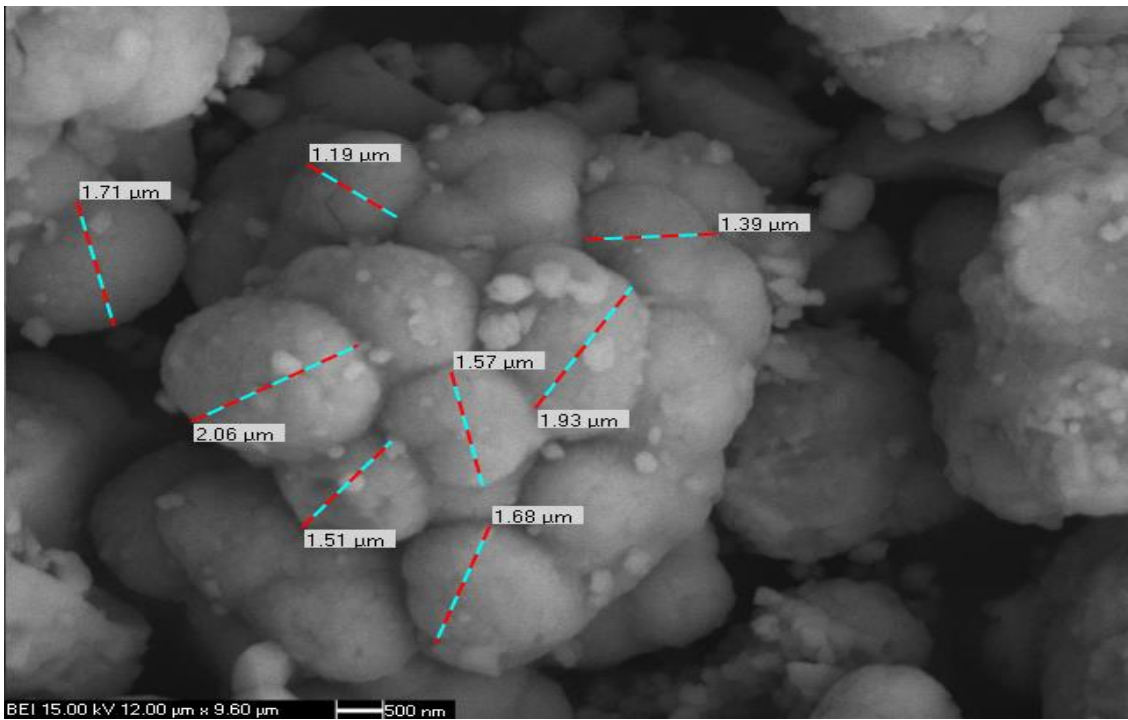
TiO_2 tozlarının SEM görüntüleri incelendiğinde TiO_2 taneciklerinin küresel yapıda olduğu görülmektedir. Ölçülen taneciklerin aritmetik ortalaması alındığında partikül boyut ortalamasının yaklaşık 185 nm olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

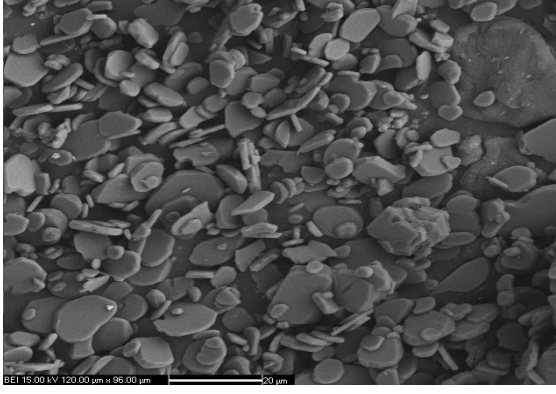


(c)

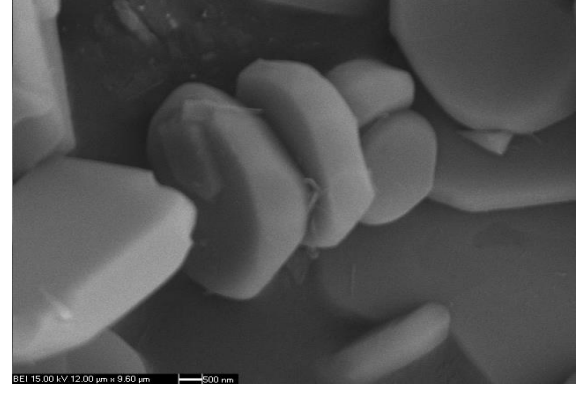
Şekil 4. 9 ZrO_2 'nin SEM görüntüleri, (a) X 1000 (b) X 5000 (c) X 10000

ZrO_2 tozlarının SEM görüntüleri incelendiğinde ZrO_2 tanecik boyut ortalamasının yaklaşık $1.6 \mu m$ olduğu ve bu taneciklerin aglomere olduğu görülmektedir.

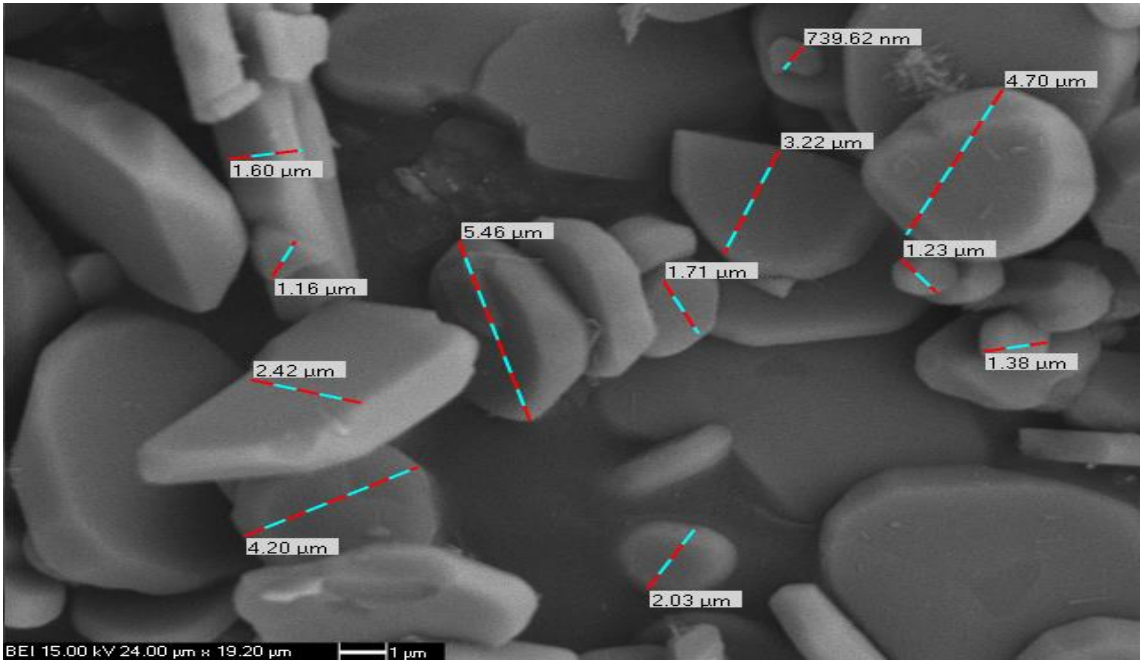
Al_2O_3 tozlarının SEM görüntüleri (Şekil 4. 10) incelendiğinde Al_2O_3 tanecik boyut ortalamasının yaklaşık $2.5 \mu m$ olduğu görülmektedir.



(a)



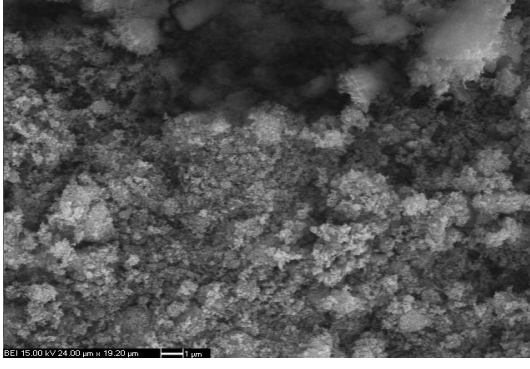
(b)



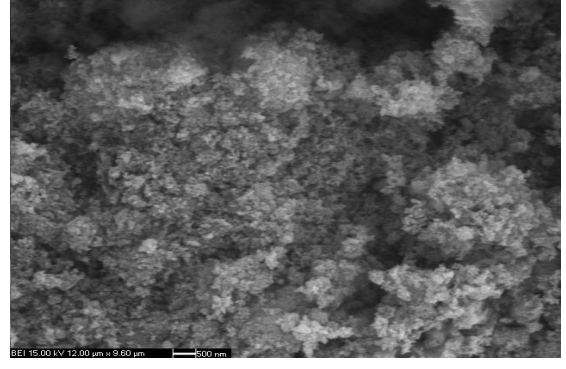
(c)

Şekil 4. 10 Al_2O_3 'ün SEM görüntüleri, (a) X 1000 (b) X 10000 (c) X 5000

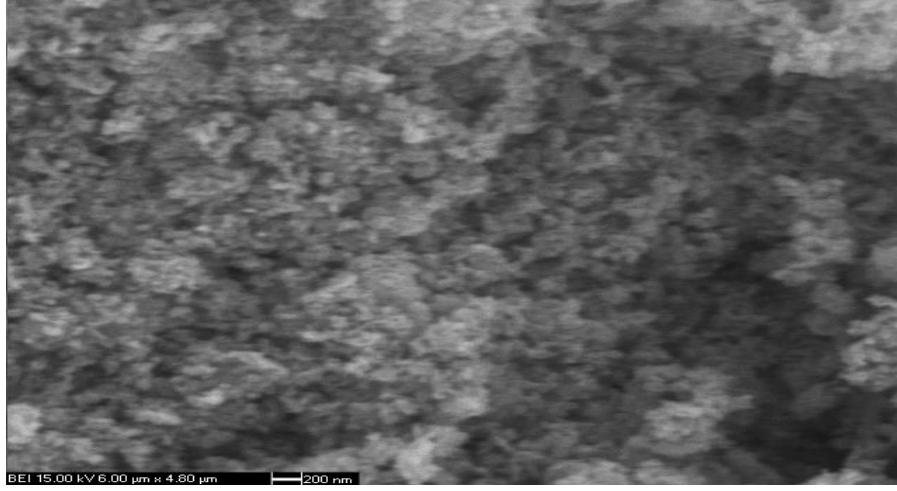
HA toz numunesine ait SEM görüntüleri Şekil 4. 11'de verilmiştir. Ancak HA toz numunesi için gerçekleştirilen SEM analizinde partikül boyutu belirlenemediğinden numunenin partikül boyut dağılımı "Fritsch Analysette 22 Compact" Partikül Boyut Analizörü (Laser Particle Sizer) ile belirlendi. Analiz sonucunda ticari HA numunesinin partikül boyut ortalaması $10.57 \mu\text{m}$ olarak ölçüldü. Elde edilen partikül boyut dağılım grafiği Şekil 4. 12'de verilmiştir.



(a)

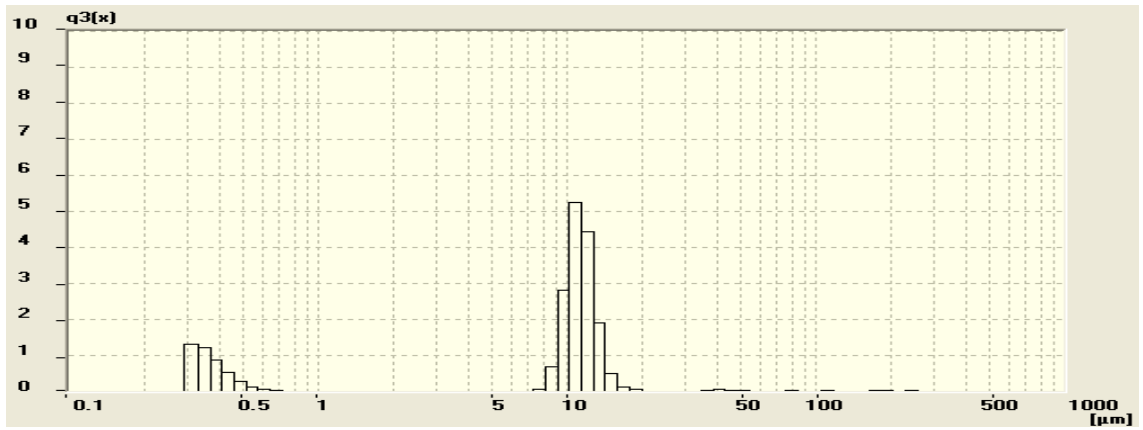


(b)



(c)

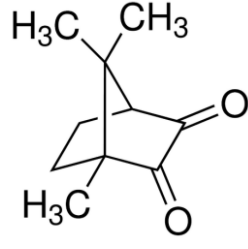
Şekil 4. 11 HA'nın SEM görüntüleri, (a) X 5000 (b) X 10000 (c) X 20000



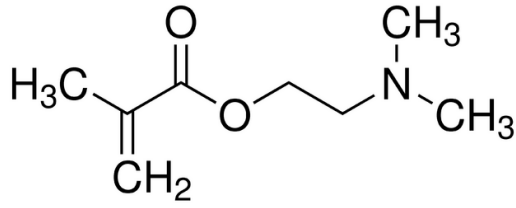
Şekil 4. 12 Ticari HA numunesinin partikül boyut dağılım grafiği

4.1.2.3 Foto-başlatıcı Olarak Kullanılan Kimyasallar

Foto-başlatıcı olarak CQ ve DMAM bileşimi kullanıldı. Bu kimyasalların üretici firma (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Riedstr. 2, D-89555 Steinheim, Germany) tarafından belirtilen teknik özellikleri Çizelge 4. 5'te verilmiştir. DMAM kimyasalı inhibitör olarak 2000 ppm MEHQ içermektedir.



(a)



(b)

Şekil 4. 13 (a) CQ, (b) DMAM molekülünün kimyasal formülü

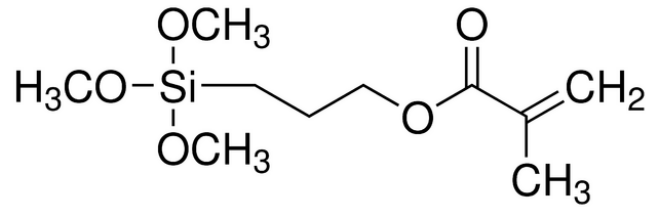
Çizelge 4. 5 Foto-başlatıcı olarak kullanılan CQ ve DMAM'nin teknik özellikleri

Özellikler	CQ	DMAM
Molekül ağırlığı (g/mol)	166.22	157.21
Safılık (%)	99	98
Parlama noktası (°C)	–	64
Kaynama noktası (°C)	–	182-192
Erime Noktası (°C)	200-203	–
Yoğunluk (25 °C'de) (g/ml)	–	0.933
Refraktif indeks (n _{20/D})	–	1.439
Optik aktivite (tolüen içerisinde)	[α] _{20/D} –101°, c = 2	–
Saklama sıcaklığı (°C)	–	2–8

4.1.2.4 Silan ile Muamele İşleminde Kullanılan Kimyasallar

Deneyisel dental kompozitlerdeki organik polimer matris ve inorganik doldurucu malzemeler arasındaki bağlanmayı sağlamak amacıyla ara faz olarak 3-(Trimetoksisilil)propil metakrilat (γ-MPS) kullanıldı. γ-MPS molekülüne ait üretici firma (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Riedstr. 2, D-89555 Steinheim, Germany) tarafından

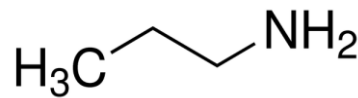
sağlanan teknik özellikler Çizelge 4. 6’da verilmiştir. İnorganik taneciklerin silan ile modifikasyonu işleminde siklohegzan ve propilamin kullanıldı. Siklohegzan kimyasalı için üretici firma (Merck Chemicals KGaA, 64271 Darmstadt, Germany) tarafından sağlanan kimyasal ve fiziksel veriler Çizelge 4. 7’de verilmiştir. Propilamin kimyasalı için üretici firma (Aldrich, 3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA) tarafından sağlanan özellikler ise Çizelge 4. 8’de verilmiştir.



Şekil 4. 14 γ-MPS molekülünün kimyasal formülü

Çizelge 4. 6 γ-MPS’nin teknik özellikleri

Özellikler	3-(Trimetoksisilil)propil metakrilat (γ-MPS)
Molekül ağırlığı (g/mol)	248.35
Safılık (%)	98
Safsızlık (%)	1 metil alkol, hidroliz kaynaklı
Kaynama noktası (°C)	190
Yoğunluk (25 °C, g/mL)	1.045
Refraktif indeks (n ₂₀ /D)	1.431



Şekil 4. 15 Propilamin molekülünün kimyasal formülü

Çizelge 4. 7 Siklohegzan kimyasalına ait kimyasal ve fiziksel veriler

Özellikler	Siklohegzan
Kimyasal formülü	C ₆ H ₁₂
Mol Ağırlığı (g/mol)	84.16
Safılık (%)	98
Çözünürlük (20°C, mg/l)	55
Erime noktası (°C)	6
Kaynama noktası (1013 hPa, °C)	81
Tutuşma sıcaklığı (°C)	260
Yoğunluk (20 °C, g/cm ³)	0.78
Kırılma indisi (20 °C)	1.4264
Parlama noktası (°C)	-18
Patlama limiti % (V)	1.2-8.3
Buhar basıncı (20 °C, hPa)	103
Viskozite kinematik (20 °C, mm ² /s)	1.26
Buharlaşma sayısı	3.5

Çizelge 4. 8 Propilamin kimyasalına ait kimyasal ve fiziksel veriler

Özellikler	Propilamin		
Molekül ağırlığı (g/mol)	59.11		
Safılık (%)	99		
Çözünürlük (20°C)	H ₂ O: karışabilir	Alkol: karışabilir	Dietil eter: karışabilir
Erime noktası (°C)	-83		
Kaynama noktası (°C)	48		
Öztutuşma sıcaklığı (°F)	604		
Yoğunluk (25 °C, g/mL)	0.719		
Refraktif indeks (n _{20/D})	1.388		
Patlama limiti (%)	10.4		
Buhar basıncı (20 °C, psi)	4.79		
Saklama sıcaklığı (°C)	2-8		

4.1.2.5 Silika Üretiminde Kullanılan Kimyasallar

Pirinç kabuğu külünden silikanın üretimi esnasında; sodyum hidroksit (NaOH) ve hidroklorik asit (HCl) kimyasalları kullanıldı. HCl kimyasalının üretici firma (Merck KGaA 64271 Darmstadt, Germany) tarafından sağlanan teknik özellikleri Çizelge 4. 9’da, NaOH kimyasalının üretici firma tarafından sağlanan teknik özellikleri ise Çizelge 4. 10’da verildi.

Çizelge 4. 9 Hidroklorik asit kimyasalına ait teknik özellikler

Teknik Özellikler	Element Analizi	Hidroklorik Asit
Kimyasal formülü		HCl
Molekül ağırlığı (g/mol)		36.46
Erime noktası (°C)		-28
Kaynama noktası (°C)		45
Yoğunluk (20 °C, g/cm ³)		1.19
Safsızlıklar (%)	Serbest klor	≤ 0.0001
	Sülfat (SO ₄)	≤ 0.0005
	Sülfat (SO ₃)	≤ 0.0010
	Ağır metaller (Pb olarak)(%)	≤ 0.0001
	Arsenik (As)	≤ 0.00010
	Kalsiyum (Ca)	≤ 0.0010
	Demir (Fe)	≤ 0.0003
	Civa (Hg)	≤ 0.000004

Çizelge 4. 10 Sodyum hidroksit kimyasalına ait teknik özellikler

Teknik Özellikler	Element Analizi	Sodyum Hidroksit
Kimyasal formülü		NaOH
Molekül ağırlığı (g/mol)		40
Erime noktası (°C)		318
Toplam safsızlık (%)		
	Toplam azot (N)	≤ 0.0005
	Ağır metaller (Pb olarak)	≤ 0.002
	Na ₂ CO ₃	≤ 0.5
Eser miktarlardaki anyonlar (mg/kg)		
	Cl ⁻	≤ 20
	PO ₄ ³⁻	≤ 10
	Silikat (SiO ₂ olarak)	≤ 100
	Sülfat (SO ₄ ²⁻ olarak)	≤ 30

Çizelge 4. 11 Sodyum hidroksit kimyasalının eser miktardaki katyon içerikleri

Eser miktarlardaki katyonlar	(mg/kg)
Alüminyum (Al)	≤ 10
Arsenik (As)	≤ 2
Kalsiyum (Ca)	≤ 10
Demir (Fe)	≤ 10
Civa (Hg)	≤ 1
Potasyum (K)	≤ 1000
Kurşun (Pb)	≤ 0.5

4.2 Kullanılan Cihazlar

4.2.1 Enstrümental Analiz Cihazları

4.2.1.1 X-Işını Difraktometresi (XRD)

Deneyisel çalışmalarda kullanılan hammadde ve elde edilen ürünlerin kristal özellikleri, X ışınlarının 45 kV ve 40 mA değerlerinde $\text{CuK}\alpha$ tüpünde üretildiği X-Işını Difraktometresi (X'Pert XRD Philips Panalytical X'Pert Pro, Hollanda) ile incelendi. Toz haldeki numuneler alüminyum numune kabına boşaltılarak hazırlandı ve bu işlem esnasında düz bir yüzey elde edilmesine dikkat edildi. Analizler, $0.03\ 2\theta^\circ$ adım sayısında, 0.5 sn tarama zamanında ve $5 - 90\ 2\theta^\circ$ aralığında gerçekleştirildi.

4.2.1.2 Diferansiyel Termal Analiz/Termogravimetri Cihazı (DTA/TG)

Deneyisel çalışmalarda kullanılan hammadde ve elde edilen ürünlerin termal analizlerinde Perkin Elmer Pyris Diamond DTA/TG cihazı kullanıldı. Analizler öncesinde cihaz, iridyum metalinin erime noktası ile kalibre edildi. Hammadde karakterizasyonunda $20\ ^\circ\text{C} - 1000\ ^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında oksijen, $30\ ^\circ\text{C} - 1000\ ^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında azot atmosferinde $10\ ^\circ\text{C}/\text{dak}$ ısıtma hızı ile analizler gerçekleştirildi. Üretilen silika tozları ve γ -MPS ile modifiye edilen silika tozlarının karakterizasyonunda ise analizler, ortam sıcaklığı ile $800\ ^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında oksijen atmosferinde $10\ ^\circ\text{C}/\text{dak}$ ısıtma hızı ile platin kroze kullanılarak gerçekleştirildi.

4.2.1.3 X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)

Numunelerin oksit içeriği Panalytical Minipal 4 XRF analiz cihazı ile belirlendi. Toz haldeki numuneler numune kabına boşaltılarak Ca – U elementleri aralığında analiz edildi. Her analiz 3 kez tekrarlandı ve ortalama sonuçlar rapor edildi.

4.2.1.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin mikro yapıları CamScan marka SEM cihazı ile incelendi. Toz numuneler, yapışkan bant yardımıyla cihazın numune kabına sabitlendi ve Au ile kaplanarak iletken hale getirildikten sonra analiz edildi.

4.2.1.5 İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES)

Deneysel çalışmalarda elde edilen ürünlerin ve hammaddenin eser element ve Si içeriği İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometre (Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry, ICP-OES, Perkin Elmer, Optima 2100 DV) cihazı ile belirlendi. Bu amaçla 0.2 g toz numune tartıldı ve mikrodalga kaplarına aktarıldı. Üzerine sırasıyla 8 ml HNO₃, 3 ml HCl ve 3 ml HF eklendi. Ayrı bir mikrodalga kabına kör (boş) olarak kullanılmak üzere ayrıca bu asitlerden aynı miktarlarda konuldu. Hazırlanan bu örnekler mikrodalga kapları içerisinde çeker ocakta bir gece bekletildikten sonra mikrodalga sentez cihazında aşağıdaki program uygulanarak çözümlendirildi.

Uygulanan Program

1. 400 Watt, 25 dakikada 105 °C'ye çıkıldı
2. 400 Watt, 10 dakika 105 °C'de kaldı
3. 400 Watt, 25 dakikada 150 °C'ye çıkıldı
4. 400 Watt, 10 dakika 150 °C'de kaldı
5. 400 Watt, 25 dakikada 200 °C'ye çıkıldı
6. 400 Watt, 20 dakika 200 °C'de kaldı

Mikrodalga programı sonlandırıldıktan sonra numuneler % 1'lik HNO₃ ile seyreltildi.

4.2.1.6 Adsorpsiyon Cihazı

Deneysel çalışmalarda elde edilen ürünlerin spesifik yüzey alanları ve azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm ölçümleri Micromeritics ASAP 2020 adsorpsiyon cihazında belirlendi. Adsorpsiyon izotermi sıvı azot sıcaklığı olan 77 K'de ölçüldü. Bağıl denge basıncı $0.05 < p/p_0 < 0.30$ aralığında değişirken adsorpsiyon verileri kullanılarak Brunauer-Emmett-Teller (BET) yüzey alanları (S_{BET} , m^2/g) hesaplandı. Analiz öncesinde örnekler vakum altında 110 °C'de 8 saat gaz giderme işlemine tabi tutuldu.

4.2.1.7 Partikül Boyut Analizörü

Üretilen SiO_2 tozları ve ticari HA tozu partikül boyut dağılımı Fritsch Analysette 22 Compact Partikül Boyut Analizörü (Laser Particle Sizer) kullanılarak belirlendi.

4.2.2 Mekanik Test Cihazları

4.2.2.1 Universal Mekanik Test Cihazı

Hazırlanan deneysel dental kompozit numunelerinin esneme dayanımı (flexural strength), elastisite modülü (flexural modulus) ve tokluk değerleri universal mekanik test cihazı H10K-S (Hounsfield, İngiltere) ile QMat 3.63 programı kullanılarak belirlendi.



Şekil 4. 16 Universal mekanik test cihazı H10K-S (Hounsfield, İngiltere)

4.2.2.2 Mikro-Sertlik Test Cihazı

Hazırlanan deneysel dental kompozit numunelerinin mikro-sertlik (Vickers sertlik) değerleri “Micro Vickers Hardness Tester, Microbul – 1000D” cihazı (Bulut Makine, Türkiye) ile 100 g yük ve 10 sn koşullarında ölçüldü.

4.2.3 Diğer Cihazlar ve Yardımcı Malzemeler

4.2.3.1 Yüksek Sıcaklık Fırını

Deneysel çalışmalarda Protherm PLF 110/6 yüksek sıcaklık fırını (maksimum sıcaklık 1100 °C) kullanıldı.

4.2.3.2 Mekanik Öğütücü

Pirinç kabuğu külü ve bu külden üretilen silika numunelerinin öğütülmesi işlemlerinde Retsch MM400 mekanik öğütücü kullanıldı. Mekanik öğütücü paslanmaz çelik bilya ve öğütme kapları içermektedir. Cihazın öğütme frekansı ve süresi ayarlanabilmektedir.



Şekil 4. 17 Mekanik öğütücü ve öğütme kapları

4.2.3.3 Mikrodalga Sentez Cihazı

Silikanın pirinç kabuğu külünden ekstraksiyonu ve ICP-OES için örneklerin çözümlendirilmesi işlemlerinde Milestone MicroSYNTH mikrodalga sentez cihazı kullanıldı.

4.2.3.4 pH-Metre

pH ölçümleri InoLab-WTW marka pH-metre ile gerçekleştirildi.

4.2.3.5 Santrifüj

Hazırlanan silika jel ve silika toz numunelerinin yıkanması işlemlerinde Hettich marka santrifüj kullanıldı.

4.2.3.6 LED Işık Cihazı

Hazırlanan kompozit macun karışımların serleştirilmesi işlemlerinde 3M ESPE Elipar™ FreeLight 2 LED ışık cihazı kullanıldı. Bu cihaz kompozitler, kompomerler ve ışık ile sertleştirilen cam iyonomer malzemeler için genel bir ışık polimerizasyon cihazıdır. Bu malzemelerin Elipar FreeLight 2 LED ile etkili polimerizasyonu için foto-başlatıcı olarak CQ içermesi gerekmektedir. Absorpsiyon spektrumları 430 – 480 nm aralığında olmayan foto-başlatıcıları içeren dental malzemeler bu cihaz için uygun değildir.

4.2.3.7 Etüv

Silika jel ve silika toz numunelerinin kurutulmasında ve hazırlanan dental kompozit numunelerin distile su içerisinde 37 °C’de bekletilmesi işlemlerinde MMM-Medcenter Ecocell etüv kullanıldı.

4.2.3.8 Terazı

Deneyisel çalışmalarda gerekli tartımların alınmasında Ohaus marka ExplorerPro model (Max. 210 g, d=0.1 mg) terazi kullanıldı.

4.2.3.9 Manyetik Karıştırıcı (Isıtıcılı)

Tüm karıştırma işlemlerinde Heidolph MR Hei-Standard ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanıldı.

4.2.3.10 Vakum Etüv

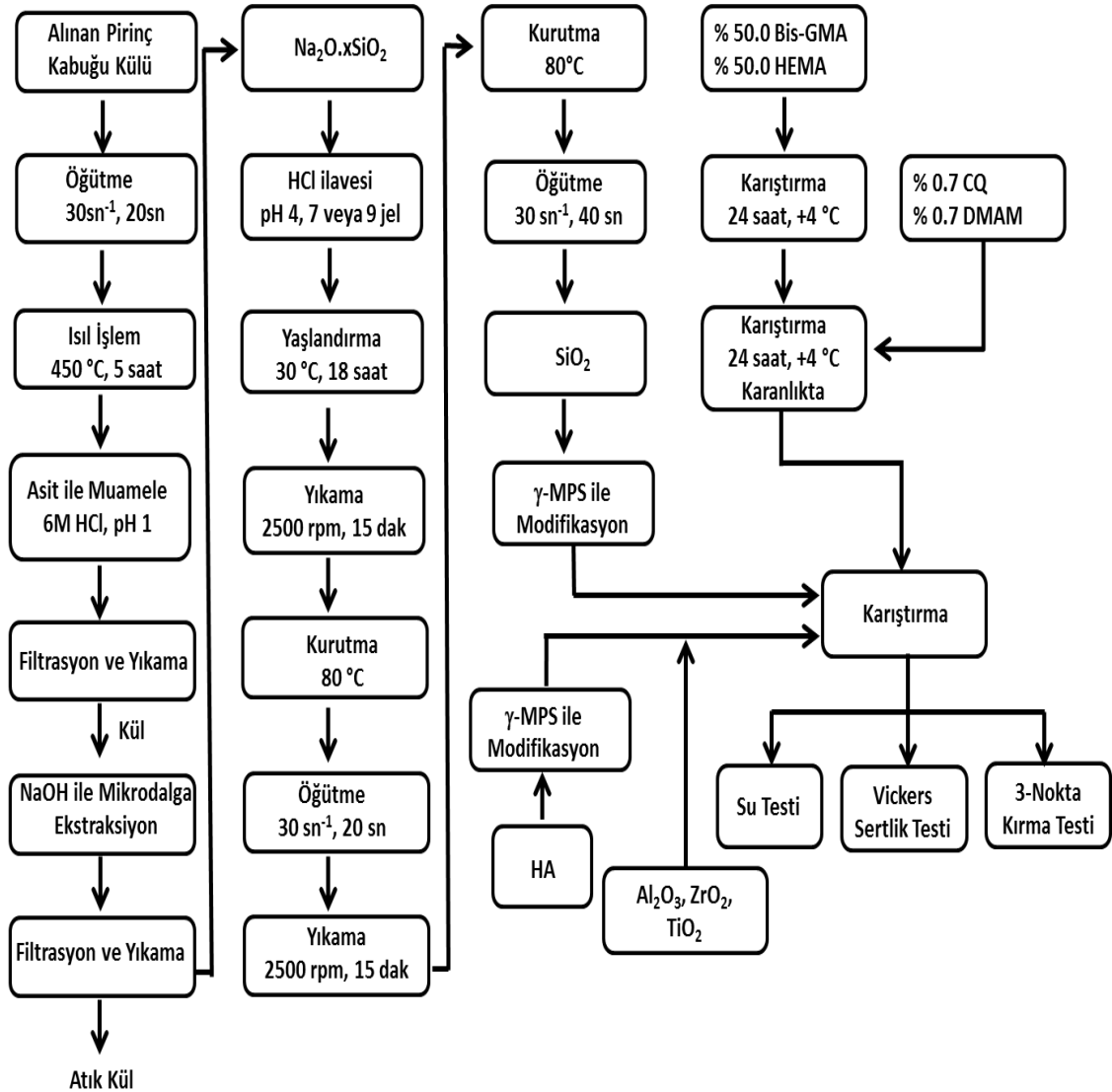
Hazırlanan dental kompozitlerin inorganik fazını oluşturmak üzere kullanılacak olan HA, Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ ve üretilen SiO₂ toz numuneler vakum etüvde (Nüve, EV 018) 100 °C’de 24 saat bekletildi.

4.2.3.11 Yardımcı Araç ve Gereçler

Deneysel çalışmalarda filtrasyon işlemlerinde Sartorius Stedim Biotech marka siyah bant filtre kağıdı kullanıldı. Santrifüj işlemleri 50 ml'lik falkon tüpler (Isolab) içerisinde gerçekleştirildi. Kompozitlerin zımparalanmasında silisyum karbür zımpara kağıtları (220, 400, 600 ve 1200 grit) kullanıldı.

4.3 Deneysel Yöntem

Bu çalışma süresince izlenen deneysel yöntem Şekil 4. 18'de özetlenmiştir. Uygulanan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4. 18 Ana hatları ile tez çalışması süresince izlenen deneysel yöntem

Pirinç kabuğu külünden üretilen silika tozlarının kullanıldığı dental kompozitlerin hazırlanmasında uygulanan deneysel çalışmalar 3 ana başlık altında incelendi. Bunlar;

Pirinç kabuğu külü işlemleri,

Silika tozlarının üretimi ve karakterizasyonu,

Dental kompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu.

4.3.1 Pirinç Kabuğu Külü İşlemleri

4.3.1.1 Alınan Pirinç Kabuğu Külünün Karakterizasyonu

Yetiş Gıda San. ve Tic. A. Ş.'den temin edilen pirinç kabuğu külünün karakterizasyonu XRD (Şekil 5. 1), XRF (Çizelge 5. 1), SEM (Şekil 5. 2), DTA/TG (Şekil 5. 4 ve 5. 5), ICP-OES (Çizelge 5. 5) ve FT-IR (Şekil 5. 7) kullanılarak gerçekleştirildi. Karakterizasyon çalışmaları öncesinde Yetiş Gıda San. ve Tic. A.Ş.'den alınan pirinç kabuğu külü mekanik öğütücüde 30 sn⁻¹ frekansta 20 sn öğütüldü. Elde edilen öğütülmüş pirinç kabuğu külünün tanecik boyutunun 150 mikrondan küçük olduğu belirlendi.

4.3.1.2 Pirinç Kabuğu Külünün Silika Üretimi İçin Hazırlanması

Öğütme ve karakterizasyon işlemleri sonrasında pirinç kabuğu külü silika içeriğinin artırılması amacıyla tekrar yakıldı. Tekrar yakma sıcaklığını belirlemek üzere pirinç kabuğu külü, 450, 600, 750 ve 900 °C sıcaklık değerlerinde 5 saat süreyle yakıldı (Protherm furnaces, PLF 110/6). Bu yakma işlemleri esnasında meydana gelen ağırlık kayıpları belirlendi (Çizelge 5. 6). Farklı sıcaklıklarda yakılan numunelerin inorganik madde bileşimi XRF ile belirlendi, pirinç kabuğu külü içerisindeki silikanın yakma sıcaklığına bağlı olarak kristal yapısında meydana gelen değişim ise XRD (Şekil 5. 8, 5. 9, 5. 10 ve 5. 11) ile incelendi. Ayrıca kızdırma kayıpları da (1000 °C, 5 saat) belirlendi.

Yakma işlemleri esnasında meydana gelen ağırlık kayıpları her sıcaklık değeri için aşağıda maddeler halinde verilen adımlar uygulanarak belirlendi. Bu çalışma her bir örnek için 3 kez tekrarlandı.

1. Krozeler distile su ve etanol ile yıkandı, kurutuldu.

2. Kül fırını kütle kaybının belirleneceği sıcaklığa (450, 600, 750 veya 900 °C) ısıtıldı.
3. Kuruyan krozelere önceden ısıtılmış kül fırını içerisine yerleştirildi ve 5 saat bekletildi.
4. Bekleme süresi sonunda krozelere kül fırınından desikatöre alındı ve oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı.
5. Soğuyan krozelere tartıldı ve bu değerler kaydedildi. Bu işlem krozelere sabit tartıya gelene kadar tekrarlandı.
6. Sabit tartıya getirilen krozelere içerisine 0.5 g pirinç kabuğu külü tartıldı ve önceden ısıtılan fırında 5 saat yakıldı.
7. Süre sonunda fırından çıkartılan numuneler desikatörde oda sıcaklığına soğutuldu ve tartıldı.
8. % Ağırlık kaybı aşağıda verilen Eşitlik 4.1 vasıtasıyla hesaplandı.

$$\% \text{ Ağırlık Kaybı} = \frac{a_1 - a_2}{a_1} \times 100 \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte a_1 yakma öncesi ağırlık, a_2 ise yakma sonrası ağırlık değerini ifade etmektedir.

Farklı sıcaklıklarda yakılan bu numunelerin kızdırma kayıpları 1000 °C’de yukarıda verilen adımlar uygulanarak belirlendi. Her bir örnek ile 3 paralel çalışma yapıldı. Farklı sıcaklıklarda yakılan pirinç kabuğu külü örneklerinin belirlenen bu kızdırma kayıpları da hesaba katılarak XRF sonuçları yeniden hesaplandı (Çizelge 5. 7).

Tekrar yakma sıcaklığının elde edilen silika toz örneklerin kristal yapısına etkisi 900 °C’de ikinci kez yakılan pirinç kabuğu külü örneğinden elde edilen SiO₂ tozunun XRD analizi ile incelendi (Şekil 5. 12). Ayrıca 600, 750 ve 900 °C’de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü numunelerinden elde edilen silika toz miktarları da belirlendi (Çizelge 5. 8).

Bu sonuçlar göz önüne alınarak pirinç kabuğu külü yeniden yakma sıcaklığı 450 °C olarak belirlendi.



Şekil 4. 19 Alınan pirinç kabuğu külüne uygulanan öğütme ve yakma işlemleri

Pirinç kabuğu külünde bulunan metalik safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla kül asit ile muamele edildi. Bu işlem için 50 g kül 300 ml distile su içerisinde manyetik karıştırıcı kullanılarak dağıtıldı. Karışımın pH değeri 1 olana kadar 6 M HCl ilave edildi ve karıştırma işlemi 2 saat sürdürüldü. Sonrasında bu karışım vakum altında “Sartorius Stedim Biotech” marka külsüz siyah bant filtre kağıdı kullanılarak filtre edildi ve üstte kalan pirinç kabuğu külü distile su ile yıkandı.



Şekil 4. 20 Tekrar yakılan pirinç kabuğu külüne uygulanan asit muamele işlemi

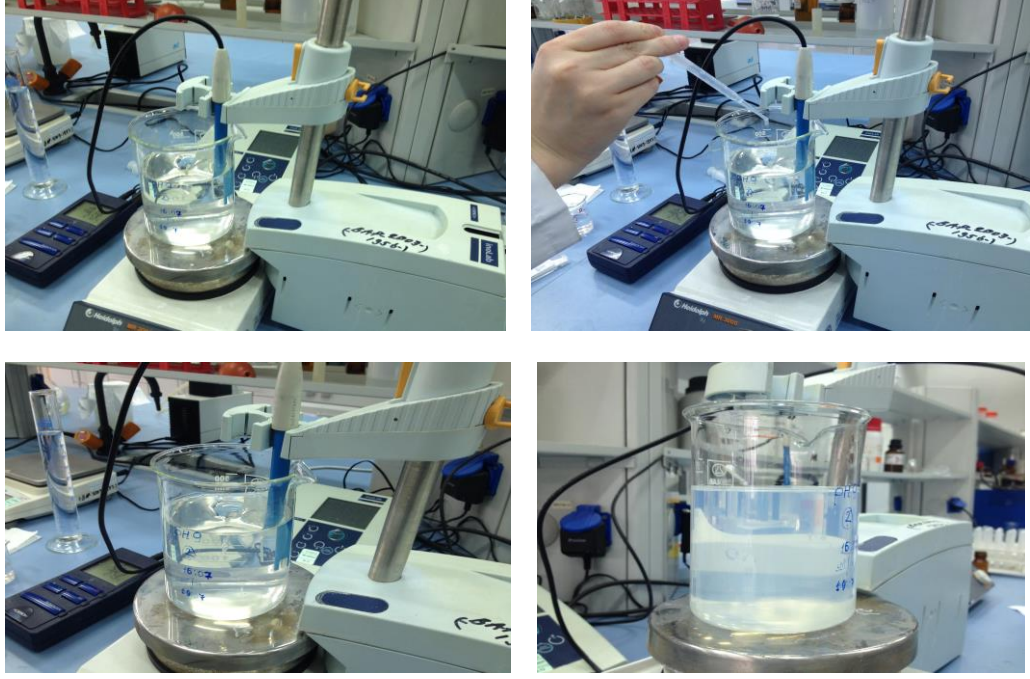
4.3.2 Silika Tozlarının Üretimi ve Karakterizasyonu

450 °C sıcaklıkta tekrar yakılan ve asit ile muamele edilen pirinç kabuğu külünden silika toz numunelerin üretimi aşağıdaki temel adımlar izlenerek gerçekleştirildi.

1. Sodyum hidroksit ile SiO_2 'nin pirinç kabuğu külünden ekstraksiyonu ve filtrasyon ile sodyum silikatın atık külden ayrılması
2. Hidroklorik asit ilavesi ile pH 4, 7 ve 9'da silika jellerin hazırlanması
3. Silika jellerin yaşılandırılması, yıkanması ve kurutulması
4. Kurutma sonrası öğütme ve yıkama
5. Son kurutma ve ğtme

Pirinç kabuğu külüne uygulanan işlemeler sonrasında silika üretiminin ilk adımı pirinç kabuğu külü içerisinde bulunan SiO_2 'nin ekstraksiyonudur. Silika ekstraksiyonu, pirinç kabuğu külünün sodyum hidroksit ile geri soğutucu altında kaynatılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu işlem neticesinde pirinç kabuğu külü içerisinde bulunan SiO_2 sodyum silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$) olarak elde edilmektedir [107], [111]. Bu aşamada daha hızlı ve verimli ekstraksiyon için mikrodalga cihazı kullanıldı. Mikrodalga ile silika ekstraksiyon koşullarının belirlenebilmesi amacıyla 1M NaOH ile 500, 700 ve 900 Watt g uygulanarak 1, 2, 3, 4, 5 ve 10 dakikalık sürelerle ekstraksiyon deneyleri gerçekleştirildi. Bu deneyler neticesinde elde edilen $\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$ zeltilerinin Na ve Si içerikleri ICP-OES ile belirlendi, mol oranları hesaplandı (şekil 5.13). Ayrıca pirinç kabuğu külünün 1M NaOH ile geri soğutucu altında 1 saat kaynatılması sonucu elde edilen $\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$ zeltilerinin Na ve Si içerikleri de ICP-OES ile belirlendi. Elde edilen sonuçlar neticesinde silika ekstraksiyon işleminin mikrodalga cihazında 700 Watt, 10 dakika koşullarında gerçekleştirilmesine karar verildi.

Mikrodalga sentez cihazında gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi için 50 g asit ile muamele edilmiş pirinç kabuğu külü 300 ml 1M NaOH içerisinde dağıtıldı ve ekstraksiyon işlemi yukarıda verilen koşullarda (700 Watt, 10 dakika) geri soğutucu altında gerçekleştirildi. Ekstraksiyon sonrası $\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$ külden "Sartorius Stedim Biotech" marka külsüz siyah bant filtre kağıdı kullanılarak ayrıldı. Elde edilen $\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$ çözeltisine pH 4, 7 veya 9 olana kadar 6 M HCl ilave edildi (şekil 4. 21).



Şekil 4. 21 Sodyum silikat çözeltisinden HCl ilavesi ile pH 9'da jel eldesi

Oluşan silika jeller 30 °C'de 18 saat yaşlandırıldıktan sonra NaCl'nin uzaklaştırılması için distile su ile yıkandı.

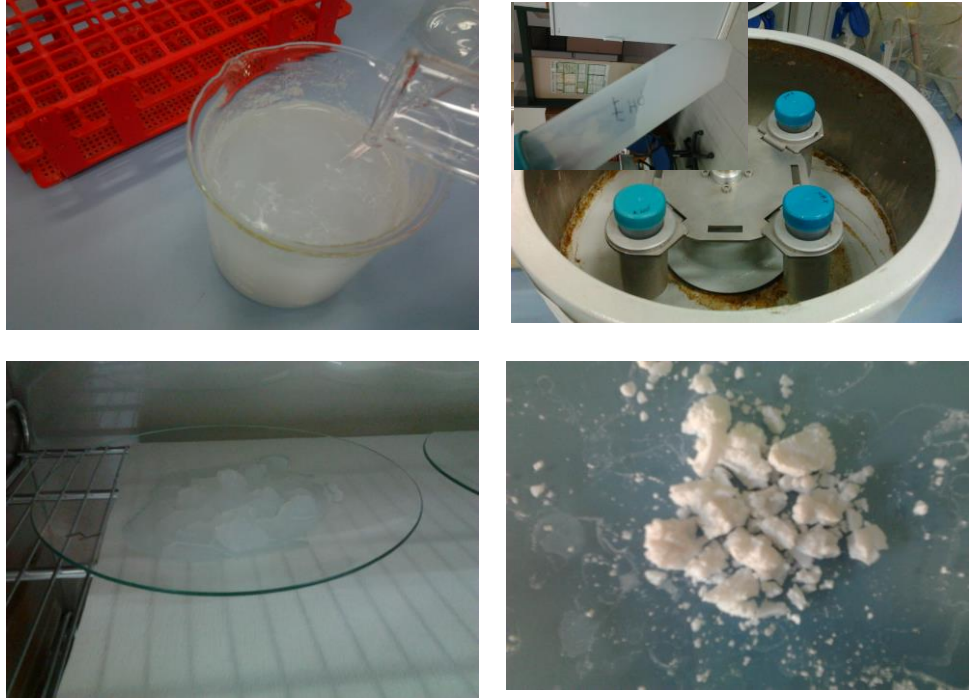


(a)

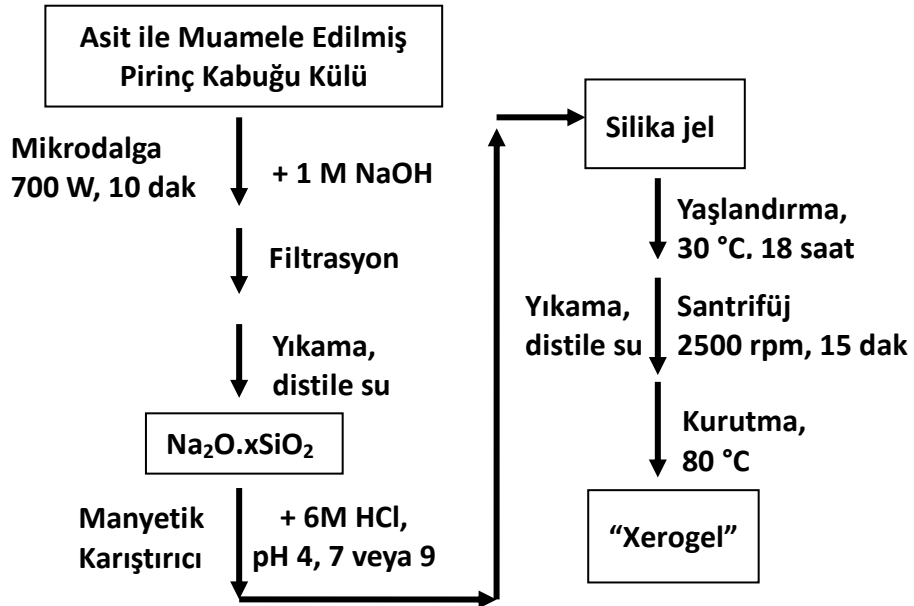
(b)

Şekil 4. 22 Sodyum silikat çözeltisinden HCl ilavesi ile pH 4'te hazırlanan silika jel, (a) 30 °C'de 18 saat yaşlandırma öncesi ve (b) sonrası

Yıkama işlemi için jellere 230 ml distile su ilave edildi ve baget ile karıştırılarak bulamaç haline getirildi, 50 ml'lik falkon tüplere aktarıldı ve 2500 rpm'de 15 dakika santrifüj edildi. Süpernatant dekante edildi. Bu işlem 3 defa tekrarlandı. Yıkanan silika jeller saat camı üzerine yayıldı ve 80 °C'de 24 saat kurutularak silika "xerogel"ler elde edildi (Şekil 4. 23 ve 4. 24).



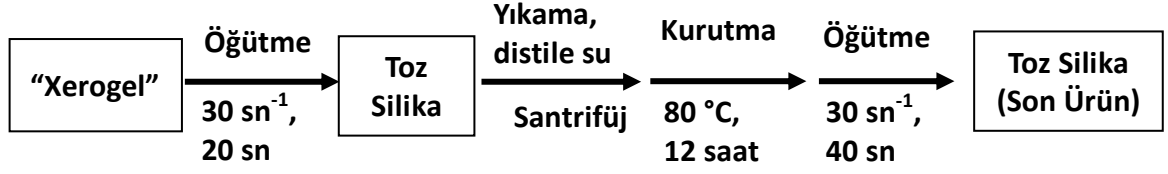
Şekil 4. 23 Silika jel yıkama ve kurutma işlemleri sonrası “xerogel” eldesi



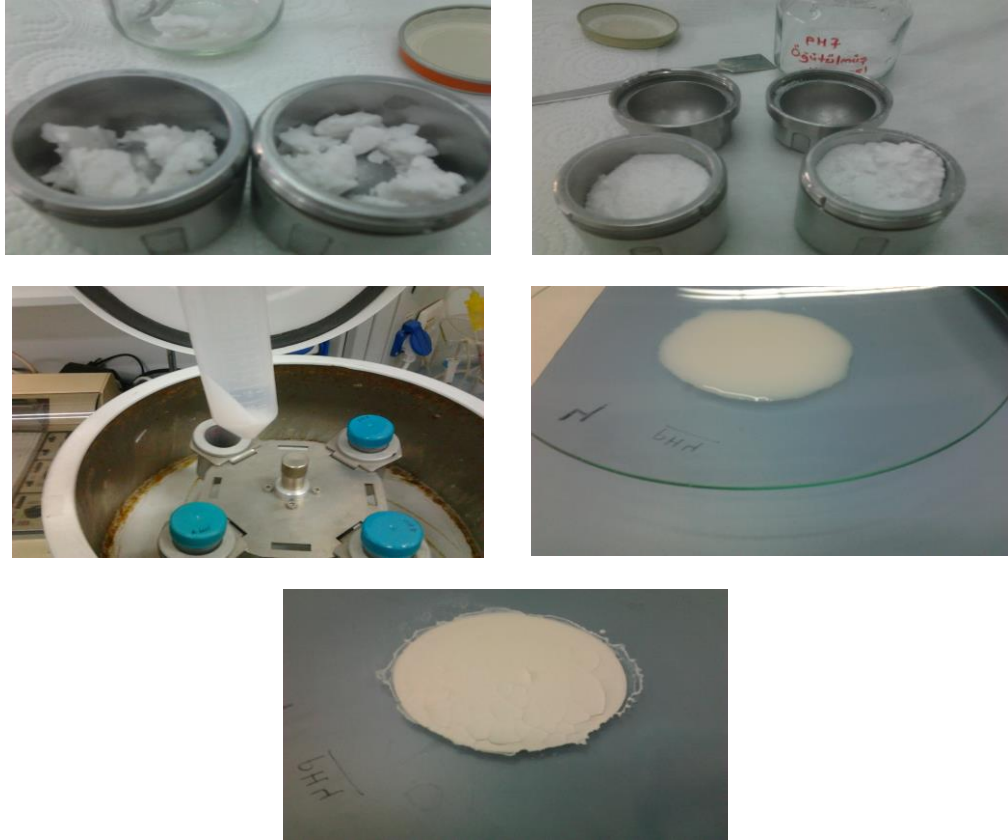
Şekil 4. 24 Asit ile muamele edilmiş pirinç kabuğu külünden “xerogel” eldesi

Elde edilen silika “xerogel”ler mekanik öğütücüde 30 sn^{-1} frekansta 20 sn öğütüldü, tekrar yıkandı ve kurutuldu ($80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 12 saat). Bu kurutma işlemi sonrası elde edilen SiO_2

toz örnekleri mekanik öğütücüde 30 sn^{-1} frekansta 40 sn tekrar öğütüldü (Şekil 4. 25 ve 4. 26).



Şekil 4. 25 “Xerogel”den toz silika eldesi



Şekil 4. 26 “Xerogel”e uygulanan öğütme işlemi ve sonrasında elde edilen silia toz numunenin yıkama ve kurutma işlemleri

Farklı pH değerlerinde bu şekilde üretilen silika toz numunelerin kristal yapıları XRD (Şekil 5. 14), elementel bileşimi ICP-OES (Çizelge 5. 13) ile belirlendi. Mikro yapıları SEM ile incelendi (Şekil 5. 15, 5. 16 ve 5. 17). Yüzey alanı, gözenek hacmi ve boyutu N_2

adsorpsiyonu, nem içerikleri ise TG ile belirlendi. Ayrıca üretilen silika tozlarının partikül boyut dağılımları da belirlendi (Şekil 5. 18 ve Çizelge 5. 12).

4.3.3 Dental Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu

4.3.3.1 Dental Kompozitlerin Hazırlanması

Dental Kompozitlerde Kullanılan Organik Fazın Hazırlanması

Bu tez çalışmasında organik fazı oluşturmak üzere Bis-GMA ve HEMA monomerleri kullanıldı. Bu monomerler eşit miktarda (% 50.0 – % 50.0) alındı, cam baget ile karıştırıldıktan sonra karanlıkta ve +4 °C’de 24 saat karışmaya bırakıldı. 24 saatlik süre sonrasında monomer karışımına polimerizasyon başlatıcısı olarak CQ, hızlandırıcısı olarak ise DMAM eklendi.

İlave edilecek CQ ve DMAM miktarının belirlenebilmesi için bu bileşenleri farklı oranlarda içeren organik fazlar hazırlandı ve bu organik fazlar ile oluşturulan kompozitlere üç-nokta kırma testi uygulandı. Bu test sonucunda elde edilen değerler (Çizelge 5. 17, Şekil 5. 26) gözönüne alınarak CQ ve DMAM’nin % 0.7 oranında kullanılmasına karar verildi.

CQ ve DMAM eşit miktarlarda ve monomer karışımının ağırlıkça % 0.7’si oranında eklendi, cam baget ile karıştırıldıktan sonra karanlıkta ve +4 °C’de 24 saat karışmaya bırakıldı. 24 saatlik bu süreç sonunda elde edilen karışım alüminyum folyo ile sarıldı ve gerektiğinde kullanılmak üzere +4 °C’de buzdolabında saklandı.

Dental Kompozitlerde Kullanılan İnorganik Fazın Hazırlanması

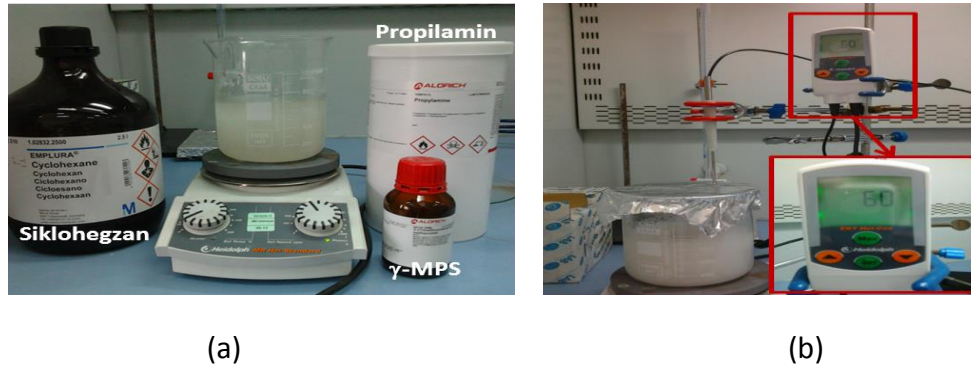
Çalışma kapsamında hazırlanan dental kompozitlerde inorganik fazı oluşturmak üzere üretilen SiO₂ tozları ve HA, γ -MPS ile modifiye edildikten sonra kullanıldı. Üretilen SiO₂ toz numuneler ve ticari olarak temin edilen HA toz numunesi γ -MPS ile modifikasyon (silanizasyon) işlemi öncesinde vakum etüvünde 100 °C’de 24 saat bekletildi. Vakum etüvünden alınan toz numuneler desikatör içerisinde muhafaza edildi. Üretilen SiO₂ tozlarının γ -MPS ile modifikasyon işleminde kullanılacak olan γ -MPS miktarı Eşitlik 4. 2 vasıtası ile hesaplandı.

$$X = A \cdot f / \omega \quad (4. 2)$$

Burada, X kullanılacak γ -MPS (silan) miktarı (g), A üretilen silika tozunun yüzey alanı (m^2/g), f silan ile muamele edilecek silika miktarı (g) ve ω silanın kapladığı alandır (γ -MPS için $314 m^2/g$, [120]. Ticari HA toz numunesi için silan ağırlıkça % 10 olacak şekilde kullanıldı. Silanizasyon işlemi genel olarak aşağıda verilen adımlar izlenerek gerçekleştirildi.

1. 30 g toz numune 600 ml siklohegzan içerisinde karıştırıldı.
2. Bu karışıma eşitlik 2 vasıtasıyla hesaplanan miktarlarda (ticari HA toz numunesi için toz numunenin ağırlıkça % 10'u olacak şekilde, 3 g) γ -MPS ve toz numune miktarının ağırlıkça % 2'sini oluşturacak oranda propil amin ilave edildi.
3. Elde edilen bu karışım aşamalı olarak oda sıcaklığında 30 dakika ve 60 °C'de 30 dakika olacak şekilde karıştırıldı (Şekil 4. 27).
4. Çözücü dekante edildikten sonra tekrar taze çözücü eklenerek yıkama işlemi gerçekleştirildi.
5. 80 °C'de 20 saat ve 110 °C'de 1 saat olmak üzere etüvde kurutuldu. Desikatörde oda sıcaklığına geldikten sonra kapaklı şişelere alınarak kullanıma kadar yine desikatör içerisinde bekletildi.

Silan ile modifikasyon işlemi sonrası numuneler FT-IR analizi ile karakterize edildi.



Şekil 4. 27 Doldurucu tozlarının siklohegzan içerisinde γ -MPS ve propilamin ile birlikte (a) oda sıcaklığında, (b) 60 °C'de karıştırılması işlemi

Dental Kompozit Karışımların Hazırlanması

Tez çalışması kapsamında üretilen SiO_2 tozları ve bu SiO_2 tozları ile HA, Al_2O_3 , ZrO_2 ve TiO_2 'nin farklı oranlarda karışımını içeren toz numuneler kullanılarak 29 farklı bileşimde (Çizelge 4. 12, 4. 13 ve 4. 14) dental kompozit karışımı hazırlandı.

Çizelge 4. 12, 4. 13 ve 4. 14'de verilen oranları sağlayacak şekilde tartılan inorganik tozlar öncelikle toz halde spatül yardımı ile homojeniteyi sağlamak amacıyla karıştırıldı. Yine Çizelge 4. 12, 4. 13 ve 4. 14'de verilen oranları sağlayacak şekilde tartılan organik matrise bu inorganik tozlar veya toz karışımları ilave edilerek cam baget ile karıştırıldı. Bu şekilde hazırlanan kompozit karışımlar kapaklı amber şişeler içerisine alındı ve karanlıkta saklandı.

Çizelge 4. 12 pH 4'te üretilen SiO_2 tozları kullanılarak hazırlanan dental kompozitler

Kompozit		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)				
Grup No	Alt Grup No			SiO_2	HA	Al_2O_3	ZrO_2	TiO_2
4 – 1	–	32.5	67.5	100.0	–	–	–	–
4 – 2	–	45.0	55.0	100.0	–	–	–	–
4 – 3	1	30.0	70.0	75.0	25.0	–	–	–
	2			50.0	50.0	–	–	–
	3			25.0	75.0	–	–	–
4 – 4	1	32.5	67.5	75.0	25.0	–	–	–
	2			50.0	50.0	–	–	–
	3			25.0	75.0	–	–	–
4 – 5	1	40.0	60.0	75.0	25.0	–	–	–
	2			50.0	50.0	–	–	–
	3			25.0	75.0	–	–	–
4-6	1	42.5	57.5	75.0	25.0	–	–	–
	2			50.0	50.0	–	–	–
	3			25.0	75.0	–	–	–
4-7	–	50.0	50.0	100.0	–	–	–	–
4-7-AZT	–	50.0	50.0	94.5	–	2.5	2.5	0.5

Çizelge 4. 13 pH 7’de üretilen SiO₂ tozları kullanılarak hazırlanan dental kompozitler

Kompozit		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)				
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂
7 – 1	–	50.0	50.0	100.0	–	–	–	–
7 – 2	1	42.5	57.5	75.0	25.0	–	–	–
	2			50.0	50.0	–	–	–
	3			25.0	75.0	–	–	–
7-2-1-AZT	–	42.2	57.5	75.0	19.5	2.5	2.5	0.5

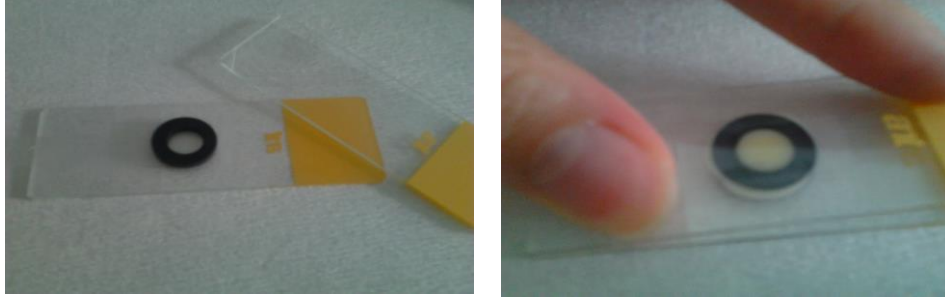
Çizelge 4. 14 pH 9’da üretilen SiO₂ tozları kullanılarak hazırlanan dental kompozitler

Kompozit		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)				
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂
9 – 1	–	45.0	55.0	100.0	–	–	–	–
9 – 2	1	40.0	60.0	75.0	25.0	–	–	–
	2			50.0	50.0	–	–	–
	3			25.0	75.0	–	–	–
9-3	1	42.5	57.5	75.0	25.0	–	–	–
	2			50.0	50.0	–	–	–
	3			25.0	75.0	–	–	–
9-4	–	50.0	50.0	100.0	–	–	–	–

4.3.3.2 Hazırlanan Dental Kompozitlerin Karakterizasyonu

Mikro (Vickers) Sertlik Testi

Vickers sertlik testi için her bir gruptan 3 adet numune silindirik kalıplar (8 mm × 2 mm) içerisinde ve iki cam arasında her iki yönden 40 sn LED ışık ile polimerize edilerek hazırlandı. Kalıptan çıkartılan kompozit numuneler karanlıkta 24 saat bekletildikten sonra 20 ml distile su içerisinde, 37 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat bekletildi. Distile sudan çıkartılan numuneler sırasıyla 220, 400, 600 ve 1200 grit silisyum karbür zımpara kağıdı ile zımparalandı. Mikro sertlik ölçümleri numunelerin yüzeyine 10 saniye süre ile 100 g yük uygulanarak Vickers sertlik test cihazı (Bulut Makine, Microbul – 1000D, Türkiye) ile gerçekleştirildi. Her bir numune yüzeyinde 6 farklı noktada sertlik ölçüldü.



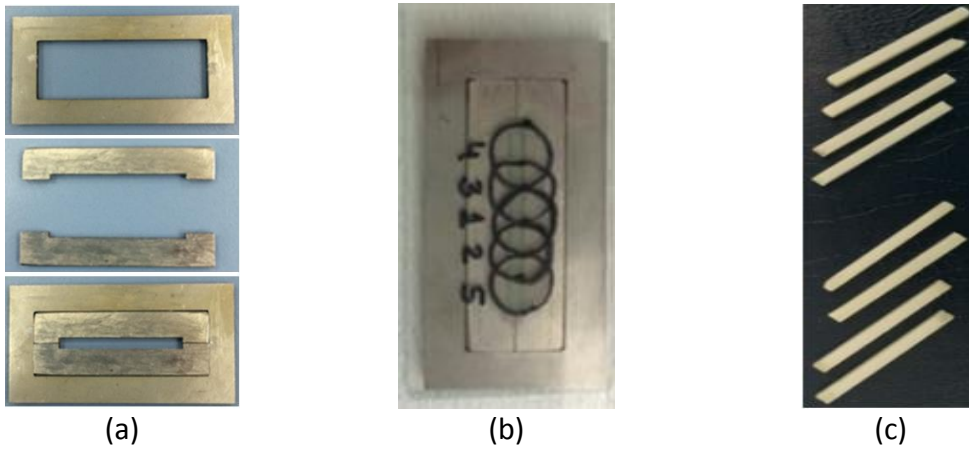
(a)

(b)

Şekil 4. 28 Vickers sertlik testi için (a) kullanılan kalıp ve cam malzemeler, (b) hazırlanan dental kompozit karışımların kalıplama işlemi

Üç-nokta Kırma Testi

Üç-nokta kırma testi için hazırlanan her bir dental kompozit malzemedan (Çizelge 4. 12, 4. 13 ve 4. 14) 4 adet çubuk şeklinde numune ISO 4049/2000 şartnamesinde belirtilen boyutlarda (25 mm × 2 mm × 2 mm) metal kalıplar (Şekil 4. 29a) kullanılarak hazırlandı. Kalıp, bir cam plaka ve asetat kağıdı üzerine yerleştirildi ve dental kompozit malzeme ile dolduruldu. Diğer bir asetat kağıdı kalıba doldurulan dental kompozit malzemenin üzerine yerleştirildi ve diğer bir cam plaka ile kompozit malzemenin fazlasını taşımak üzere sıkıştırıldı. Tüm numuneler 5 noktadan 40 sn süre ile her iki yönden LED ışık cihazı kullanılarak polimerize edildi (Şekil 4. 29b). Polimerizasyon işlemi sonrasında numuneler karanlıkta 24 saat bekledi ve bunu takiben 20 ml distile su içerisine alınarak 37 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat inkübe edildi.



(a)

(b)

(c)

Şekil 4. 29 Üç-nokta kırma testi için (a) numunelerin hazırlanmasında kullanılan kalıp sistemi, (b) polimerizasyon şeması ve (c) hazırlanan numune örnekleri

Hazırlanan dental kompozit malzemelerin esneme dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri üç-nokta kırma testi uygulanarak universal mekanik test cihazı H10K-S (Hounsfield, İngiltere) ile QMat 3.63 programı, üç-nokta bükülme testi modülü kullanılarak belirlendi. Test öncesinde üst piston hızı, destekler arası mesafe (span), numune kalınlığı ve genişliği değerleri programa girildi. Çubuk şeklinde hazırlanan numuneler, arasında 20 mm mesafe bulunan destekler üzerine yerleştirildi. Hızı 1 mm/dak olarak ayarlanan zımbanın numune merkezine teması ile test gerçekleştirildi.

Su Absorpsiyonu ve Suda Çözünürlük Testi

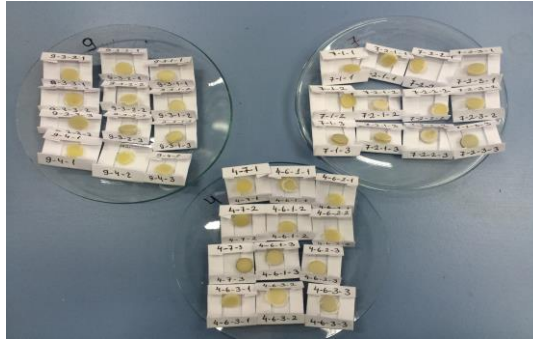
Su absorpsiyonu ve suda çözünürlük değerlerinin belirlenmesi amacıyla numunelerin hazırlanmasında 8 mm × 2 mm ölçülerinde silindirik kalıplar kullanıldı. Kalıp, bir cam plaka ve asetat kağıdı üzerine yerleştirildi ve dental kompozit malzeme ile dolduruldu. Diğer bir asetat kağıdı kalıba doldurulan dental kompozit malzemenin üzerine yerleştirildi ve diğer bir cam plaka ile kompozit malzemenin fazlasının taşması için sıkıştırıldı. Tüm numuneler 40 sn süre ile her iki yönden LED ışık cihazı kullanılarak polimerize edildi. Her bir kompozit grubuna ait 3 örnek hazırlandı.



Şekil 4. 30 Su absorpsiyonu ve suda çözünürlük testi için numunelerin hazırlanması

Polimerizasyon sonrası hazırlanan silindirik numunelerin kenarlarındaki fazlalıklar 1200 grit silisyum karbür zımpara kağıdı ile zımparalanarak giderildi. Zımparalama işlemi

sonrasında basınçlı hava ile kompozit yüzeyinde kalmış olabilecek tozlar uzaklaştırıldı (Şekil 4. 30).



Şekil 4. 31 Su absorpsiyonu ve suda çözünürlük testi için hazırlanan numuneler

Su absorpsiyonu ve suda çözünürlük testi için numunelerin hazırlanması sonrasında numuneler desikatör içerisinde 37 °C'lik etüve alındı. Sabit tartım değerine ulaşıncaya kadar 24 saatte bir tartımları alındı. Ağırlık değişimi ± 0.1 mg olduğunda sabit tartım değerine ulaşıldığı kabul edildi. Ulaşılan sabit tartım değeri o numuneye ait başlangıç ağırlığı (m_0) olarak kaydedildi. Başlangıç ağırlığı belirlenen bu numuneler 37 °C'lik etüvde, içerisinde 20 ml distile su bulunan kaplara yerleştirildi ve sabit bir ağırlık değerine ulaşıncaya kadar distile su içerisinde bekletildi. Distile su içerisine alındıktan sonra 15., 30. ve 60. dakikada tartılan numuneler 9. saate kadar 1'er saat ara ile tartıldı. 24. saat tartımı sonrasında sabit bir ağırlık değeri (m_1) elde edilinceye kadar 24 saat aralıklar ile tartım işlemine devam edildi. m_1 değeri belirlendikten sonra numuneler tekrar desikatör içerisine alındı ve 37 °C'lik etüve yerleştirildi. Sabit bir tartım değerine (m_2) ulaşıncaya kadar 24 saat aralıklar ile tartımları not edildi. Hazırlanan dental kompozit numunelerinin su absorpsiyonu ve çözünürlük değerleri sırasıyla aşağıda verilen Eşitlik 4. 3 ve 4. 4 kullanılarak hesaplandı.

$$\text{Su Absorpsiyonu (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100 \quad (4. 3)$$

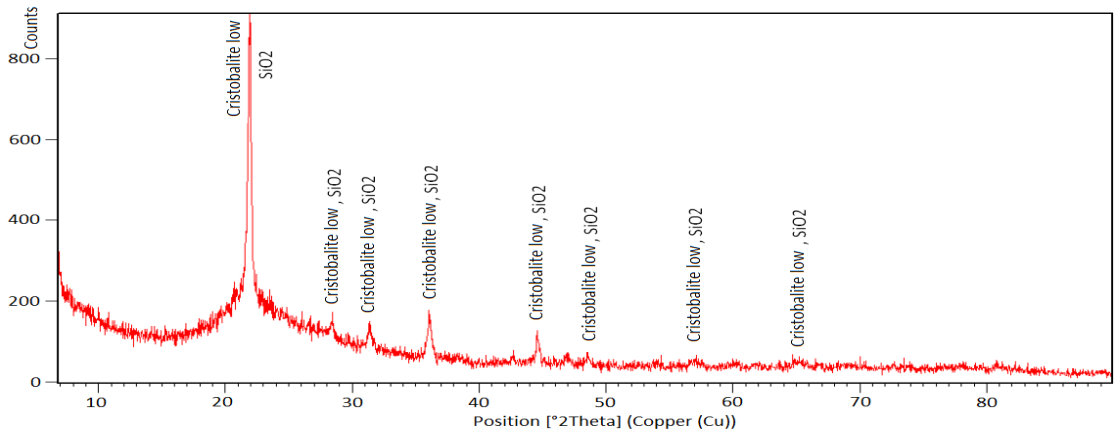
$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{m_0 - m_2}{m_0} \times 100 \quad (4. 4)$$

4.3.4 İstatistiksel Analiz

Hazırlanan deneysel dental kompozit numunelerin esneme dayanımı, elastisite modülü, tokluk, Vickers sertlik, su absorpsiyonu ve çözünürlük sonuçları tek yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ve Tukey HSD ($\alpha = 0.05$) çoklu karşılaştırma testi kullanılarak kıyaslandı. İkili karşılaştırmalar T-Testi ($\alpha = 0.05$) ile yapıldı. Analizlerde R 3.0.2. paket programı kullanıldı.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA**5.1 Pirinç Kabuğu Külünün Yapısal Özellikleri**

Deneyisel çalışmalarda silika kaynağı olarak kullanılan ve çeltik fabrikasından temin edilen pirinç kabuğu külünün yapısal özellikleri XRD, XRF, SEM, DTA/TG, ICP-OES ve FT-IR analiz teknikleriyle incelendi. 5° - 90° arasında değişen difraksiyon açılarında ve ortam sıcaklığında kaydedilmiş olan XRD diyagramı Şekil 5. 1’de verilmiştir.



Şekil 5. 1 Çeltik fabrikasından temin edilen pirinç kabuğu külünün XRD paterni

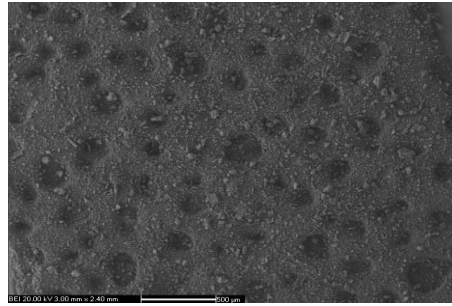
XRD sonuçlarına göre alınan pirinç kabuğu külü numunesinin fazının tetragonal yapıda “cristobalite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) olduğu tespit edildi. Kristal parametrelerinin ($a=4.9984 \text{ \AA}$, $b=4.9984 \text{ \AA}$, $c=7.0242 \text{ \AA}$) 01 – 0716 – 0941 nolu toz difraksiyon dosyası (powder diffraction file, PDF) kartı ile eşleştiği görülmektedir.

Alınan pirinç kabuğu külünün oksit dağılımı XRF tekniği ile belirlendi. XRF sonuçları Çizelge 5. 1’de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde pirinç kabuğu külünün % 93.4 SiO₂ içerdiği görülmektedir. Bunun yanında düşük miktarlarda K₂O, Al₂O₃, MgO, P₂O₅, CaO, MnO, Fe₂O, TiO₂ ve ZnO içerdiği görülmektedir.

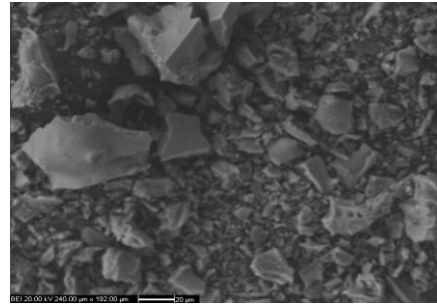
Çizelge 5. 1 Alınan pirinç kabuğu külünün XRF analiz sonuçları

OKSİT (%)*									
SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	ZnO
93.40	0.53	1.40	0.26	3.47	0.58	0.02	0.16	0.17	0.01
±0.36	±0.12	±0.21	± 0.11	±0.15	±0.01	±0.00	±0.01	±0.12	±0.01

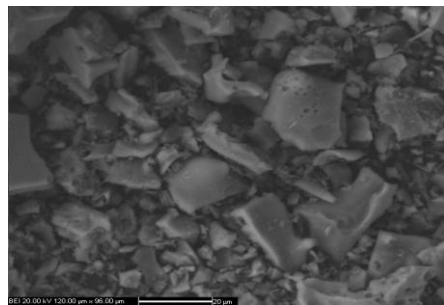
Alınan pirinç kabuğu külünün mikro yapısı SEM analizi ile incelendi (Şekil 5. 2). SEM görüntülerinde pirinç kabuğu külünün heterojen bir yapıda olduğu görülmektedir.



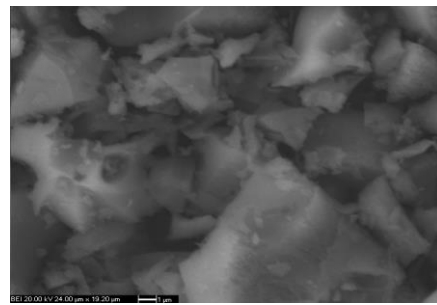
(a)



(b)



(c)

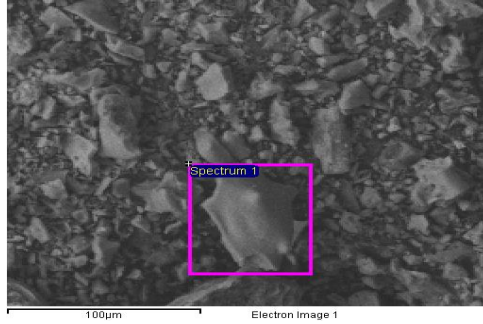


(d)

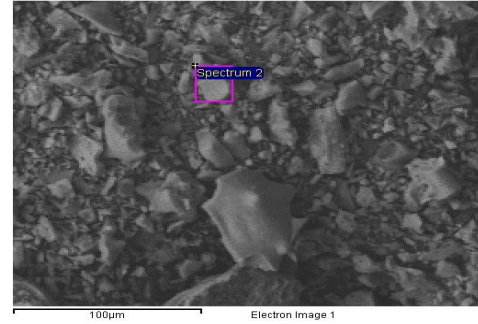
Şekil 5. 2 Alınan pirinç kabuğu külünün SEM görüntüleri, (a) X 40, (b) X 500, (c) X 1000, (d) X 5000

* Üçlü analizlere ait sonuçlardır, % 95 güven düzeyinde hesaplanmıştır.

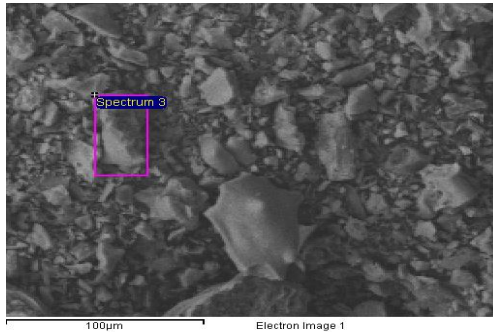
Ayrıca SEM görüntülerinde 5 farklı bölge seçildi ve bu bölgeler numaralandırılarak kareler ile işaretlendi (Şekil 5. 3). Seçilen her bölge için EDS analizi yapıldı. SEM – EDS elementel analizine ait sonuçlar (Çizelge 5. 2) incelendiğinde seçilen bölgelerdeki fazın Si olduğu ve numaralandırılan bölgelerde Si dağılımının uyumlu olduğu görülmektedir. Çizelge 5. 2’de verilen EDS analiz sonuçları ile Çizelge 5. 1’de verilen XRF analiz sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların birbirleri ile uyumlu oldukları da görülmektedir.



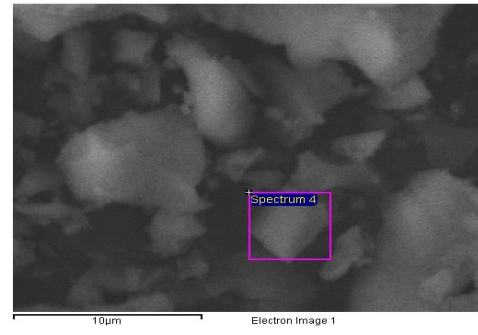
(a)



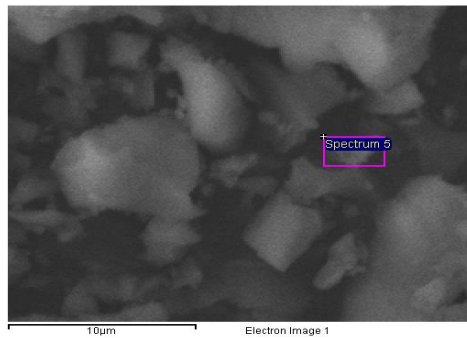
(b)



(c)



(d)



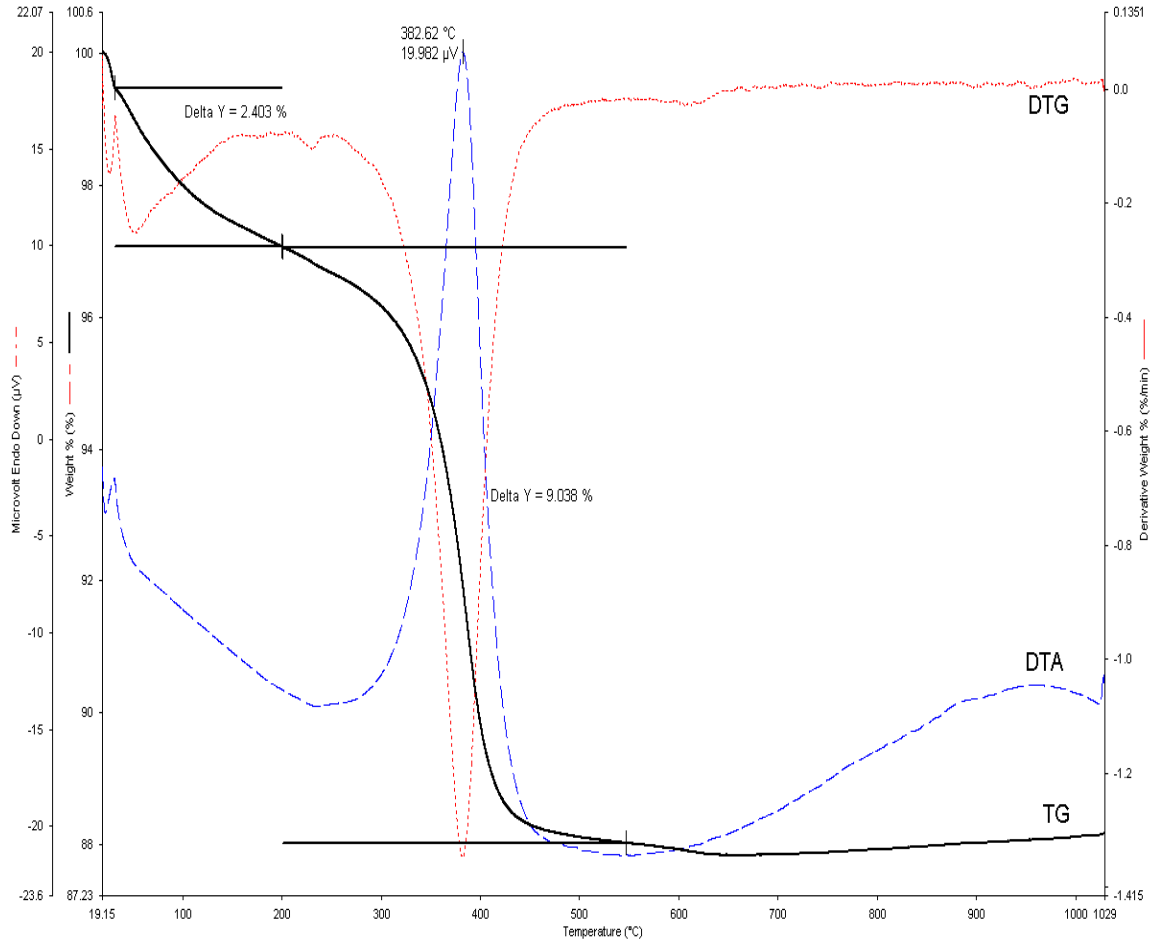
(e)

Şekil 5. 3 Alınan pirinç kabuğu külünün SEM-EDS ile incelenen bölgeleri, (a) X 500-1. bölge, (b) X-500-2. bölge, (c) X 500-3. bölge, (d) X 5000-4. bölge, (e) X 5000-5.bölge

Çizelge 5. 2 Alınan pirinç kabuğu külünün 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı bölgelerine ait SEM-EDS sonuçları

ELEMENT (%)	BÖLGE NO				
	1	2	3	4	5
Si	93.21	90.38	90.97	92.81	90.51
P	3.06	3.28	3.31	3.86	3.76
K	3.10	5.88	5.11	2.48	5.35
Ca	0.37	0.31	0.51	0.28	0.43
Ti	0.02	-	-	-	-
Mn	0.10	-	0.04	0.41	0.11
Fe	0.14	0.22	0.15	0.41	-

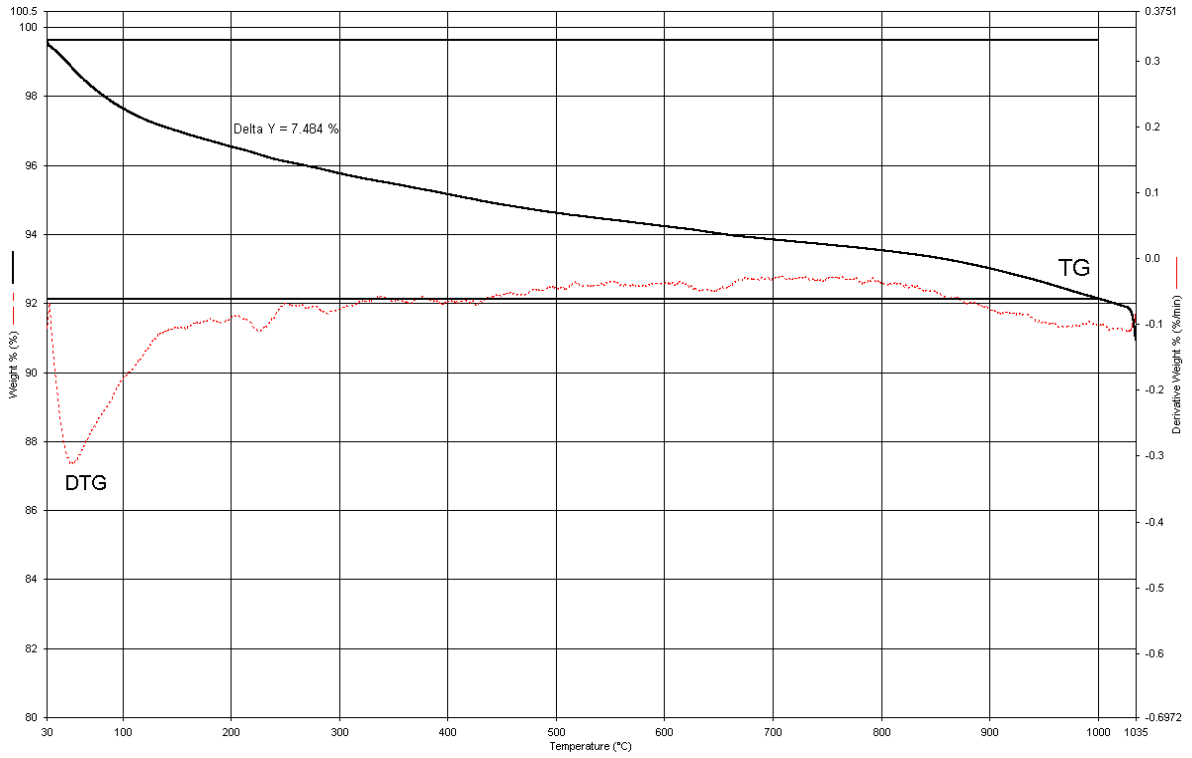
Alınan pirinç kabuğu külünün DTA/TG analizi O₂ ve N₂ atmosferlerinde gerçekleştirildi (Şekil 5. 4 ve 5. 5) . O₂ atmosferinde gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ve Şekil 5. 4'te verilen TG, DTG ve DTA eğrileri incelendiğinde birbirini takip eden iki bölgede kütle kaybı olduğu görülmektedir. İlk kütle kaybı % 2.40'lık bir değer ile 32 – 200 °C sıcaklık aralığında, ikinci kütle kaybı % 9.04'lük bir değer ile 200 – 546 °C sıcaklık aralığında meydana gelmiştir. 32 – 200 °C sıcaklık aralığında meydana gelen kütle kaybı nemin uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Pirinç kabuğu külünün termal stabilitesi içerdiği oksit ve fonksiyonel grupların bozunma sıcaklığına bağlıdır. Oksitleyici gazlar ya da çözeltiler ile etkileşim sonucu oluşan ve karbon üzerinde bulunan yüzey grupları 150 °C'nin altındaki sıcaklıklarda vakum altında dahi genellikle kararlıdır. Bununla birlikte karbonlar daha yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında yüzey grupları CO (150 – 600 °C), CO₂ (350 – 1000 °C), su buharı ve serbest hidrojen (500 – 1000 °C) üreterek bozunmaktadır [121].



Şekil 5. 4 Alınan pirinç kabuğu külünün O₂ atmosferinde gerçekleştirilen DTA/TG analizi sonucu elde edilen DTA, DTG ve TG eğrileri

DTA eğrisi, sıcaklık artışı ile birlikte meydana gelen reaksiyonun tipi (endotermik/egzotermik) hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca pik tepesi meydana gelen reaksiyonunun en hızlı olduğu sıcaklık değerini vermektedir. Pirinç kabuğu külünün oksijen atmosferinde elde edilen DTA eğrisinde de görüldüğü gibi (Şekil 5. 4) yanma reaksiyonunun en hızlı olduğu sıcaklık değeri 383 °C'dir.

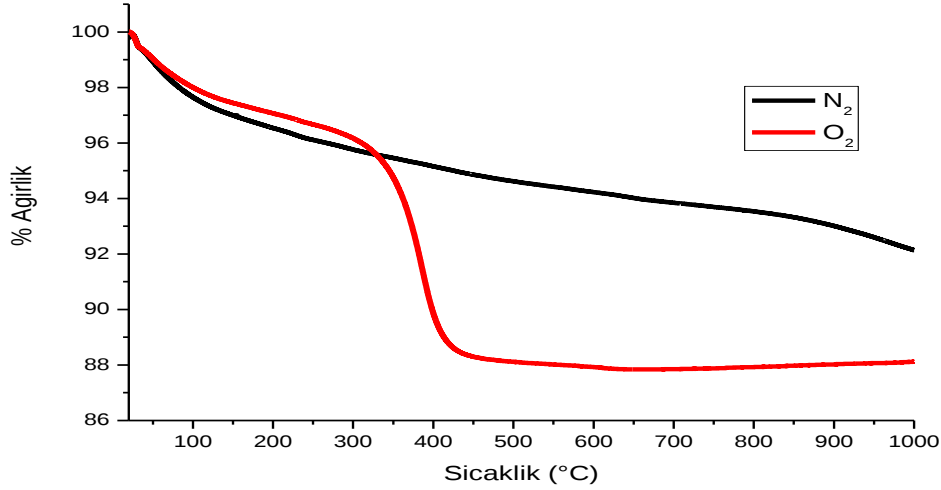
Alınan pirinç kabuğu külü numunesine ait N₂ atmosferinde gerçekleştirilen termogravimetrik analiz sonucu Şekil 5. 5'te verilmiştir. Pirinç kabuğu külünün N₂ atmosferinde 1000 °C'ye ısıtılması ile meydana gelen net ağırlık kaybı % 7.48 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. 5 Alınan pirinç kabuğu külünün N₂ atmosferinde gerçekleştirilen termogravimetrik analizi sonucu elde edilen termogram ve DTG eğrisi

Alınan pirinç kabuğu külünün N₂ ve O₂ atmosferlerindeki termogramları Şekil 5. 6'da birlikte verilmiştir. N₂ atmosferinde karbon okside olmadığından toplam ağırlık kaybı net uçucu maddeyi temsil etmektedir ve pirinç kabuğu külü numunesi içerisindeki toplam karbon miktarı oksijen atmosferindeki ağırlık kaybından azot atmosferindeki ağırlık kaybının çıkartılması ile bulunabilmektedir.

Düşük sıcaklıklarda meydana gelen ağırlık kaybı adsorplanmış nem ve diğer uçucu bileşiklerin uzaklaştığının göstergesidir. Sıcaklık arttığında N₂ ve O₂ atmosferlerinde ağırlık kaybının da arttığı görülmektedir. Bununla birlikte O₂ atmosferinde karbon, CO ve CO₂'ye dönüşerek uzaklaşmış, N₂ atmosferinde ise karbon kaybı olmamıştır. N₂ atmosferinde O₂ atmosferine kıyasla daha yavaş ve geniş bir bölgede kütle kaybı meydana gelmiştir. N₂ atmosferinde 300 °C ve üzerinde meydana gelen kütle kaybının silanol gruplarının kondenzasyonu (iki silanol grubunun kondenzasyonu sonucu bir molekül su ortaya çıkmaktadır [122] ve bazı ayrışmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5. 6 Alınan pirinç kabuğu külünün N₂ ve O₂ atmosferinde gerçekleştirilen termogravimetrik analizi sonucu elde edilen termogramları

Pirinç kabuğu külünün termogravimetrik analizleri sonucunda elde edilen bulgular Çizelge 5. 3 verilmiştir. Görüldüğü gibi kül oranı oldukça yüksektir (% 88.6) ve bu yüksek kül oranı pirinç kabuğu külünün temelde inorganik yapıda olduğunu göstermektedir [123].

Çizelge 5. 3 Alınan pirinç kabuğu külünün kısa analizi

	Nem (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Kül (%)	Kızdırma Kaybı (%)
Değer	2.40	5.08	3.96	88.56	11.44

Çizelge 5. 4 Alınan pirinç kabuğu külünün TG vasıtasıyla belirlenen kızdırma kaybı göz önüne alındığında XRF sonuçları

OKSiT (%)										
SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	ZnO	KK
82.71	0.47	1.24	0.23	3.07	0.51	0.02	0.14	0.15	0.01	11.44

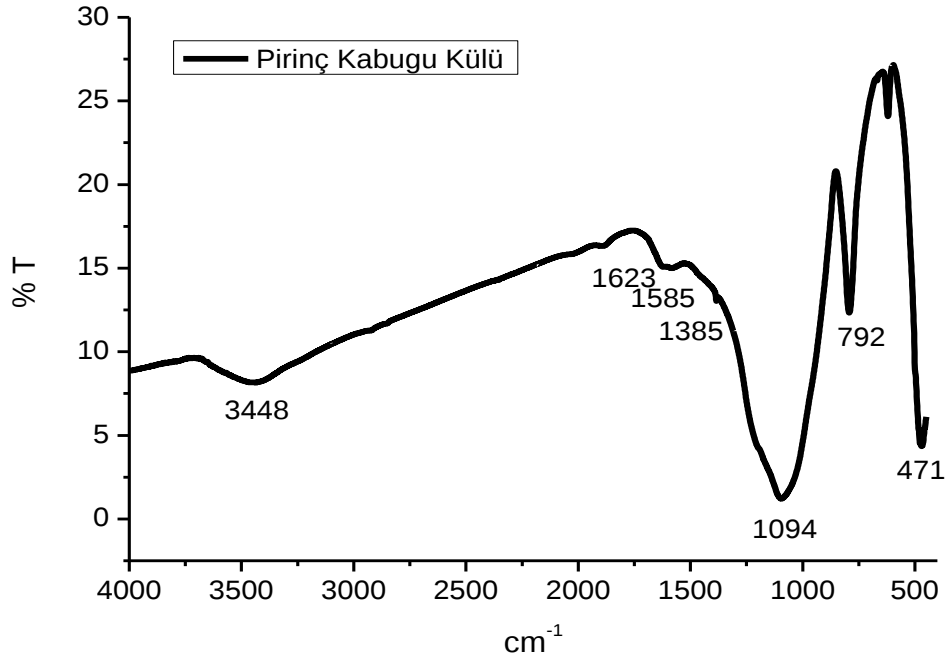
Bununla beraber, pirinç kabuğu külünün majör ve eser element içeriği ICP-OES ile de belirlendi. ICP-OES analizi kül örneğinin mikrodalga sentez cihazında Bölüm 4. 2. 1. 5'te

anlatıldığı şekilde çözümlendirilmesi ve seyreltilmesi işlemleri sonrasında gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Si ve K'nın sırasıyla % 29.62 ve % 2.61 değerleri ile majör elementler olduğu tespit edildi (Çizelge 5. 5).

Çizelge 5. 5 Alınan pirinç kabuğu külünün ICP-OES analiz sonuçları

Element	Değer	Oksit	Değer	
Si	% 29.62	SiO ₂	% 63.37	MAJÖR
K	% 2.61	K ₂ O	% 6.29	
Ca	% 0.32	CaO	% 0.44	ESER
Na	% 0.12	Na ₂ O	% 0.34	
Mg	% 0.16	MgO	% 0.26	
Al	% 0.17	Al ₂ O ₃	% 0.66	
Fe	% 0.08	Fe ₂ O ₃	% 0.23	
Mn	% 0.05	MnO	% 0.06	
S	% 0.02	SO ₂	% 0.03	
Ti	50.13 ppm	TiO ₂	83.64 ppm	
Cu	2.71 ppm	CuO	3.40 ppm	
Mo	< 0.001 ppm	MoO	< 0.001 ppm	

Pirinç kabuğu külünün fonksiyonel grupları FT-IR ile belirlendi. Şekil 5. 7'de verilen pirinç kabuğu külüne ait FT-IR spektrumunda tipik silika bantları görülmektedir. Şekil 5. 7'de verilen spektrum incelendiğinde maksimumları 3448, 1623, 1585, 1385, 1094, 792 ve 471 cm⁻¹ değerlerinde olan pikler görülmektedir. 3448 cm⁻¹'deki pikin pirinç kabuğu külü yüzeyindeki silanol grupları ve adsorplanmış sudan kaynaklı serbest ve hidrojen bağlı –OH grupları ile Si–OH grubuna bağlı olduğu düşünülmektedir [123], [80]. Yüzey silanol grupları su moleküllerinin fiziksel adsorpsiyonundan sorumludur ve bu molekülleri hidrojen bağları ile yüzeyde tutmaktadırlar [109].



Şekil 5. 7 Alınan piriñ kabuğu külünün FT-IR spektrumu

1600 cm^{-1} civarındaki zayıf ve geniş piklerin aldehit ve ketonların C=O ve C-OH gruplarının gerilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [123]. 1623 cm^{-1} 'deki pik ayrıca H-O-H eğilme titreşimi olarak da literatürde değerlendirilmektedir [109]. 1385 cm^{-1} 'deki pik -CH_3 gruplarının varlığının göstergesidir. 1094, 792 ve 471 cm^{-1} 'deki pikler SiO_2 'nin karakteristik titreşim pikleridir. 1094 cm^{-1} 'deki kuvvetli pik Si-O-Si , -C-OH gerilmesi ve -OH deformasyonuna bağlıdır. Bu pik iskelet olarak Si-O-Si bağı bulunduran silika malzemelerin en belirgin karakteristiğidir. 792 ve 471 cm^{-1} 'deki pikler ise Si-H , Si-O ve Si-O-Si varlığını göstermektedir [109] [123] [80].

5.2 Piriñ Kabuğu Külünden Silika Üretimi

5.2.1 Silika Tozu Elde Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Alınan piriñ kabuğu külünün 450, 600, 750 ve 900 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerlerinde 5 saat tekrar yakılması esnasında meydana gelen ağırlık kayıpları Çizelge 5. 6'da verilmiştir. En fazla ağırlık kaybının 900 $^{\circ}\text{C}$ 'de tekrar yakma işlemi esnasında meydana geldiği görülmektedir.

Çizelge 5. 6 Pirinç kabuğu külünün farklı sıcaklıklarda 5 saat süre ile tekrar yakılması esnasında meydana gelen ağırlık kayıpları

Yakma Sıcaklığı (°C)	450	600	750	900
Ağırlık Kaybı (% Ağırlık)	11.52 (0.01)	11.87 (0.04)	11.96 (0.03)	12.41 (0.10)

450, 600, 750 ve 900 °C’de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü numunelerinin 1000 °C’de belirlenen kızdırma kayıpları da dikkate alınarak yeniden hesaplanan XRF analiz sonuçları Çizelge 5. 7’de verilmiştir.

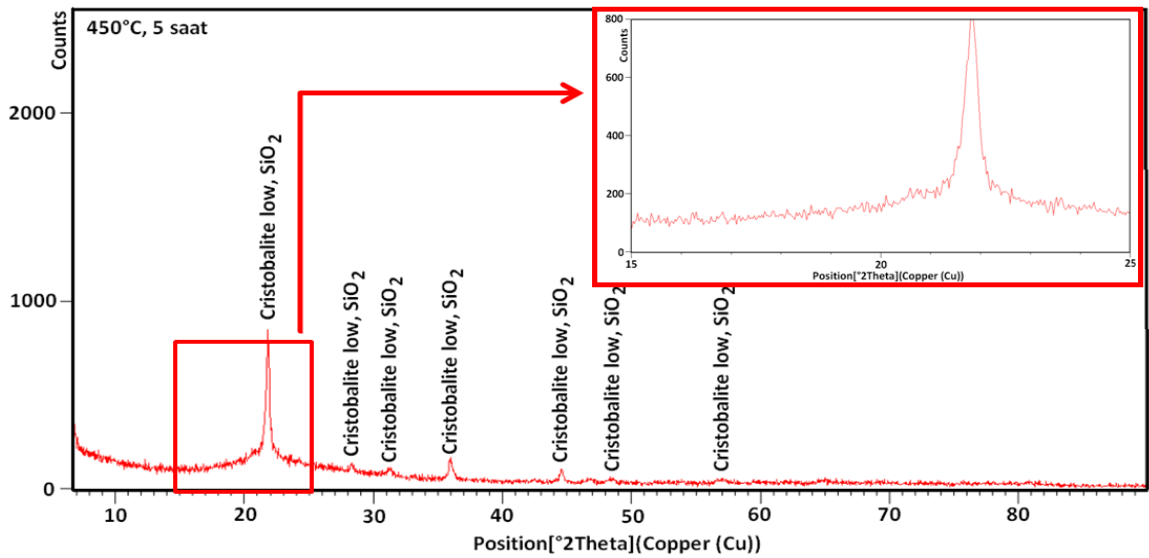
Çizelge 5. 7 Alınan pirinç kabuğu külü ve farklı sıcaklık değerlerinde tekrar yakılması ile elde edilen kül örneklerinin XRF analiz sonuçları ve 1000°C’deki kızdırma kayıpları

		Pirinç Kabuğu Külü				
		Alınan	450°C	600°C	750°C	900°C
(% Ağırlık)	SiO ₂	80.00 (0.17)	89.69 (0.06)	90.35 (0.06)	90.44 (0.06)	91.93 (0.00)
	MgO	0.45 (0.06)	0.06 (0.06)	0.10 (0.00)	0.06 (0.06)	0.03 (0.06)
	Al ₂ O ₃	1.20 (0.10)	0.94 (0.06)	0.91 (0.05)	0.90 (0.02)	1.00 (0.08)
	P ₂ O ₅	0.22 (0.05)	0.67 (0.04)	0.62 (0.02)	0.68 (0.02)	0.71 (0.03)
	K ₂ O	2.97 (0.07)	4.44 (0.03)	4.45 (0.02)	4.44 (0.04)	4.05 (0.03)
	CaO	0.50 (0.01)	0.93 (0.01)	0.93 (0.01)	1.01 (0.06)	1.09 (0.00)
	TiO ₂	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)
	MnO	0.14 (0.01)	0.22 (0.00)	0.22 (0.01)	0.25 (0.00)	0.25 (0.01)
	Fe ₂ O ₃	0.15 (0.01)	0.23 (0.00)	0.25 (0.00)	0.25 (0.01)	0.27 (0.01)
	ZnO	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)
	KK (1000°C)	14.34 (0.11)	2.79 (0.03)	2.18 (0.00)	1.95 (0.02)	0.62 (0.07)

Bu sonuçlar incelendiğinde sıcaklık artışı ile pirinç kabuğu külü SiO₂ içeriğinin de arttığı görülmektedir. Alınan pirinç kabuğu külünün SiO₂ içeriği ile 450 °C’de tekrar yakılan

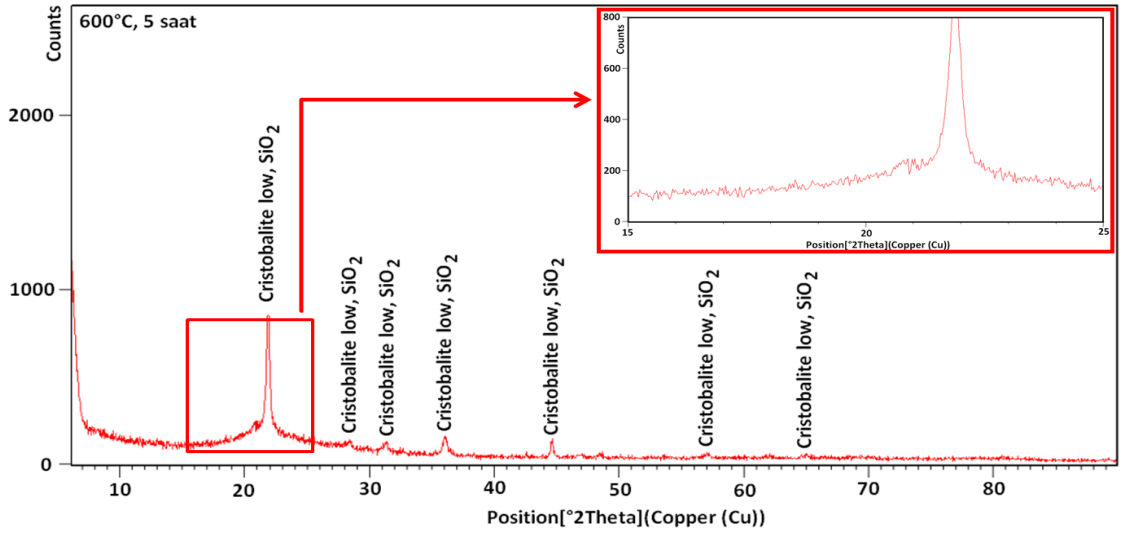
pirinç kabuğu külünün SiO_2 içerikleri kıyaslandığında yaklaşık olarak % 9.69'luk bir artış olduğu görülmektedir. 450 °C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü SiO_2 içeriği 600, 750 ve 900°C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü numunelerinin SiO_2 içerikleri ile kıyaslandığında artışın sırasıyla % 0.66, % 0.75 ve % 2.24 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında kül SiO_2 içeriğinin alınan pirinç kabuğu külünün 450°C'de tekrar yakılması ile belirgin şekilde arttırıldığı görülmektedir.

450, 600, 750 ve 900°C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü numunelerin 5° - 90° arasında değişen difraksiyon açılarında ve ortam sıcaklığında kaydedilmiş olan XRD diyagramları Şekil 5. 8, 5. 9, 5. 10 ve 5. 11'de verilmiştir. XRD sonuçlarına göre alınan pirinç kabuğu külünün 450 °C'de tekrar yakılması ile elde edilen numunenin fazının tetragonal yapıda "cristobalite" mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) olduğu tespit edildi. Kristal parametrelerinin ($a=4.9984 \text{ \AA}$, $b=4.9984 \text{ \AA}$, $c=7.0242 \text{ \AA}$) 01 – 0716 – 0941 nolu PDF kartı ile eşleştigi görülmektedir.



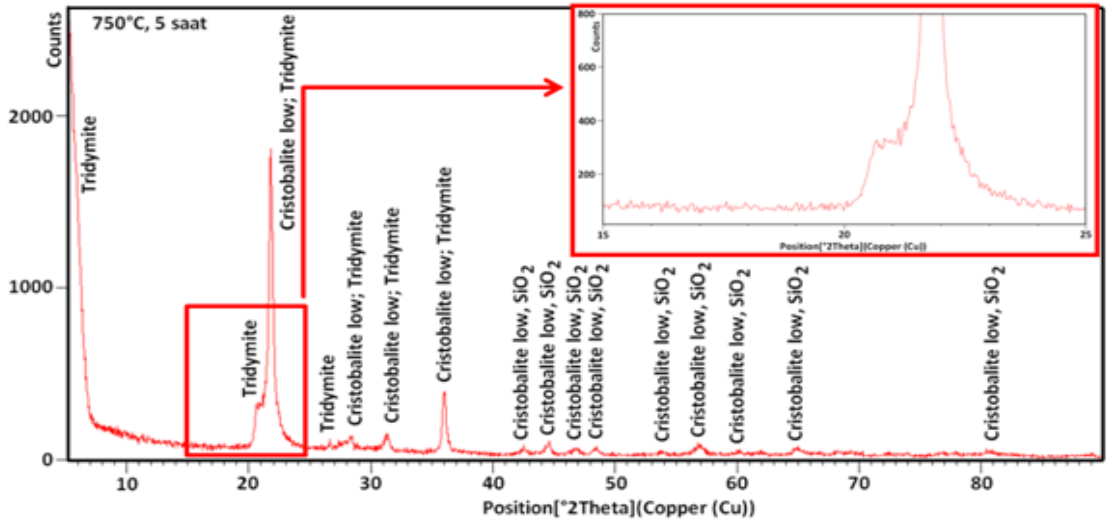
Şekil 5. 8 450 °C'de 5 saat tekrar yakılan pirinç kabuğu külünün XRD paterni

600 °C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü numunesinin fazının tetragonal yapıda "cristobalite" mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) olduğu tespit edildi. Kristal parametrelerinin ($a=4.9877 \text{ \AA}$, $b=4.9877 \text{ \AA}$, $c=6.9697 \text{ \AA}$) 01 – 077 – 1317 nolu PDF kartı ile eşleştigi görülmektedir.



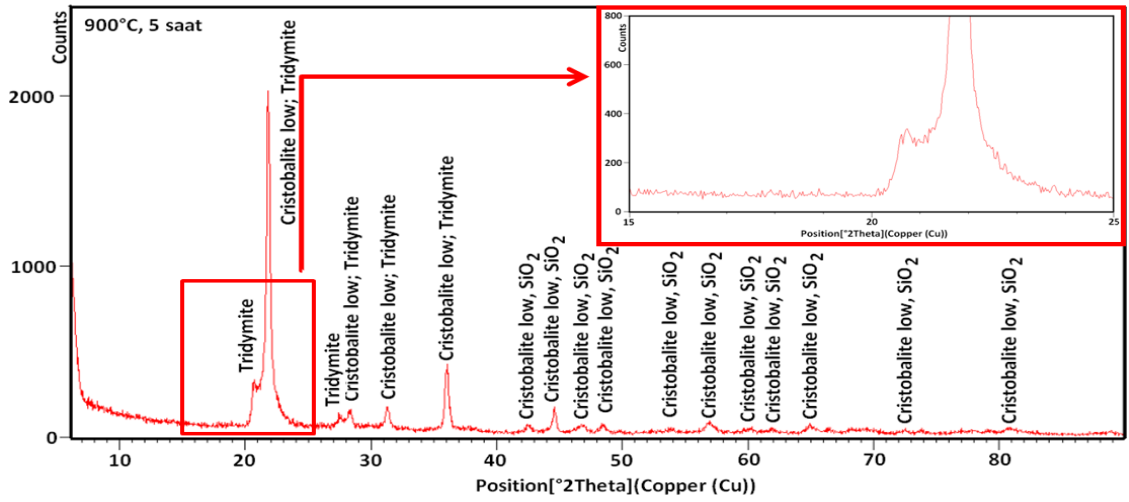
Şekil 5. 9 600 °C’de 5 saat tekrar yakılan piringç kabuğu külünün XRD paterni

750 °C’de tekrar yakılan piringç kabuğu külü numunesi tetragonal yapıda “cristobalite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) fazı ile birlikte anortik yapıda “tridymite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) fazı içerdiği tespit edildi.



Şekil 5. 10 750 °C’de 5 saat tekrar yakılan piringç kabuğu külünün XRD paterni

Tetragonal yapıda “cristobalite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) kristal parametrelerinin ($a=4.9640 \text{ \AA}$, $b=4.9640 \text{ \AA}$, $c=6.9200 \text{ \AA}$) 01 – 075 – 0923 nolu PDF kartı ile, anortik yapıda “tridymite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) kristal parametrelerinin ($a=4.9640 \text{ \AA}$, $b=4.9640 \text{ \AA}$, $c=6.9200 \text{ \AA}$) ise 01 – 071 – 0261 nolu PDF kartı ile eşleştiği görülmektedir.



Şekil 5. 11 900 °C’de 5 saat tekrar yakılan piriñ kabuğu külünün XRD paterni

900 °C’de tekrar yakılan piriñ kabuğu külü numunesi tetragonal yapıda “cristobalite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) fazı ile birlikte anortik yapıda “tridymite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) fazı içerdiği tespit edildi. Tetragonal yapıda “cristobalite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) kristal parametrelerinin ($a=4.9640 \text{ \AA}$, $b=4.9640 \text{ \AA}$, $c=6.9200 \text{ \AA}$) 01 – 075 – 0923 nolu PDF kartı ile, anortik yapıda “tridymite” mineral adlı silisyum oksit (SiO_2) kristal parametrelerinin ($a=4.9640 \text{ \AA}$, $b=4.9640 \text{ \AA}$, $c=6.9200 \text{ \AA}$) ise 01 – 071 – 0261 nolu PDF kartı ile eşleştiği görülmektedir.

Piriñ kabuğu külü piriñ kabuğunun 400 – 500 °C üzerindeki sıcaklık değerlerinde yakılması veya ısıtılması ile elde edilmektedir. Piriñ kabuğu külü içerisinde amorf silika, kristal silika ya da her ikisinin birlikte var olması bu işlemde kullanılan sıcaklık değerine bağlıdır. 1000 °C civarındaki sıcaklıklarda elde edilen piriñ kabuğu külü içerisinde belirli miktarlarda “tridymite” ve “cristobalite” bulunduğu pek çok çalışmada gösterilmiştir [100].

Alınan piriñ kabuğu külü ve 450, 600, 750 ve 900 °C sıcaklıklarda tekrar yakılan piriñ kabuğu külü numunelerinin kristal içerikleri kristal ve amorf pik alanları kıyaslanarak [124] aşağıda verilen Eşitlik 5. 1 vasıtasıyla hesaplandı.

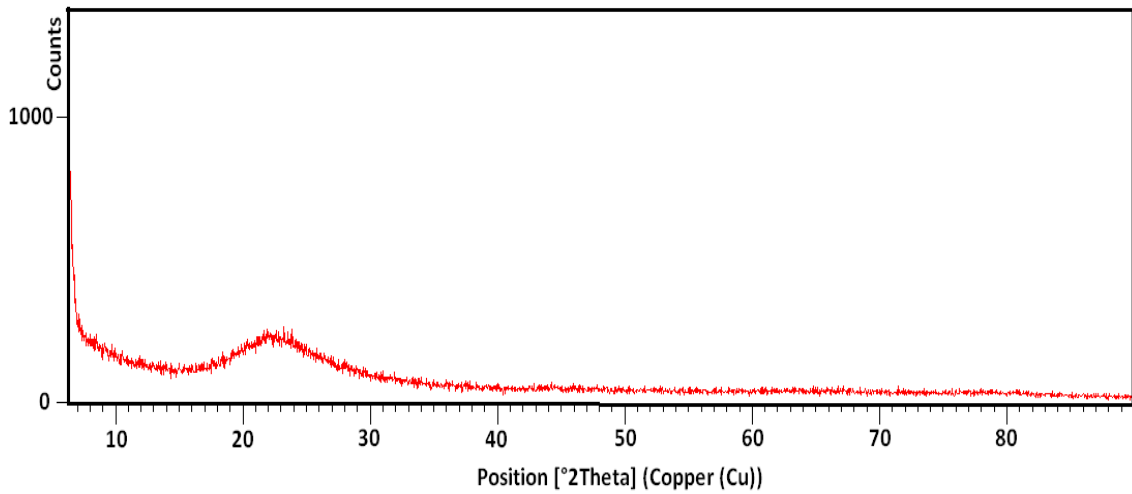
$$Kristal(\%) = \frac{A_{Kristal}}{A_{Kristal} + A_{Amorf}} \times 100 \quad (5. 1)$$

Burada A_{Kristal} , kristal piklerin alanı, A_{Amorf} ise amorf pik alanıdır. Kristal ve amorf pik alanları Panalytical X'Pert Data Viewer programı ile hesaplandı. Sonuçlar Çizelge 5. 8'de verilmiştir.

Çizelge 5. 8 Alınan pirinç kabuğu külü ve 450, 600, 750 ve 900°C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü numunelerinin % kristal içerikleri

Pirinç Kabuğu Külü	Alınan	450 °C	600 °C	750 °C	900 °C
% Kristal	14.70	21.60	22.40	61.58	71.97

Alınan külün tekrar yakma sıcaklığının elde edilen silika toz örneklerin kristal yapısına etkisini belirlemek üzere 900°C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü örneğinden elde edilen SiO_2 tozunun kristal yapısı XRD ile belirlendi. Şekil 5. 12'de verilen 900 °C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külünden elde edilen silika toz numunesine ait XRD paterninde numunenin amorf yapıda olduğunu gösteren ve 2θ açısı 22 ° civarında olan geniş difraksiyon piki görülmektedir [112].



Şekil 5. 12 900°C'de yeniden yakılmış pirinç kabuğu külünden elde edilen SiO_2 toz numunesinin XRD paterni

600, 750 ve 900°C'de tekrar yakılan pirinç kabuğu külü numunelerinden elde edilen silika toz miktarları Çizelge 5. 9'da verilmiştir. Yakma sıcaklığındaki artış ile elde edilen silika toz miktarının azaldığı görülmektedir.

Çizelge 5. 9 Alınan pirinç kabuğu külünün tekrar yakma sıcaklığına ve silika jel pH değerine bağlı olarak silika verimi (Silika üretimi geleneksel yöntem ile gerçekleştirildi)

Alınan Külün Yeniden yakma sıcaklığı (°C)	Jelleşme pH Değeri	Elde Edilen SiO ₂ Miktarı (g)	Verim (%)
600	4	4.72	30.21
	7	4.79	30.63
	9	5.00	31.98
750	4	2.67	17.08
	7	2.90	18.55
	9	2.58	16.49
900	4	2.20	14.10
	7	2.31	14.80
	9	2.24	14.36

Pirinç kabuğu külünün tekrar yakma sıcaklığı arttıkça pirinç kabuğu külü içerisindeki silika yüzdesinin arttığı XRF sonuçlarında (Çizelge 5. 7), % kristal içeriğinin arttığı da XRD sonuçlarında (Çizelge 5. 8) görülmektedir. Bununla birlikte elde edilen amorf silika miktarı azalmaktadır (Çizelge 5. 9). Bu sonuçlar göz önüne alındığında pirinç kabuğu külünün 450°C’de yakılmasına karar verildi.

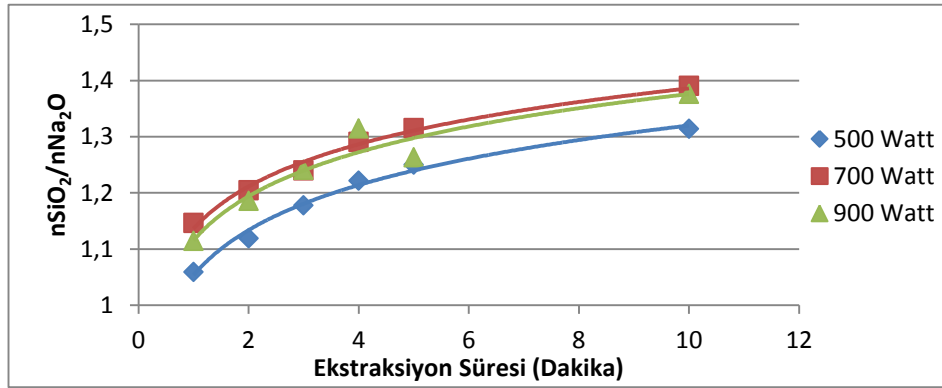
Pirinç kabuğu külünden silika ekstraksiyon yöntemini belirlemek üzere geleneksel yöntemin yanı sıra mikrodalga cihazı ile ekstraksiyon çalışmaları gerçekleştirildi. Çalışmalar neticesinde elde edilen sodyum silikat çözeltilerinin Si ve Na içerikleri ICP-OES ile belirlendi. Çözünür silikatların kimyasal bileşimi (SiO₂)_x(M₂O) formülü ile ifade edilebilmektedir (M: alkali metal, çoğunlukla Na veya K). Silikatlar genellikle SiO₂/M₂O oranı ile tanımlanmakta kimyasal bileşimleri ağırlık ya da mol oranı olarak ifade edilmektedir. SiO₂ ve Na₂O’nun mol ağırlıkları neredeyse eşit (sırasıyla 60 g/mol ve 62 g/mol) olduğundan sodyum silikat çözeltilerinde mol ve ağırlık oranı arasında çok küçük bir fark vardır. Sodyum silikat çözeltilerinin ağırlık oranının mol oranına dönüştürülmesinde (Eşitlik 5. 2) 1.033 faktörü kullanılabilmektedir.

$$\text{Mol Oranı} = 1.033 \times \text{Ağırlık Oranı} \quad (5.2)$$

ICP-OES analizi ile elde edilen SiO_2 ve Na_2O miktarlarından $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mol oranı hesaplanarak sonuçlar değerlendirildi (Çizelge 5. 10 ve Şekil 5. 13) ve ekstraksiyon işleminin mikrodalga sentez cihazında 10 dakika 700 Watt koşulunda gerçekleştirilmesine karar verildi. Çizelge 5. 9 ve 5. 11 incelendiğinde silika üretim veriminin arttırıldığı görülmektedir.

Çizelge 5. 10 Geleneksel yöntem ve mikrodalga ile ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen sodyum silikat çözeltilerinin $n\text{SiO}_2/n\text{Na}_2\text{O}$ oranları

	Geleneksel Yöntem	Mikrodalga Ekstraksiyon Yöntemi		
		500 W, 10 dak	700 W, 10 dak	900 W, 10 dak
$n\text{SiO}_2/n\text{Na}_2\text{O}$	1.21	1.31	1.39	1.38



Şekil 5. 13 Mikrodalga ekstraksiyon çalışması sonuçları

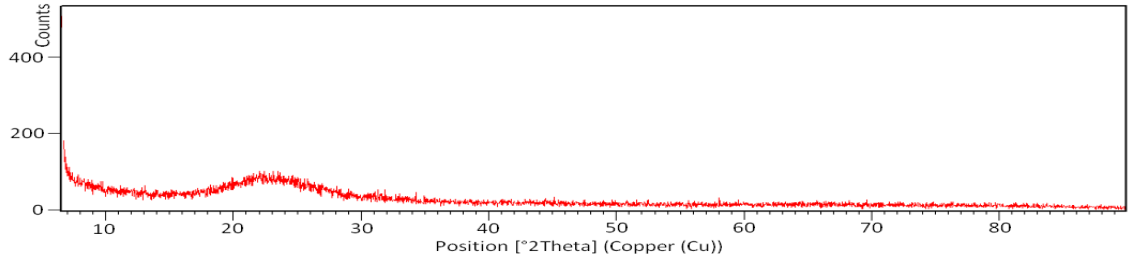
Çizelge 5. 11 450°C’de tekrar yakılan pirinç kabuğu külünden mikrodalga ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen sodyum silikat çözeltisinden silika eldesi verimi

Alınan Külün Yeniden yakma sıcaklığı (°C)	Jelleşme pH Değeri	Verim (%)
450	4	49.70
	7	50.00
	9	50.60

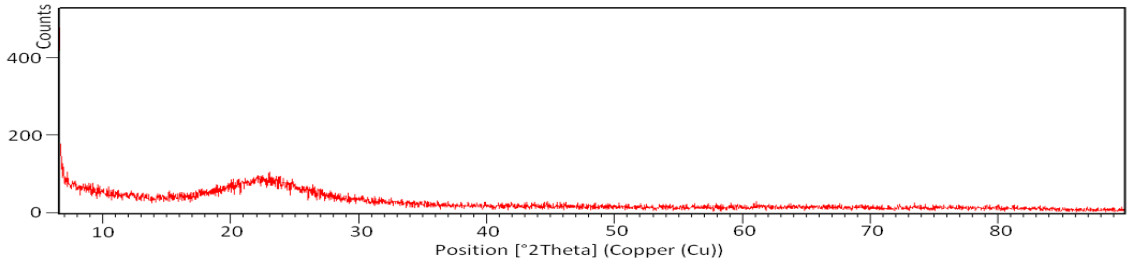
5.2.2 Elde Edilen Silika Tozlarının Karakterizasyonu

5.2.2.1 XRD Sonuçları

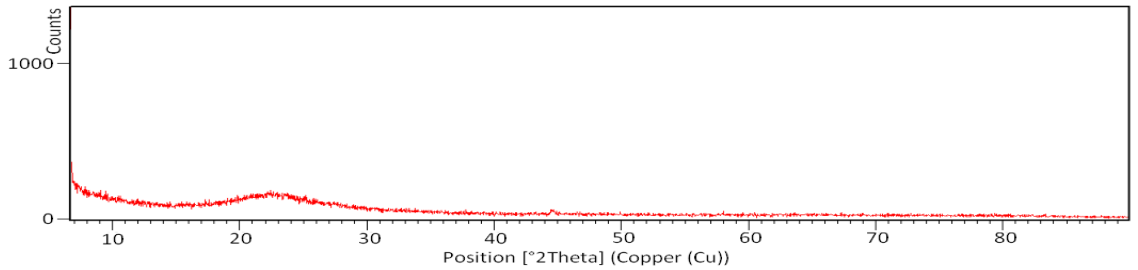
Öğütülen ve 450°C’de tekrar yakılan pirinç kabuğu külünden 700 Watt 10 dakika koşullarında ekstraksiyon sonrası elde edilen $\text{Na}_2\text{OxSiO}_2$ çözeltisinden pH 4, 7 ve 9’da hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarının XRD paternleri Şekil 5. 14’te verilmiştir. Üretilen silika tozlarının XRD paternleri incelendiğinde 2θ açısı 22 ° civarında olan geniş difraksiyon pikleri görülmektedir. Bu geniş difraksiyon piki silika karakteristik pikidir ve düzenli bir kristal yapı olmadığını, pH 4, 7 ve 9’da üretilen silika tozlarının amorf yapıda olduğunu göstermektedir [107], [111], [112], [125].



(a)



(b)

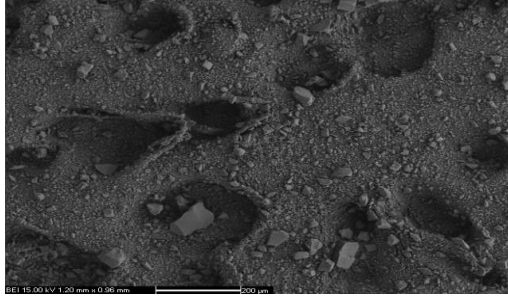


(c)

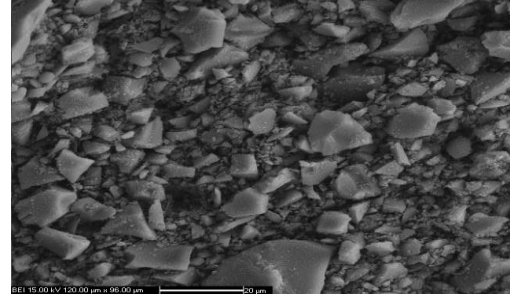
Şekil 5. 14 (a) pH 4, (b) pH 7 ve (c) pH 9’da üretilen SiO_2 tozlarının XRD paterni

5.2.2.2 SEM Görüntüleri

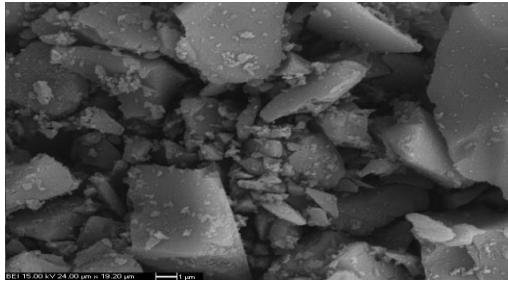
Üretilen silika tozlarının mikro yapıları SEM analizi ile incelendi. pH 4, 7 ve 9’da üretilen silika tozlarının SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 5. 15, 5. 16 ve 5. 17’de verilmiştir.



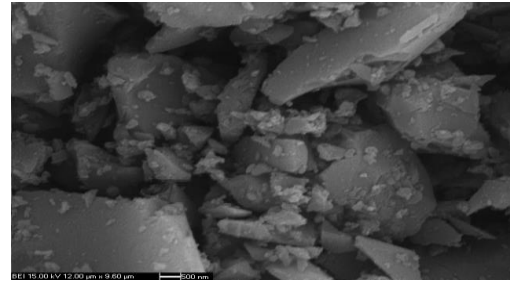
(a)



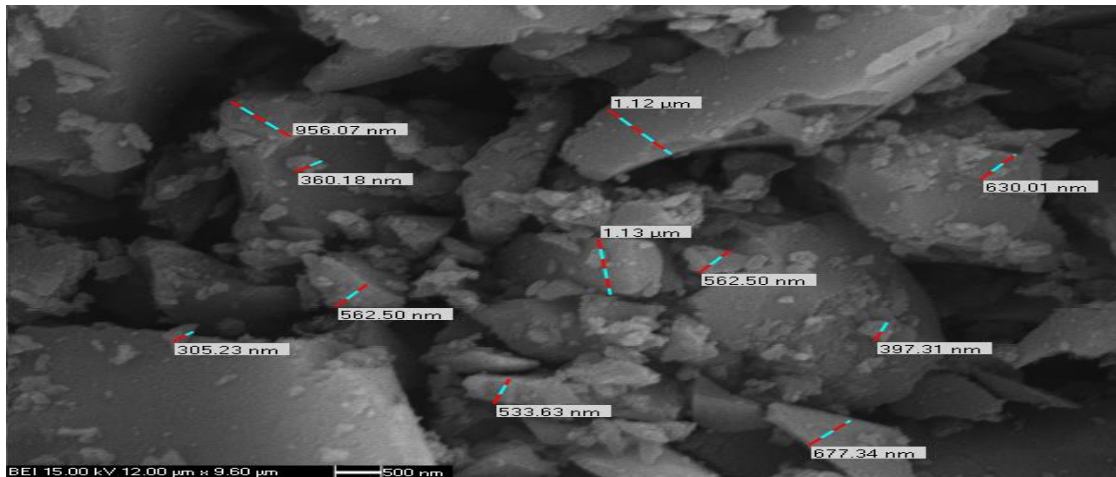
(b)



(c)



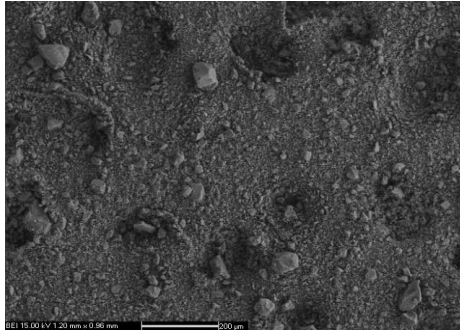
(d)



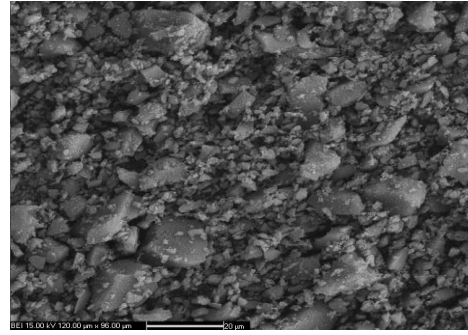
(e)

Şekil 5. 15 pH 4’te üretilen SiO_2 ’nin SEM görüntüleri, (a) X 100 (b) X 1000 (c) X 5000 (d) X 10000 (e) X 10000

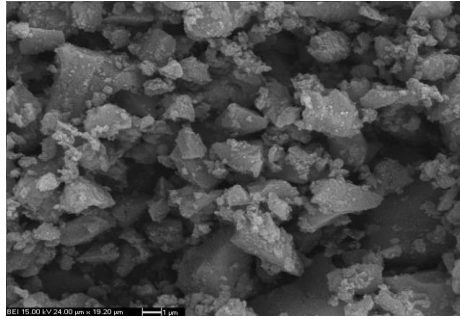
Bu görüntüler incelendiğinde üretilen silika tozlarının heterojen bir yapıda olduğu, homojen bir partikül boyut dağılımı ve şekli olmadığı görülmektedir.



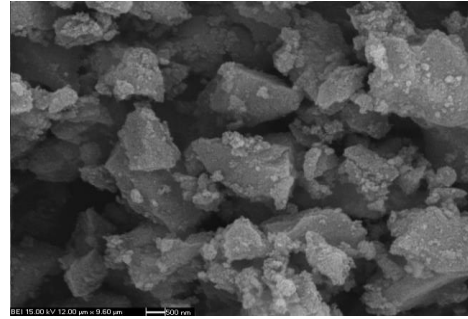
(a)



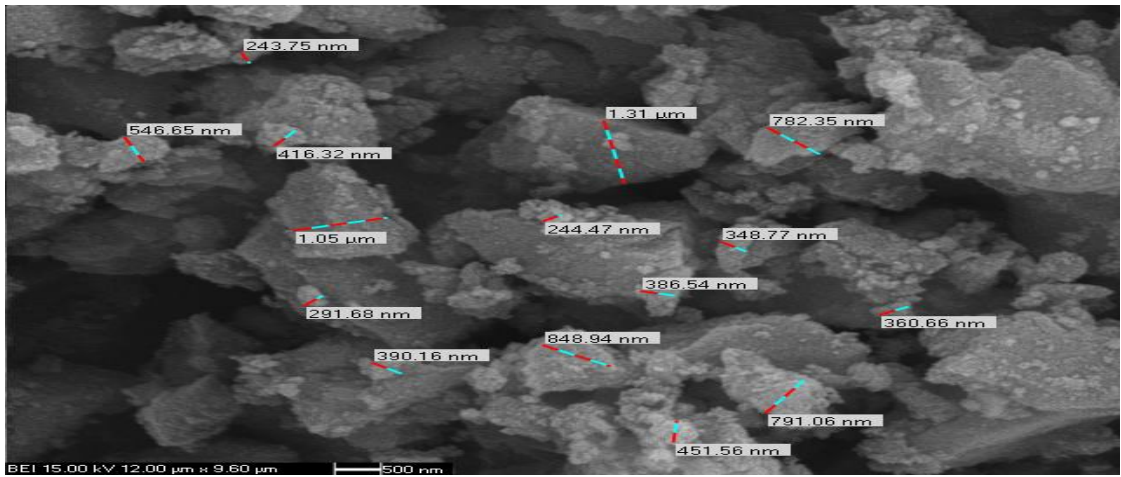
(b)



(c)

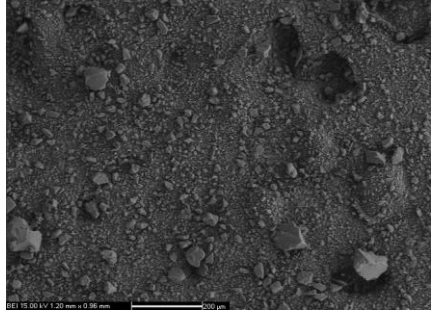


(d)

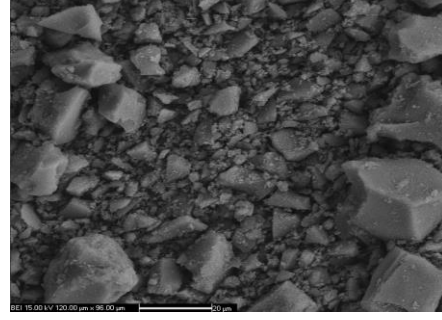


(e)

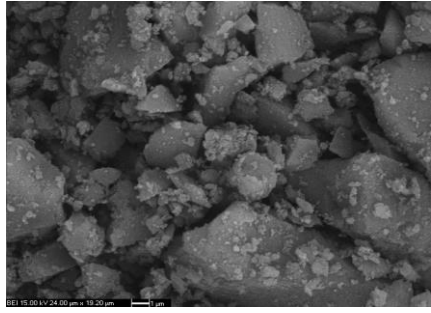
Şekil 5. 16 pH 7’de üretilen SiO₂’nin SEM görüntüleri, (a) X 100 (b) X 1000 (c) X 5000 (d) X 10000 (e) X 10000



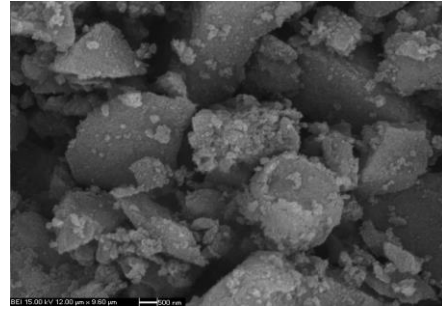
(a)



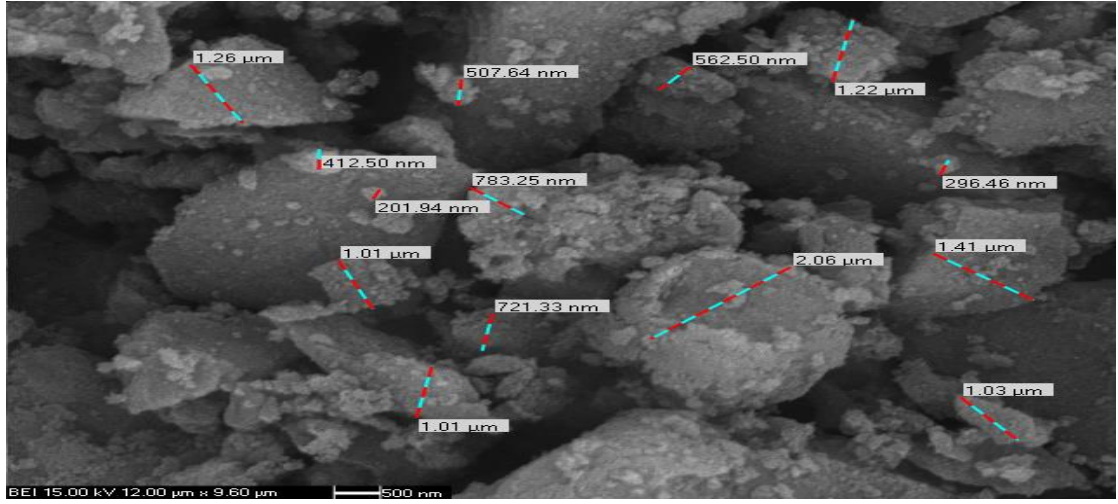
(b)



(c)



(d)

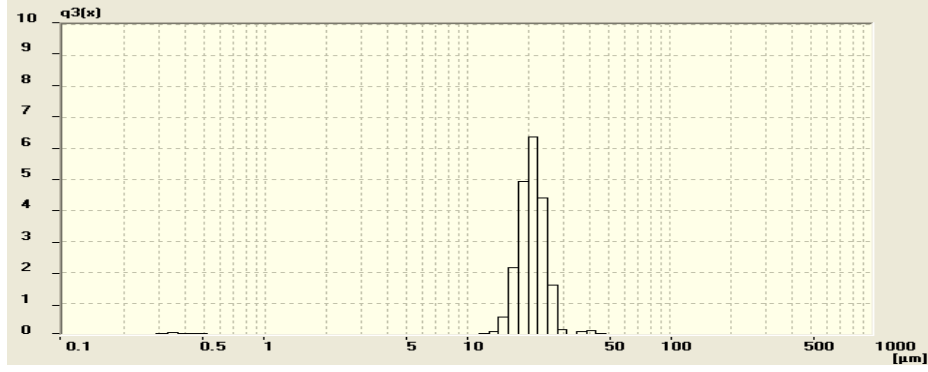


(e)

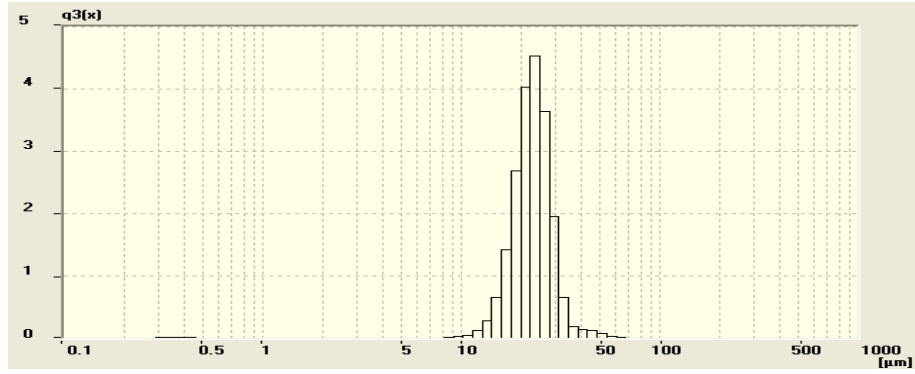
Şekil 5. 17 pH 9'da üretilen SiO_2 'nin SEM görüntüleri, (a) X 100 (b) X 1000 (c) X 5000 (d) X 10000 (e) X 100000

5.2.2.3 Partikül Boyut Dağılımı Sonuçları

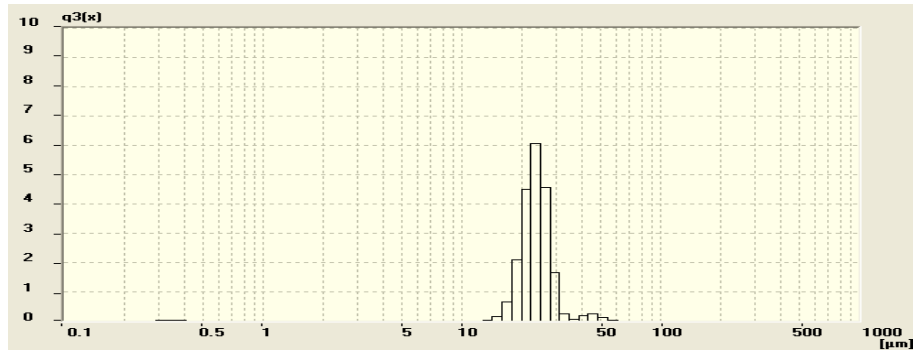
Pirinç kabuğu külünden elde edilen sodyum silikat çözeltilerinden pH 4, 7 ve 9’da hazırlanan silika jellerden üretilen SiO_2 toz numunelere ait partikül boyut dağılımı grafikleri Şekil 5. 18’de, partikül boyut ortalamaları ise Çizelge 5. 12’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

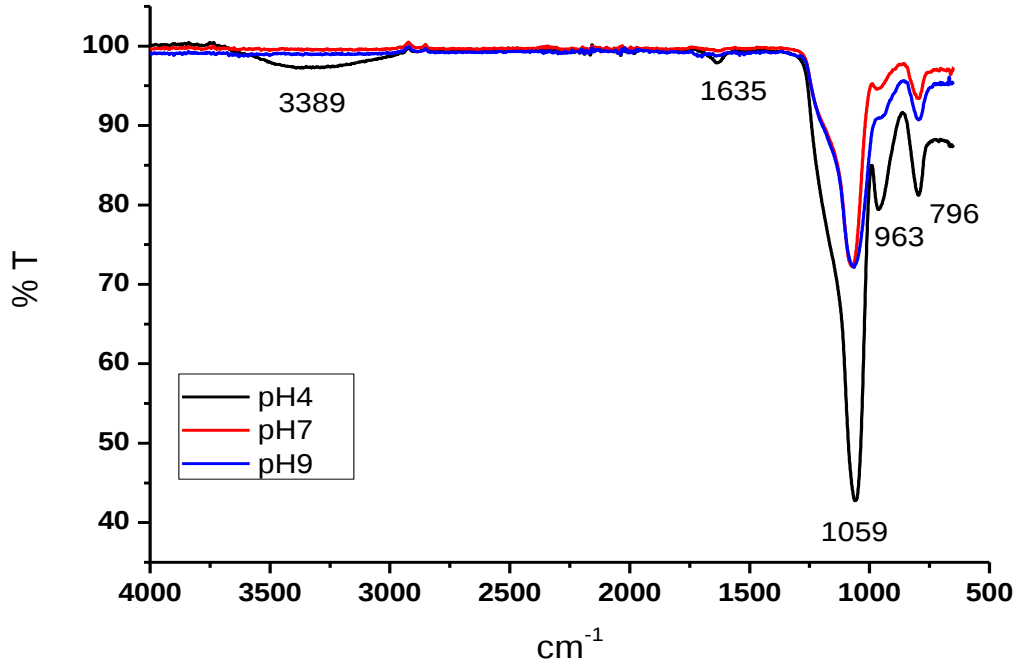
Şekil 5. 18 (a) pH 4, (b) pH 7 ve (c) pH 9’da üretilen silika tozlarının partikül boyut dağılımları

Çizelge 5. 12 pH 4, 7 ve 9’da üretilen silika tozlarının ortalama partikül boyutları

	pH 4 SiO ₂	pH 7 SiO ₂	pH 9 SiO ₂
Aritmetik Ortalama Çap (µm)	20.9	23.4	24.1

5.2.2.4 FT-IR Sonuçları

Üretilen silika tozlarının majör kimyasal grupları FT-IR ile belirlendi. pH 4, 7 ve 9’da hazırlanan silika jellerden üretilen silika tozlarının FT-IR spektrumları Şekil 5. 19’da birlikte verilmiştir.



Şekil 5. 19 pH 4, 7 ve 9’da üretilen SiO₂ numunelerinin FT-IR spektrumları

Üretilen silika tozlarının FT-IR spektrumlarında 3389, 1635, 1059, 963 ve 796 cm⁻¹’de belirgin absorpsiyon bandları görülmektedir. 1059, 963 ve 796 cm⁻¹’deki absorpsiyon bandları silikanın gerilme ve bükülme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. 963 cm⁻¹’deki pik silikanın silanol Si-OH gerilme titreşimine bağlıdır. Üretilen silika tozlarının FT-IR spektrumlarında 3389 ve 1635 cm⁻¹’de görülen absorpsiyon bantları adsorplanmış sudan kaynaklanmaktadır ve sırasıyla H-O-H gerilme ve bükülme

modlarından kaynaklanmaktadır [92]. Özellikle pH 4'te hazırlanan silika tozunun FT-IR spektrumunda 3389 cm^{-1} 'de yüzey O–H titreşimine bağlı geniş bir absorpsiyon bandı görülmektedir. Bu band silanol, SiO–H grupları ve silika yüzeyine adsorplanmış su moleküllerinin HO–H titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. H–O–H bükülme titreşimi 1635 cm^{-1} 'de görülmektedir [109].

5.2.2.5 ICP-OES Sonuçları

pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan silika jellerden üretilen silika toz numunelerinin ICP-OES sonuçları Çizelge 5. 13'te verilmiştir.

Çizelge 5. 13 pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan silika jellerden üretilen silika toz numunelerinin ICP-OES sonuçları.

Numune	pH4-SiO ₂	pH7-SiO ₂	pH9-SiO ₂
Element	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Si	402200.000	433300.000	413500.000
Na	549.000	7235.000	22580.000
Al	324.300	348.600	439.200
Ca	64.470	222.900	442.900
Cu	0.105	0.315	0.203
Fe	56.470	67.870	56.230
K	113.000	2242.000	9025.000
Mg	6.058	117.300	178.700
Mn	1.307	53.160	37.440
Mo	0.133	0.134	0.176
Ti	3.553	3.932	4.183
Zn	< 0.001	0.999	1.710
P	< 0.001	< 0.001	< 0.001
S	< 0.001	< 0.001	< 0.001

pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan silika jellerden üretilen silika toz numunelerinin ICP-OES sonuçlarına göre pH 7'de üretilen silika toz numunenin Si içeriği pH 4 ve pH 9'da üretilen silika toz numunelerin Si içeriğinden yüksektir. Bununla birlikte safsızlık içeriği en düşük silika numunenin pH 4'te üretilen, safsızlık içeriği en yüksek silika numunenin ise pH 9'da üretilen silika numune olduğu görülmektedir.

5.2.2.6 Azot Adsorpsiyon Sonuçları

pH 4, 7 ve 9'da üretilen silika toz numunelere ait yüzey alanı, gözenek hacmi ve ortalama gözenek genişliği sonuçları Çizelge 5. 14'te verilmiştir. Numunelerin azot desorpsiyon izoterminden elde edilen gözenek boyut dağılımı ve gözenek hacmi, Barrett-Joyner-Halenda (BJH) yöntemine göre belirlendi.

Çizelge 5. 14 pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan silika jellerden üretilen silika toz numunelerinin yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek boyutu değerleri

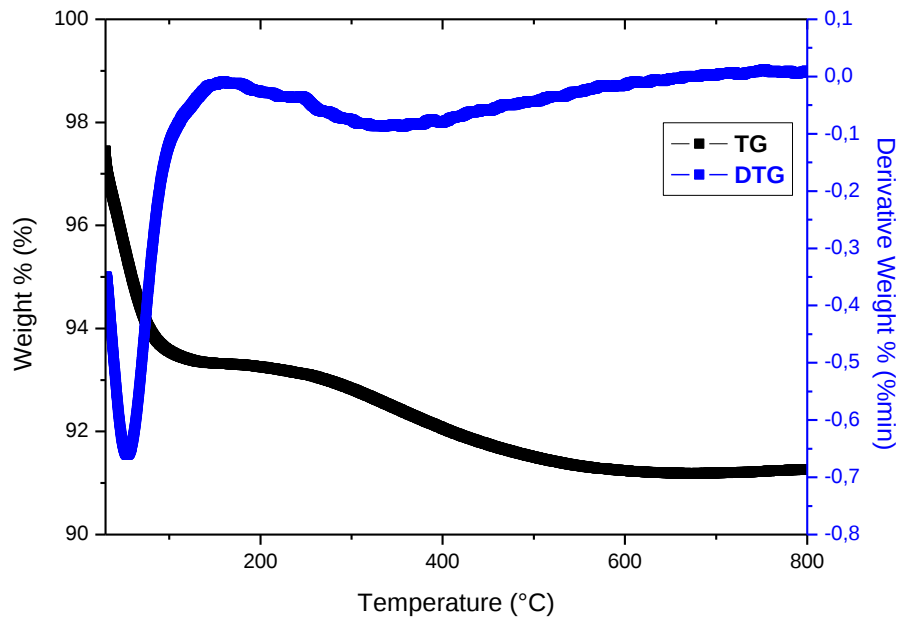
SiO ₂	S _{BET} (m ² /g)	Gözenek Hacmi (cm ³ /g)	Ortalama Gözenek Genişliği (Å)
pH4	528.16	0.30	24.66
pH7	242.97	0.75	93.64
pH9	163.31	0.45	85.69

BJH yöntemi mezo-gözenek boyut dağılımının belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Gözenek boyutları IUPAC tarafından uygulanan sınıflandırmaya bağlı olarak mikro-gözenekler (çap (d) < 20 Å), mezo-gözenekler (20 Å < d < 500 Å) ve makro-gözenekler (d > 500 Å) olarak sınıflandırılmaktadır [123]. pH 4, 7 ve 9'da üretilen silika toz numunelerin gözenek genişlik değerleri dikkate alındığında bu silika tozların mezo-gözenekli oldukları görülmektedir.

5.2.2.7 Termogravimetrik Analiz Sonuçları

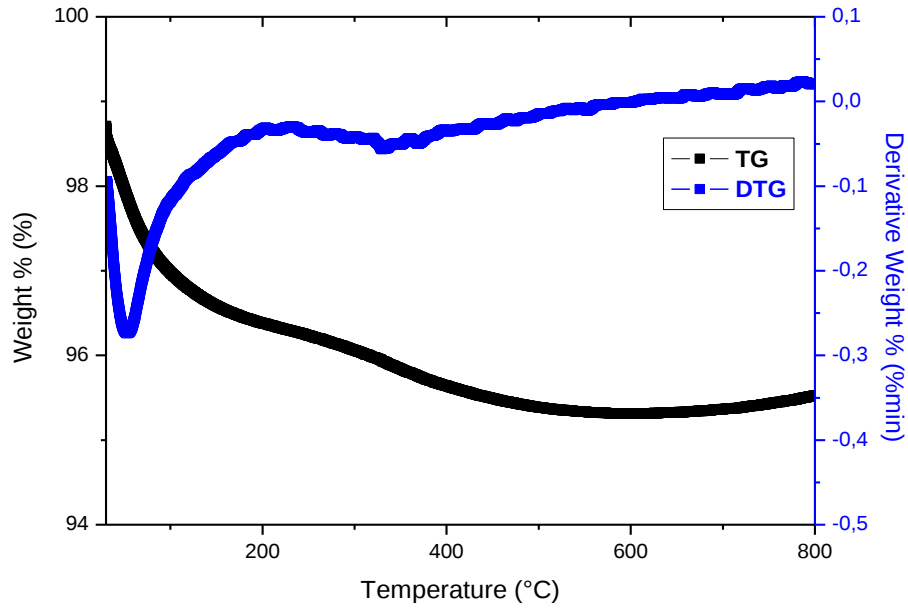
pH 4, 7 ve 9'da üretilen silika örneklerinin termogram ve DTG eğrileri sırasıyla Şekil 5. 20, 5. 21 ve 5. 22'de ortam sıcaklığı ile 800 °C aralığında verilmiştir. pH 4 ve 7'de üretilen silika tozlarının termogram ve DTG eğrileri incelendiğinde iki adımda ağırlık

kaybı olduğu görülmektedir. pH 9'da üretilen silika tozunun termogram ve DTG eğrisi incelendiğinde ise ağırlık kaybının üç adımda gerçekleştiği görülmektedir. pH 4 ve 7'de üretilen silika tozlarının termogramlarında birinci adımda ağırlık kaybının ani bir şekilde gerçekleştiği görülmekte ve fiziksel olarak adsorplanmış suyun silika yüzeyinden uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. pH 9'da üretilen silika tozunun termogram ve DTG eğrisinde ise fiziksel olarak adsorplanmış suyun silika yüzeyinden iki adımda uzaklaştığı görülmektedir. pH 4 ve 7'de üretilen silika tozlarının termogramında ikinci adım, pH 9'da üretilen silika tozunun termogramında ise üçüncü adım, daha geniştir ve silanol gruplarının yavaş kondenzasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Silanol gruplarının kondenzasyonunda, silika yüzeyindeki iki silanol grubunun reaksiyonu sonucu bir siloksan grubu oluşmakta ve bir molekül su açığa çıkmaktadır [126].



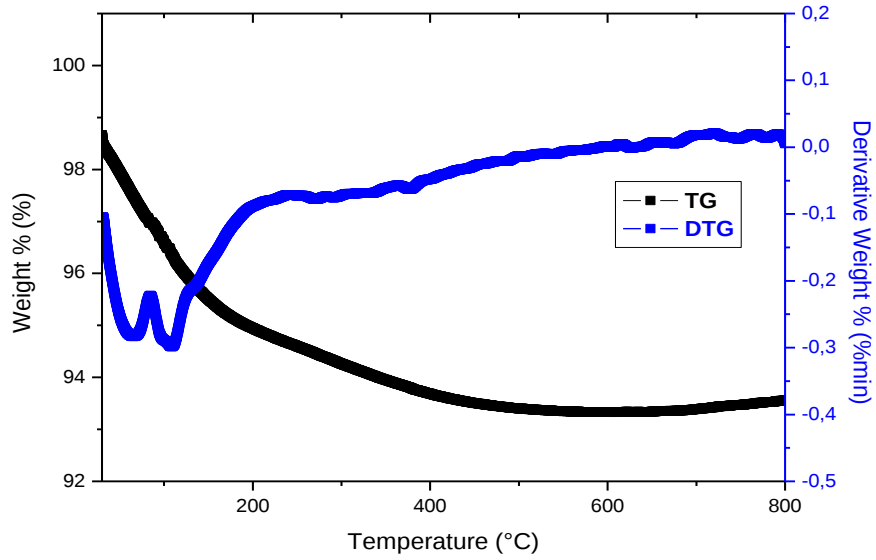
Şekil 5. 20 pH 4 SiO₂ termogram ve DTG eğrisi

pH 4'te üretilen silika için birinci bölgede (< 147 °C) % 6.6 ve ikinci bölgede 147 – 651 °C aralığında ise % 2.1 ağırlık kaybı meydana gelmiştir.



Şekil 5. 21 pH 7 SiO₂ Termogram ve DTG eğrisi

pH 7’de üretilen silika için birinci bölgede (< 154 °) % 3.4 ve ikinci bölgede 154 – 566 °C aralığında ise % 1.2 ağırlık kaybı meydana gelmiştir.



Şekil 5. 22 pH 9 SiO₂ Termogram ve DTG eğrisi

pH 9’da üretilen silika için ilk iki bölgede (< 173 °C arası) % 4.7 ve üçüncü bölgede 173 – 556 °C aralığında ise % 1.9 ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

Üretilen silika numunelerinin nem içeriği de termogram ve DTG eğrilerinden yararlanarak hesaplandı. Silika yüzeyine fiziksel olarak adsorplanmış su miktarı termogramdaki ilk ağırlık kaybının meydana geldiği noktadan tüm fiziksel olarak adsorplanmış suyun uzaklaştığı sıcaklık değerine kadar meydana gelen ağırlık kaybı (% ağırlık) ölçülerek hesaplandı. Silika yüzeyine fiziksel olarak adsorplanmış su moleküllerinin uzaklaştığı maksimum sıcaklık değeri 200 °C olarak literatürde yer almaktadır [127]. pH 4'te üretilen silika toz numunesi için 20 – 147 °C arasında meydana gelen ağırlık kaybı % 6.6, pH 7'de üretilen silika toz numunesi için 20 – 154 °C arasında meydana gelen ağırlık kaybı % 3.4 ve pH 9'da üretilen silika toz numunesi için 20 – 173 °C arasında meydana gelen ağırlık kaybı % 4.7'dir. Numunelerin termogramlarında fiziksel olarak adsorplanmış su moleküllerinin uzaklaştığı bölgenin sonlandığı sıcaklık değerleri ve fiziksel olarak adsorplanmış su içerikleri Çizelge 5. 15'te verilmiştir.

Çizelge 5. 15 Üretilen silika örneklerinin termogramlarında ilk adımın sonlandığı sıcaklık değerleri ve fiziksel olarak adsorplanmış su içerikleri

SiO ₂ Türü	Fizisorbe H ₂ O Desorpsiyon		Fiziksel olarak adsorplanmış H ₂ O		
	Sonlanma Sıcaklığı	Ağırlık Kaybı	mg/g SiO ₂	mmol/g SiO ₂	H ₂ O nm ⁻² SiO ₂
pH 4	147 °C	% 6.6	66	3.7	4.2
pH 7	154 °C	% 3.4	34	1.9	4.7
pH 9	173 °C	% 4.7	47	2.6	9.6

Termogravimetrik yöntem ile ayrıca üretilen silika toz örneklerin yüzey OH grupları (silanol) belirlenebilmektedir. İki yüzey OH grubunun (silanol) kondenzasyonu sonucu bir molekül su çıkışı ile bir siloksan grubu meydana gelmektedir [126]. Fiziksel olarak adsorplanmış su moleküllerinin uzaklaşmasını takiben yüzey silanol gruplarının kondenzasyonu kaynaklı ağırlık kaybının 800 °C'ye kadar gerçekleştiği literatürde

belirtilmektedir [127]. Üretilen silika numunelerinin hidroksil grup içeriği mol/g SiO₂ olarak Eşitlik 5. 3 vasıtasıyla hesaplanabilmektedir [126].

$$n_{OH}(SiO_2) = 2n_{H_2O} = \frac{2(AK(T_0) - AK(T_{800}))}{100M_{H_2O}} \quad (5. 3)$$

n_{OH} : OH gruplarının mol sayısı

n_{H_2O} : H₂O mol sayısı

M_{H_2O} : Suyun molekül ağırlığı

$AK(T_0) - AK(T_{800})$: Fiziksel bağlı suyun tamamen uzaklaştığı sıcaklık ile 800 °C arasındaki % ağırlık kaybı

Çizelge 5. 16 Üretilen silika numunelerinin silanol sayıları

SiO ₂ Türü	Sıcaklık Aralığı (°C)	Ağırlık Kaybı (%)	S_{BET} (m ² /g)	Yüzey OH Grup İçeriği		Silanol Sayısı OH nm ⁻² SiO ₂
				mmol/g SiO ₂	mg/g SiO ₂	
pH 4	147 – 800	2.1	528.2	2.3	39.1	2.6
pH 7	154 – 800	1.0	243.0	1.1	18.7	2.7
pH 9	173 – 800	1.6	163.3	1.8	30.6	6.6

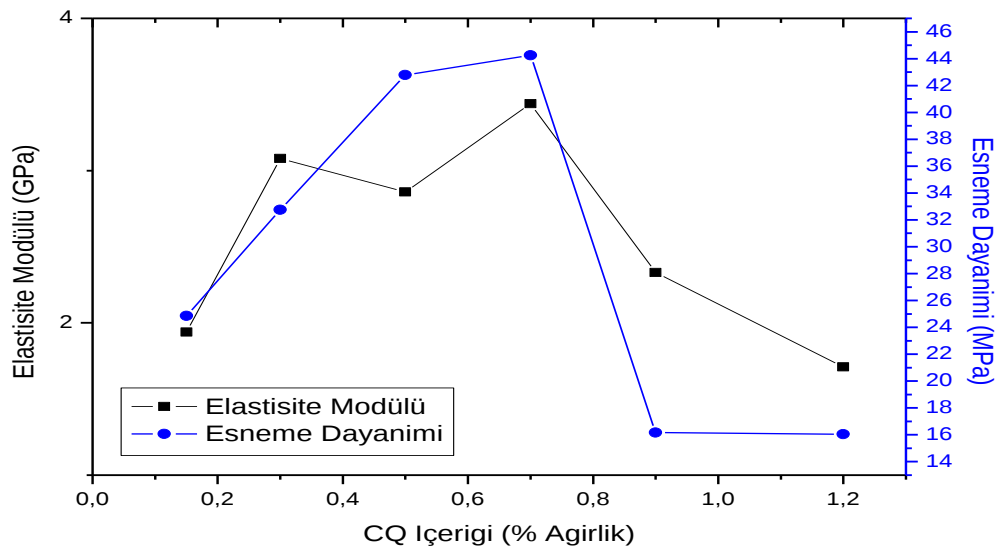
5.3 Dental Kompozitlerin Hazırlanmasında Kullanılacak Foto-başlatıcı Miktarı ve İnorganik Doldurucu Silan Bağlama İşleminin Değerlendirilmesi

5.3.1 Foto-başlatıcı Miktarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada foto-başlatıcı ve hızlandırıcı olarak sırasıyla CQ ve DMAM kullanıldı. Monomer karışımına ilave edilecek CQ ve DMAM miktarının belirlenebilmesi için CQ/DMAM oranı 1 kalacak şekilde organik matris içerisindeki miktarları değiştirilerek monomer karışımlar hazırlandı. Bu monomer karışımları ile hazırlanan kompozitlere üç nokta kırma testi uygulandı. Bu test sonucunda elde edilen elastisite modülü ve esneme dayanımı değerleri Çizelge 5. 17 ve Şekil 5. 26'de verilmiştir.

Çizelge 5. 17 Monomer karışıma ilave edilen CQ miktarına bağlı olarak elastisite modülü ve esneme dayanımı değerleri (Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir)

Organik Matris CQ ve DMAM İçeriği (% Ağırlık)	Elastisite Modülü (GPa)	Esneme Dayanımı (MPa)
0.15	1.94 (0.25)	24.86 (1.77)
0.30	3.08 (0.28)	32.76 (2.85)
0.50	2.86 (0.30)	42.78 (3.01)
0.70	3.44 (0.31)	44.25 (3.09)
0.90	2.33 (0.30)	16.16 (0.29)
1.20	1.71 (0.43)	16.05 (2.41)

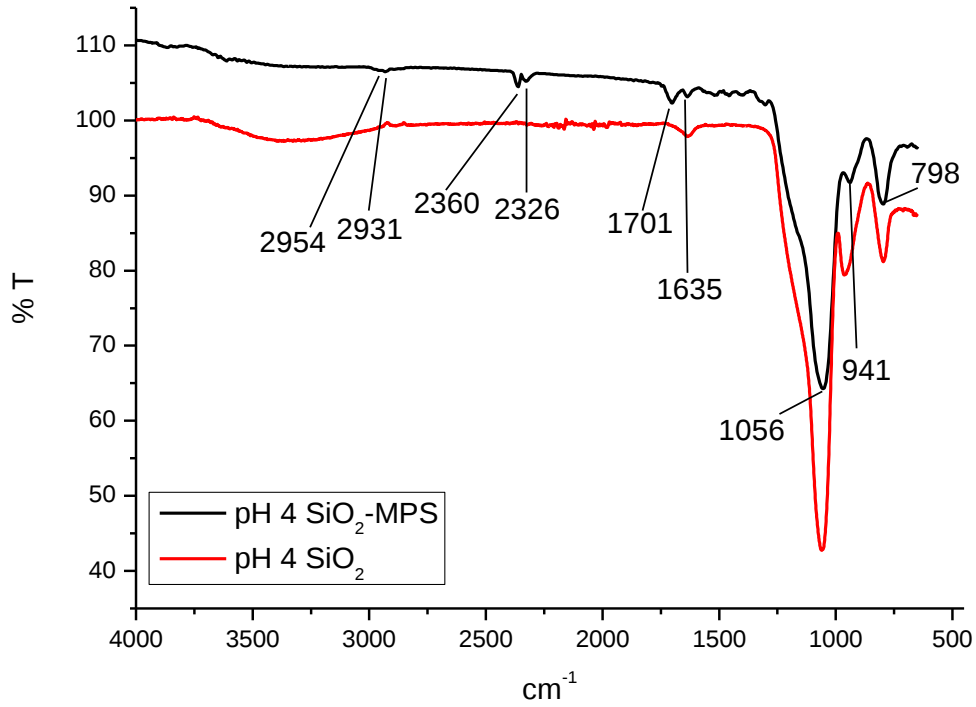


Şekil 5. 23 Monomer karışıma ilave edilen CQ miktarına bağlı olarak elastisite modülü ve esneme dayanımı değerleri

Sonuçlar incelendiğinde en yüksek elastisite modülü ve esneme dayanımı değerlerinin CQ ve DMAM monomer karışımının ağırlıkça % 0.7'si oranında kullanıldığı kompozitlerde elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada CQ ve DMAM monomer karışımının ağırlıkça % 0.7'si oranında kullanıldı.

5.3.2 Silan Bağlama İşleminin Değerlendirilmesi

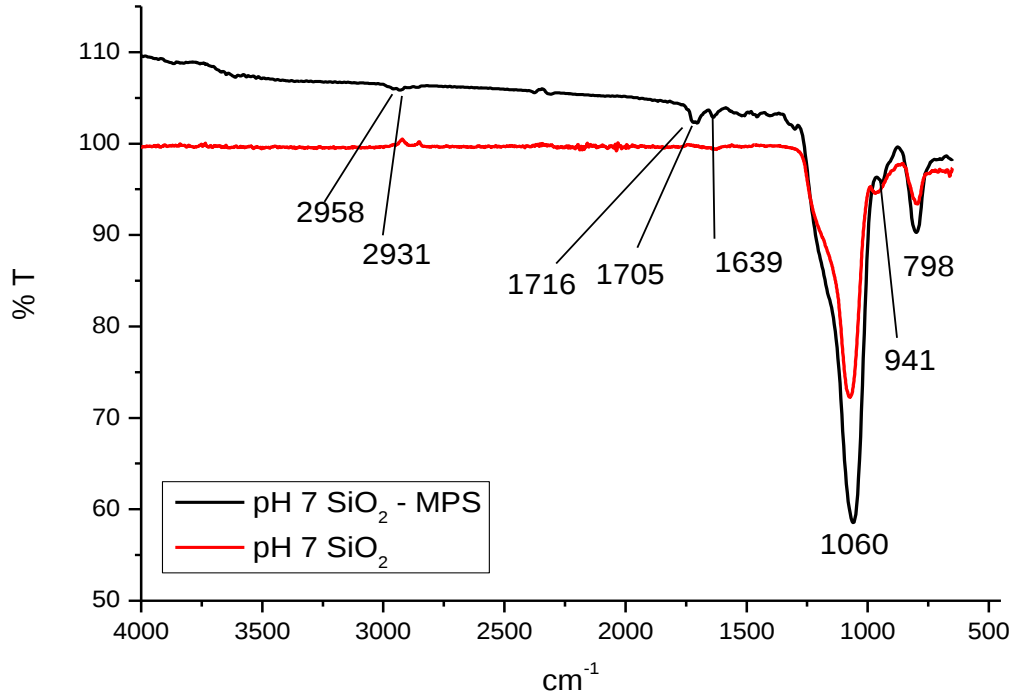
Silan ile modifikasyon işlemi sonrası numuneler FT-IR ile karakterize edildi. γ -MPS ile modifiye edilen silika tozlarının FT-IR spektrumları pH 4, 7 ve 9'da üretilen silika tozları için sırasıyla Şekil 5. 24, 5. 25 ve 5. 26'da verilmiştir.



Şekil 5. 24 pH 4'te üretilen SiO_2 toz numunesi ve γ -MPS ile modifiye edilmiş pH 4'te üretilen SiO_2 toz numunesinin FT-IR spektrumları

γ -MPS ile modifiye edilen silika tozlarının FT-IR spektrumlarında γ -MPS kaynaklı absorpsiyon bandları görülmektedir. γ -MPS ile modifiye edilen ve pH 4 SiO_2 -MPS olarak kısaltılan pH 4'te üretilen silika numunesinin FT-IR spektrumunda silika piklerinin yanı sıra 2954, 2931, 1701 ve 1635 cm^{-1} 'de pikler görülmektedir. 3000 ve 2800 cm^{-1} arasında silan kaynaklı C-H gerilme modları görülmektedir [128]. 1635 cm^{-1} 'de görünen bandın γ -MPS (silan) molekülündeki C=C bağının gerilme titreşiminden kaynaklandığı literatürde belirtilmektedir [25]. Bununla birlikte bu band silika yüzeyine adsorplanmış su bandı ile örtüşmektedir [28]. Bu nedenle silan ile modifiye edilmeyen pH 4 SiO_2 tozunun FT-IR spektrumunda da bu band görülmektedir. 1701 cm^{-1} 'deki pik silan

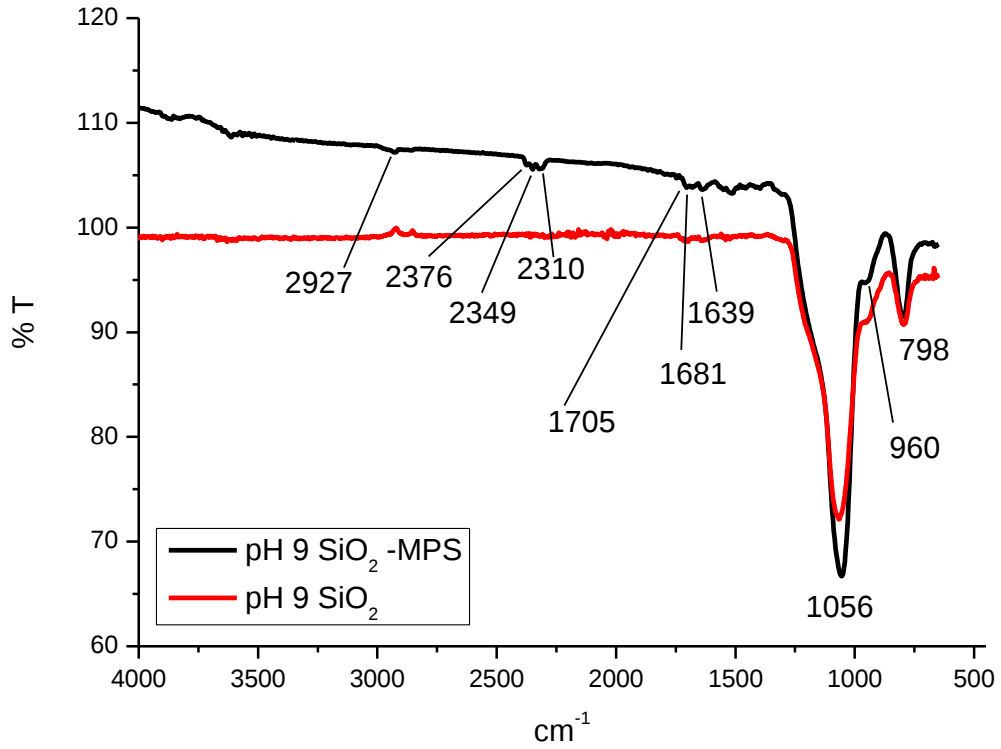
molekülünün C=O grubundan kaynaklanmaktadır ve silika ya da diğer silan hidroksilleri ile hidrojen bağı yapmış karbonil gruplarının karakteristik pikidir [25].



Şekil 5. 25 pH 7’de üretilen SiO₂ toz numunesi ve γ -MPS ile modifiye edilmiş pH 7’de üretilen SiO₂ toz numunesinin FT-IR spektrumları

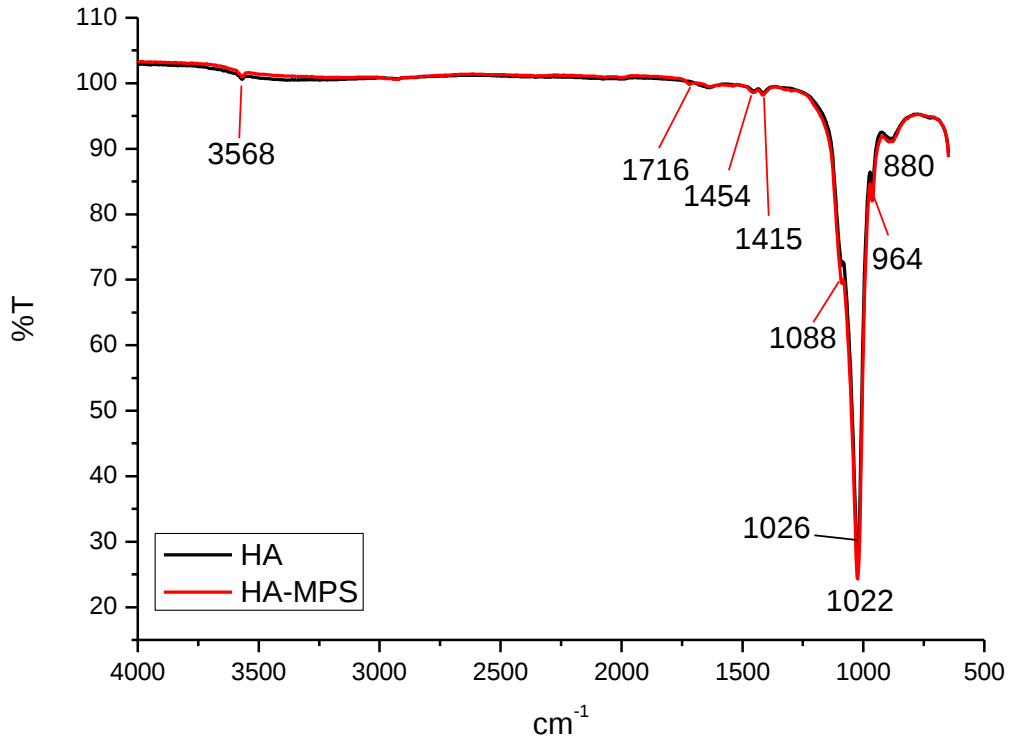
γ -MPS ile modifiye edilen ve pH 7 SiO₂-MPS olarak kısaltılan pH 7’de üretilen silika numunesinin FT-IR spektrumunda pH 4 SiO₂-MPS FT-IR spektrumuna benzer olarak 2958, 2931, 1716, 1705 ve 1639 cm⁻¹’de pikler görülmektedir. 2958 ve 2931 cm⁻¹’deki pikler C–H gerilme modlarından kaynaklanmaktadır [128]. 1716 cm⁻¹’deki pik serbest karbonil gerilme titreşimi ve 1705 cm⁻¹’deki pik ise hidrojen bağlı karbonil grubunun karakteristik pikidir [25].

γ -MPS ile modifiye edilen ve pH 9 SiO₂-MPS olarak kısaltılan pH 9’da üretilen silika numunesinin FT-IR spektrumunda pH 4 SiO₂-MPS FT-IR spektrumuna benzer olarak 2927, 1705 ve 1639 cm⁻¹’de pikler görülmektedir. 2927 cm⁻¹’deki pik C–H gerilme modlarından kaynaklanmaktadır [128]. 1705 cm⁻¹’deki pik hidrojen bağlı karbonil grubunun karakteristik pikidir [25]. FT-IR sonuçları değerlendirildiğinde γ -MPS molekülünün silika yüzeyine bağlandığı söylenebilir.



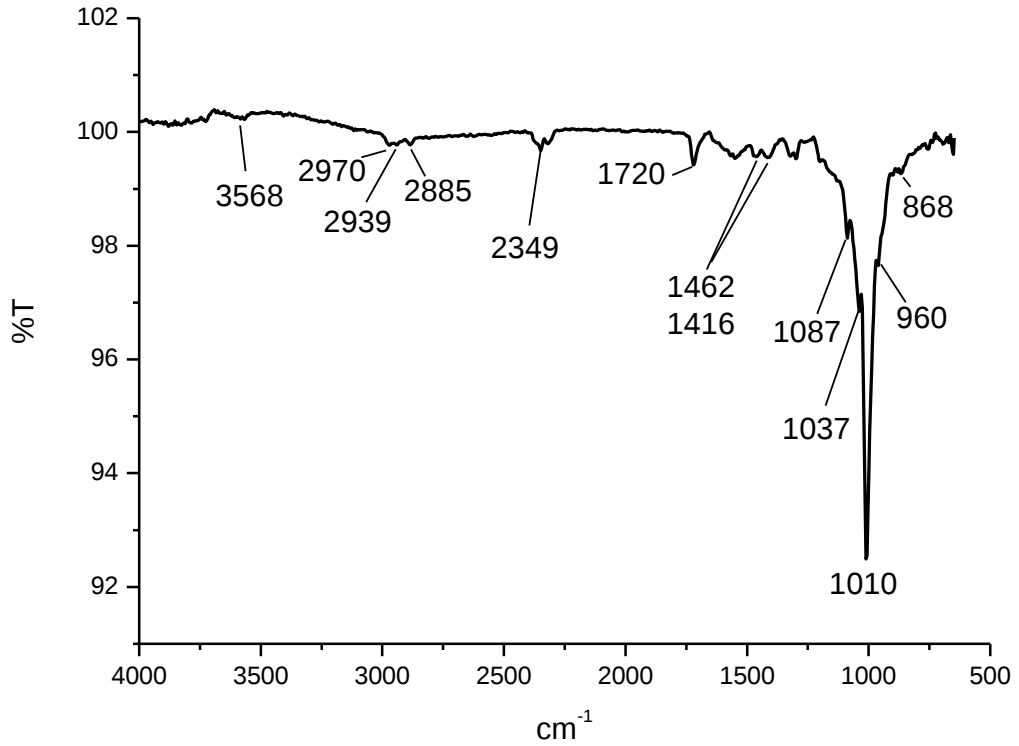
Şekil 5. 26 pH 9’da üretilen SiO_2 toz numunesi ve γ -MPS ile modifiye edilmiş pH 9’da üretilen SiO_2 toz numunesinin FT-IR spektrumları

HA tozunun FT-IR spektrumu γ -MPS ile modifiye edilen HA tozunun FT-IR spektrumu ile karşılaştırıldığında HA karakteristik piklerinin yanı sıra 1716 cm^{-1} ’de γ -MPS kaynaklı serbest karbonil gerilme titreşimi küçük bir pik olarak görülmektedir (Şekil 5. 27). 1022 cm^{-1} ’deki pikin şiddeti çok yüksek olduğundan HA tozuna % 10 olacak şekilde ilave edilen γ -MPS’nin bağlanmasından kaynaklanan değişimin daha net bir şekilde görülebilmesi amacıyla HA tozu kör olarak kullanılarak γ -MPS ile modifiye edilen HA tozunun FT-IR spektrumu tekrar alındı. Elde edilen spektrum Şekil 5. 28’de verilmiştir.



Şekil 5. 27 HA ve γ -MPS modifiye HA tozunun FT-IR spektrumları

Şekil 5. 27’de HA tozunun karakteristik pikleri de görülebilmektedir. 3568 cm^{-1} ’de görülen zayıf band HA yapısal OH^- iyonlarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır [129]. PO_4^{3-} grubu pikleri 1088 , 1026 ve 964 cm^{-1} ’de görülmektedir [130]. 1454 ve 1415 cm^{-1} ’deki piklerin HA yapısındaki karbonat safsızlıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir [131]. Şekil 5. 28’de verilen spektrumda γ -MPS kaynaklı pikler daha belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Şekil 5. 27’de verilen FT-IR spektrumunda belirgin olmayan 3000 ve 2800 cm^{-1} arasındaki pikler (2970 , 2939 ve 2885 cm^{-1}) Şekil 5. 28’de görülebilmektedir ve γ -MPS kaynaklı C – H gerilme modlarıdır. 1720 cm^{-1} ’deki pik γ -MPS serbest karbonil gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır [128]. Bu veriler ışığında γ -MPS’nin HA yüzeyine bağlandığı söylenebilir.



Şekil 5. 28 γ -MPS modifiye HA tozunun HA ile kör alındıktan sonraki FT-IR spektrumu

5.4 Dental Kompozitlerin Fiziksel Özellikleri

5.4.1 Mekanik Test Sonuçları

5.4.1.1 Vickers Sertlik Testi Sonuçları

pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Vickers Sertlik Sonuçları

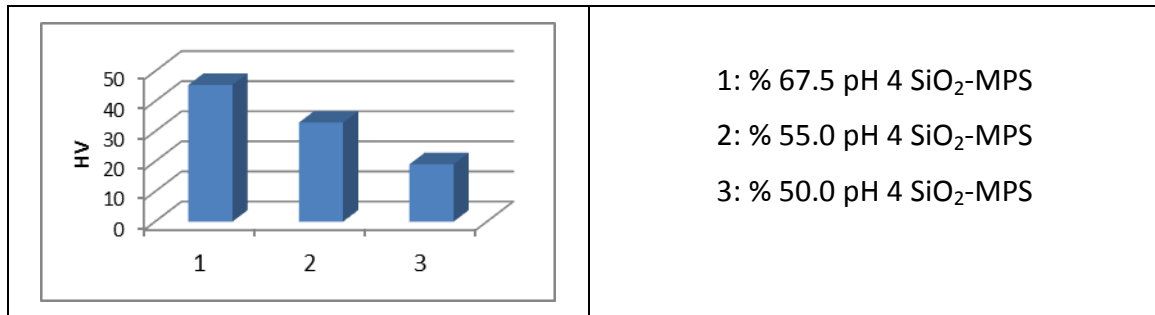
γ -MPS ile modifiye edilen ve pH 4'te üretilen silika (pH 4 SiO_2 -MPS) tozlarını içeren, inorganik bileşimi ve miktarı farklı toplam 16 kompozit karışım hazırlandı. Bu kompozit karışımlardan 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olarak numaralandırılan kompozitlerin inorganik kısmı sadece pH 4 SiO_2 -MPS tozlarından oluşturuldu (Çizelge 5. 18). Grup numaraları 4 – 3, 4 – 4, 4 – 5 ve 4 – 6 olan kompozit karışımlar toplam inorganik içeriği sırasıyla % 70.0, 67.5, 60.0 ve 57.5 olacak şekilde hazırlandı. Bu kompozitler, pH 4 SiO_2 -MPS ve γ -MPS modifiye HA (HA-MPS) tozlarını birlikte içermektedir. 1, 2 ve 3 olarak alt gruplara

ayrılan bu kompozit karışımların inorganik kısımları sırasıyla % 75.0, 50.0 ve 25.0 pH 4 SiO₂-MPS ve yine sırasıyla % 25.0, 50.0 ve 75.0 HA-MPS'den oluşturuldu (Çizelge 5. 19). 4 – 7 – AZT olarak adlandırılan kompozit karışımın toplam inorganik içeriği % 50.0, inorganik bileşimi ise % 94.5 pH 4 SiO₂-MPS, % 2.5 Al₂O₃, % 2.5 ZrO₂ ve % 0.5 TiO₂ olacak şekilde hazırlandı (Çizelge 5. 21). Sonuçlar Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ve Tukey HSD ($\alpha = 0.05$) çoklu karşılaştırma testi kullanılarak kıyaslandı. İkili karşılaştırmalarda T-Testi ($\alpha = 0.05$) kullanıldı. Analizlere ait tablolar EK-A'da verilmiştir.

Çizelge 5. 18 pH 4 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin Vickers sertlik değerleri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşim (% Ağırlık)	Vickers Sertlik (HV)*
			SiO ₂	
4 – 1	32.5	67.5	100.0	45.44 (6.97) ^a
4 – 2	45.0	55.0	100.0	32.90 (4.58) ^b
4 – 7	50.0	50.0	100.0	19.06 (0.87) ^c

Sadece pH 4 SiO₂-MPS tozlarını içeren 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 numaralı kompozitlerin inorganik içerikleri sırasıyla % 67.0, % 55.0 ve % 50.0'dır. Bu kompozitlerin inorganik içeriklerine bağlı olarak Vickers sertlik (HV) değişim grafikleri Şekil 5. 29'da verilmiştir. Kompozit inorganik içeriğindeki artış ile Vickers serliğinin de arttığı görülmektedir. Sadece pH 4 SiO₂-MPS'den oluşturulan kompozit malzemeler arasında en yüksek inorganik içeriğine (% 67.5) sahip 4 – 1 numaralı kompozit numunenin HV değeri 45.44 olarak ölçüldü.



Şekil 5. 29 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı Vickers sertlik grafiği

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Yapılan Varyans Analizine (ANOVA) göre, 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 gruplarının ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma vardır. Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre tüm grup ortalamaları % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklılaşmaktadır.

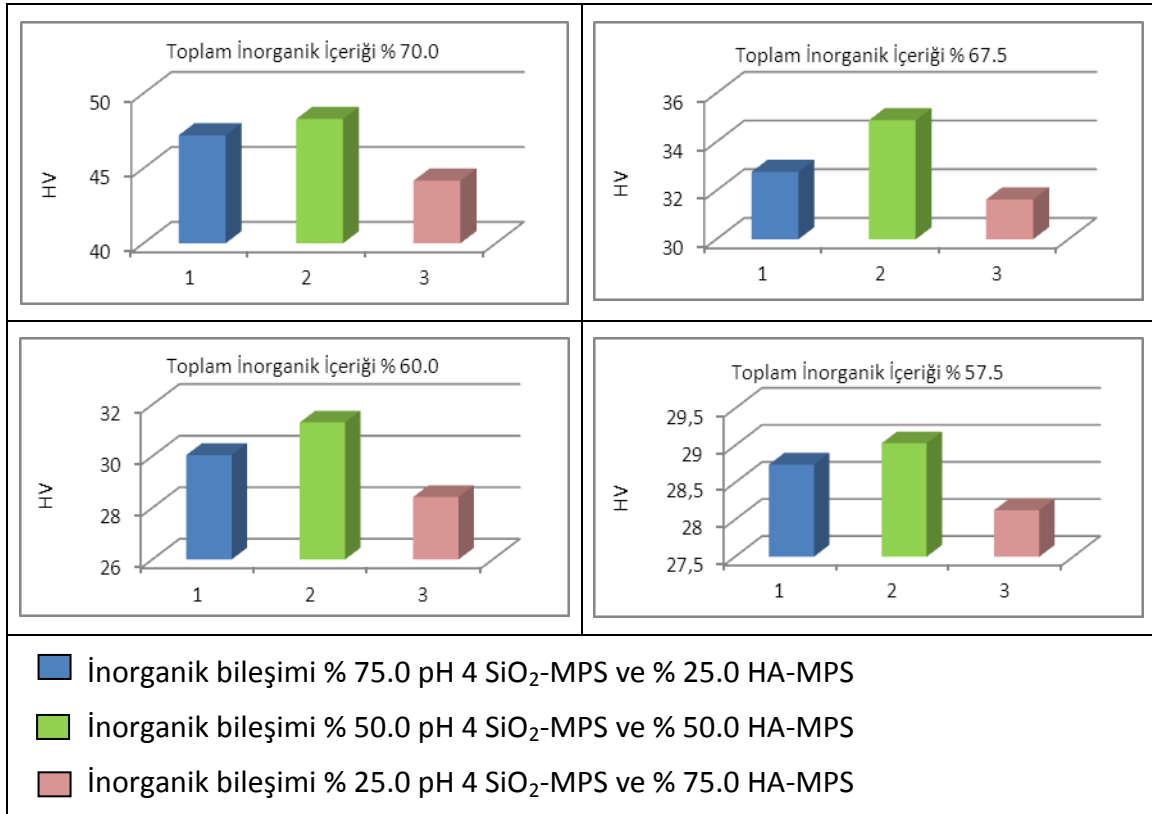
Çizelge 5. 19 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozları ile hazırlanan deneysel kompozitlerin Vickers sertlik değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)		Vickers Sertlik (HV)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
4 – 3	1	30.0	70.0	75.0	25.0	47.20 (5.21) ^a
	2			50.0	50.0	48.29 (5.62) ^a
	3			25.0	75.0	44.17 (3.08) ^a
4 – 4	1	32.5	67.5	75.0	25.0	32.77 (5.01) ^{a,b}
	2			50.0	50.0	34.89 (2.15) ^b
	3			25.0	75.0	31.63 (2.99) ^a
4 – 5	1	40.0	60.0	75.0	25.0	30.05 (2.21) ^{a,b}
	2			50.0	50.0	31.31 (2.02) ^b
	3			25.0	75.0	28.42 (1.26) ^a
4 – 6	1	42.5	57.5	75.0	25.0	28.74 (3.36) ^a
	2			50.0	50.0	29.03 (3.63) ^a
	3			25.0	75.0	28.13 (2.89) ^a

Grup numaraları 4 – 3, 4 – 4, 4 – 5 ve 4 – 6 olan kompozit numunelerin pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimlerine bağlı olarak Vickers sertlik grafikleri Şekil 5. 30'da verilmiştir. Toplam inorganik içeriği % 70.0, 67.5, 60.0 ve 57.5 olan kompozitlerin tamamında en yüksek HV değerleri pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimi % 50.0 – 50.0 olan (alt grup no: 2) kompozitlerde ölçüldü. Bununla birlikte 4 – 3 ve 4 – 6 gruplarının HV ortalamaları arasında pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimine bağlı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı (% 95 güven düzeyinde) yapılan ANOVA analizi ile belirlendi. Grup 4 – 4 ve 4 – 5 numunelerinde ise alt grup 2 ve 3 ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel farklılık olduğu yapılan ANOVA ve Tukey HSD analizleri ile belirlendi.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Buna göre bu kompozitlerde pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS oranındaki değişime bağlı olarak mikro-sertlik değişmemiştir. % 67.5 ve % 60.0 inorganik içeren kompozitlerde alt grup 2 alt grup 3'ten farklıdır. Ancak alt grup 3 alt grup 1'den farklı değildir. Yani inorganik bileşiminin % 75.0'ı pH 4 SiO₂-MPS olan kompozit HV değeri % 25.0'ı pH 4 SiO₂-MPS olan kompozit HV değerinden istatistiksel olarak farklılaşmamaktadır.



Şekil 5. 30 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri

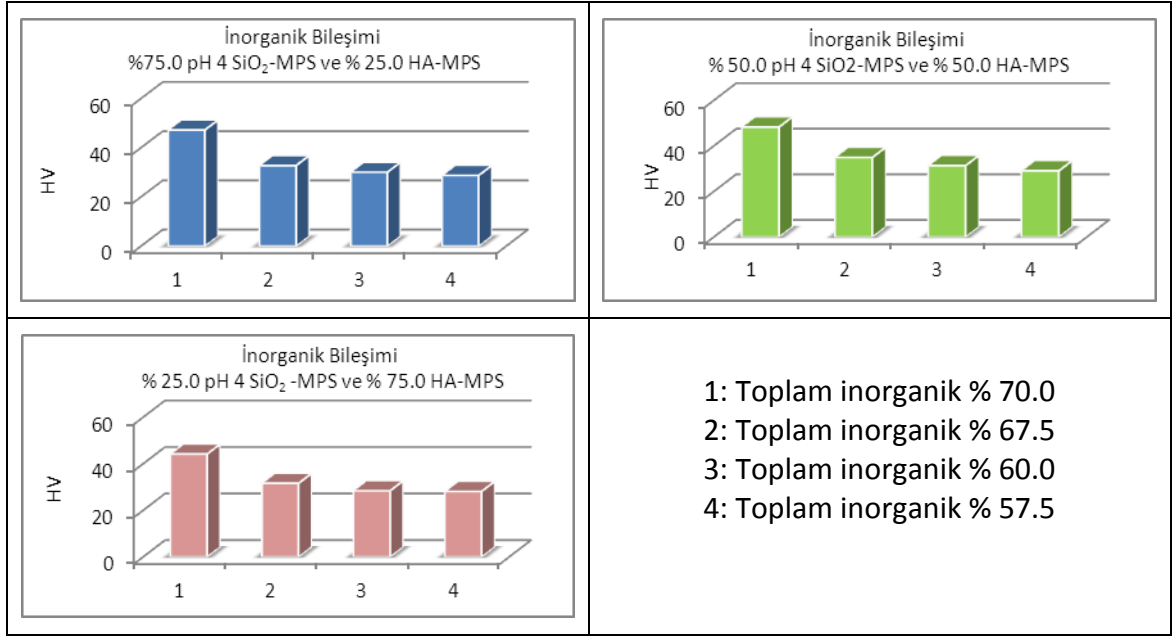
Grup numaraları 4 – 3, 4 – 4, 4 – 5 ve 4 – 6 olan kompozit numunelerin toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri ve grafikleri Çizelge 5. 20 ve Şekil 5. 31'de verilmiştir. Toplam inorganik içeriği % 70.0, 67.5, 60.0 ve 57.5 olan kompozitlerin tamamında HV değerinin kompozit inorganik içeriğinin artması ile arttığı görülmektedir. pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimi sırasıyla % 75.0 ve % 25.0 olan ve alt grup 1 olarak ayrılan bu kompozitlerin ANOVA analizi sonucunda HV ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma olduğu görüldü. Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ile farklılığın inorganik içeriği % 70.0 olan 4

– 3 numaralı kompozitten kaynaklandığı belirlendi. Buna göre inorganik bileşen olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS'yi sırasıyla % 75.0 ve % 25.0 oranında içeren kompozitler arasında 4 – 3 numaralı kompozit HV ortalaması % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklıdır. Aynı şekilde alt grup 2 kompozitlerde de toplam inorganik içeriği % 70.0 olan 4 – 3 numaralı kompozit HV ortalaması inorganik içeriği % 67.5, 60.0 ve 57.5 olan kompozitlerin HV ortalamalarından anlamlı bir şekilde farklıdır. İnorganik içeriği % 67.5 olan 4 – 4 kompozit HV ortalaması ile inorganik içeriği % 60.0 olan 4 – 5 kompozit HV ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma olmadığı halde inorganik içeriği % 57.5 olan kompozit HV ortalaması arasında farklılaşma vardır. İnorganik içeriği % 60.0 olan 4 – 5 kompozit HV ortalamaları ile inorganik içeriği % 57.5 olan kompozit HV ortalamaları arasında anlamlı bir farklılaşma olmadığı gerçekleştirilen ANOVA ve Tukey HSD analizleri ile belirlendi. Alt grup 3 kompozitlerde 4 – 3 ve 4 – 4 kompozitlerinin HV ortalamaları birbirinden farklıdır. Bu kompozitlerin her ikisinin de HV ortalamaları 4 – 5 ve 4 – 6 kompozitlerinin HV ortalamalarından % 95 güven düzeyinde farklıdır. 4 – 5 ve 4 – 6 kompozitlerinin HV ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olmadığı ANOVA ve Tukey HSD analizleri ile belirlendi.

Çizelge 5. 20 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı Vickers sertlik değerleri

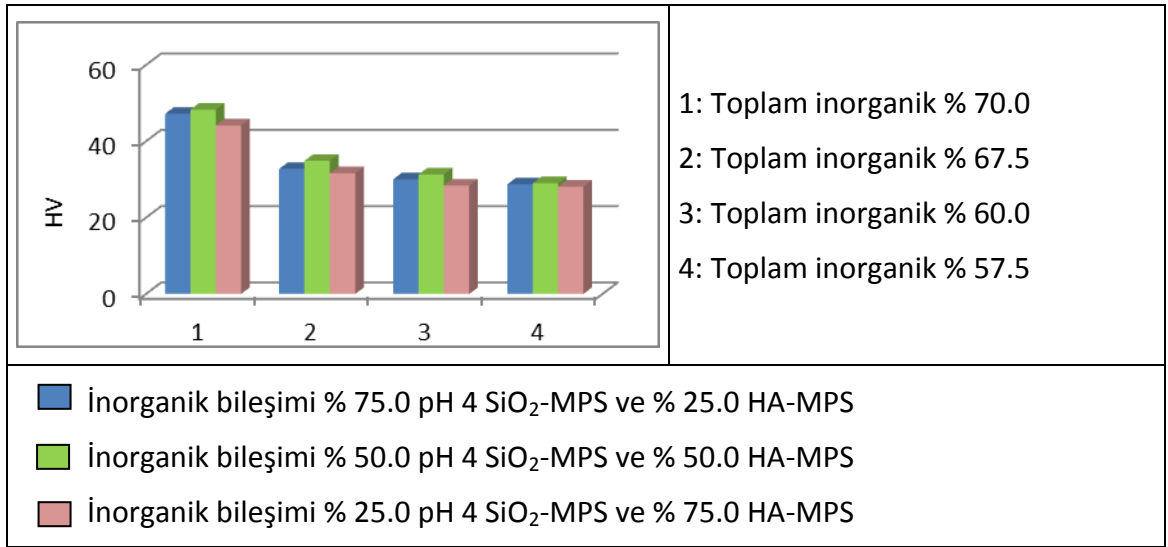
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Vickers Sertlik (HV)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
4 – 3	30.0	70.0	47.20 (5.21) ^b	48.29 (5.62) ^c	44.17 (3.08) ^c
4 – 4	32.5	67.5	32.77 (5.01) ^a	34.89 (2.15) ^b	31.63 (2.99) ^b
4 – 5	40.5	60.0	30.05 (2.21) ^a	31.31 (2.02) ^{a,b}	28.42 (1.26) ^a
4 – 6	42.5	57.5	28.74 (3.36) ^a	29.03 (3.63) ^a	28.18 (2.89) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5. 31 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri

Şekil 5. 32’de pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren kompozitlerin Vickers sertlik değerleri birlikte verilmiştir. Görüldüğü gibi toplam inorganik içeriği en yüksek (% 70.0) olan 4 – 3 numaralı kompozit grup ile en yüksek Vickers sertlik değerleri elde edilmiştir. 4 – 3 numaralı kompozit grubu pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS oranı % 50.0 - % 50.0 olan (alt grup numarası 2) kompozit pH 4 SiO₂-MPS ile hazırlanan 16 kompozit karışım içerisinde 48.29 ortalama Vickers sertlik sayısı ile en yüksek sertlik değerine sahip kompozit numunedir. Bununla birlikte 4 – 3 grup numaralı kompozitin 1, 2 ve 3 numaralı alt grupları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma yoktur. Buna göre pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS oranına bağlı bir farklılaşma söz konusu değildir. Kompozitlerin mikro-sertlikleri inorganik içeriğine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 5. 32 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri

pH 4 SiO₂-MPS'ye ek olarak Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ içeren kompozit HV değeri sadece pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozitin HV değeri ile birlikte Çizelge 5. 21'de verilmiştir. Bu iki kompozit numune HV değerleri % 95 güven düzeyinde farklıdır (T-testi) ve Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ ilavesi ile kompozit mikro-sertliğinin iyileştiği görülmektedir.

Çizelge 5. 21 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren ve pH 4 SiO₂-MPS'nin yanısıra Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ içeren kompozitlerin Vickers Sertlikleri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)					Vickers Sertlik (HV)
			SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
4 – 7	50.0	50.0	100.0	-	-	-	-	19.06 (0.87) ^a
4 – 7 –AZT	50.0	50.0	94.5	-	2.5	2.5	0.5	24.69 (3.07) ^b

pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Vickers Sertlik Sonuçları

γ-MPS ile modifiye edilen ve pH 7'de üretilen silika (pH 7 SiO₂-MPS) tozlarını içeren, inorganik bileşimi ve miktarı farklı toplam 5 kompozit karışım hazırlandı. Bu kompozit karışımlardan 7 – 1 olarak numaralandırılan kompozitin inorganik kısmı sadece pH 7 SiO₂-MPS tozlarından oluşturuldu (Çizelge 5. 22).

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Grup numarası 7 – 2 olan kompozit karışımların toplam inorganik içeriği % 57.5 olacak şekilde hazırlandı. Bu kompozitler pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içermektedir. 1, 2 ve 3 olarak alt gruplara ayrılan bu kompozit karışımların inorganik kısımları sırasıyla % 75.0, 50.0 ve 25.0 pH 7 SiO₂-MPS ve yine sırasıyla % 25.0, 50.0 ve 75.0 HA-MPS'den oluşturuldu. 7 – 2 – AZT olarak adlandırılan kompozit karışımın toplam inorganik içeriği % 57.5, inorganik bileşimi ise % 75.0 pH 7 SiO₂-MPS, % 19.5 HA-MPS, % 2.5 Al₂O₃, % 2.5 ZrO₂ ve % 0.5 TiO₂ olacak şekilde hazırlandı. Bu kompozitlerin Vickers Sertlik değerleri Çizelge 5. 23'te verilmiştir.

Çizelge 5. 22 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozit Vickers sertlik değeri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Vickers Sertlik (HV)
			SiO ₂	
7 – 1	50.0	50.0	100.0	16.38 (2.10)

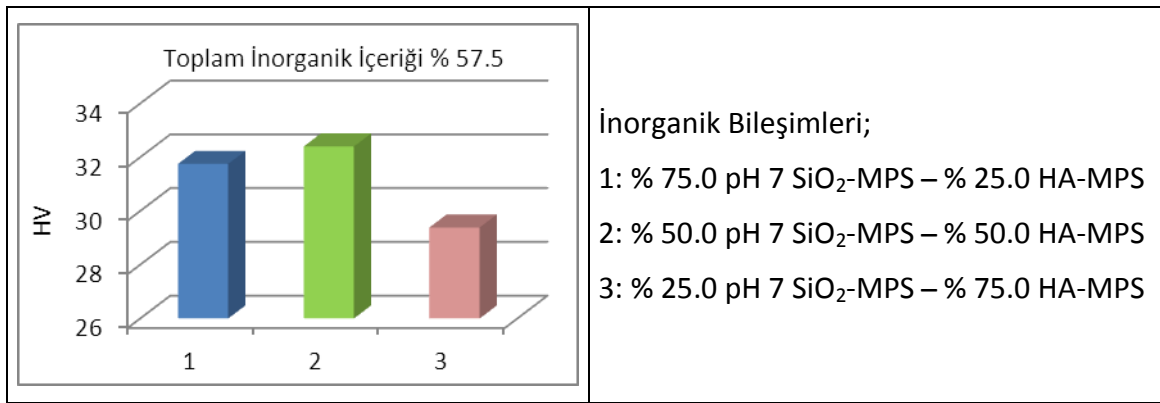
Çizelge 5. 23 pH 7 SiO₂-MPS, HA-MPS ve Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ içeren dental kompozitlerin Vickers sertlik değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)					Vickers Sertlik (HV)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
7 – 2	1	42.5	57.5	75.0	25.0	-	-	-	31.75 ^a (2.11)
	2			50.0	50.0	-	-	-	32.40 ^a (2.21)
	3			25.0	75.0	-	-	-	29.39 ^b (1.38)
7 – 2 – AZT	1	42.5	57.5	75.0	19.5	2.5	2.5	0.5	31.88 ^a (2.78)

Şekil 5. 33'de toplam inorganik içeriği % 57.5 ve kompozit grup numarası 7 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertlik grafiği verilmiştir.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS ile hazırlanan bu kompozit karışımlarda en yüksek Vickers sertlik sayısı 32.40 olarak alt grup numarası 2 (% 50.0 pH 7 SiO₂-MPS ve % 50.0 HA-MPS) olan kompozit karışımda elde edildi. Bu değer aynı zamanda pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozit karışımların tamamında elde edilen en yüksek Vickers sertlik değeridir. Varyans Analizi (ANOVA) sonucuna göre 7 – 2 numaralı kompozit grup alt grupları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma vardır. Yapılan Tukey HSD testi ile farklılaşmanın 3 numaralı alt gruptan kaynaklandığı belirlendi. Bu kompozitlere Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ ilavesi mikro-sertlik değerinde bir iyileştirmeye sebep olmamıştır.



Şekil 5. 33 pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı Vickers sertlik değerleri

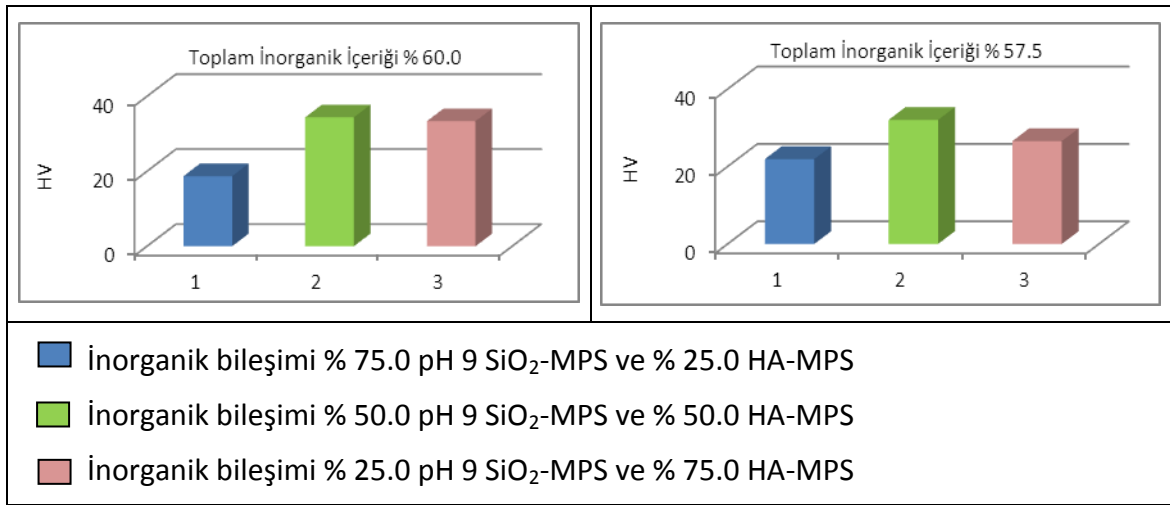
pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Vickers Sertlik Sonuçları

γ-MPS ile modifiye edilen ve pH 9'da üretilen silika (pH 9 SiO₂-MPS) tozlarını içeren, inorganik bileşimi ve miktarı farklı toplam 8 kompozit karışım hazırlandı. Bu kompozit karışımlardan 9 – 1 ve 9 – 4 olarak numaralandırılan kompozitlerin inorganik kısmı sadece pH 9 SiO₂-MPS tozlarından oluşturuldu. Grup numaraları 9 – 2 ve 9 – 3 olan kompozit karışımlar toplam inorganik içeriği sırasıyla % 60.0 ve 57.5 olacak şekilde hazırlandı. Bu kompozitler pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içermektedir. 1, 2 ve 3 olarak alt gruplara ayrılan bu kompozit karışımların inorganik kısımları sırasıyla % 75.0, 50.0 ve 25.0 pH 9 SiO₂-MPS ve yine sırasıyla % 25.0, 50.0 ve 75.0 HA-MPS'den oluşturuldu. Bu kompozitlerin Vickers sertlik değerleri Çizelge 5. 24'de verilmiştir.

Çizelge 5. 24 pH 9 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin Vickers sertlik değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)		Vickers Sertlik (HV)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
9 – 1	-	45.0	55.0	100.0	-	-
9 – 2	1	40.0	60.0	75.0	25.0	18.70 (3.89) ^a
	2			50.0	50.0	34.38 (3.71) ^b
	3			25.0	75.0	33.37 (3.62) ^b
9 – 3	1	42.5	57.5	75.0	25.0	21.90 (4.55) ^a
	2			50.0	50.0	32.01 (3.42) ^b
	3			25.0	75.0	26.53 (5.60) ^c
9 – 4	-	50.0	50.0	100.0	-	-

Grup numaraları 9 – 1 ve 9 – 4 olan ve inorganik kısmı sadece pH 9 SiO₂-MPS tozlarından oluşturulan kompozit karışımlar tamamen sertleşmediğinden bu kompozitlerin Vickers sertlik sayıları ölçülemedi.



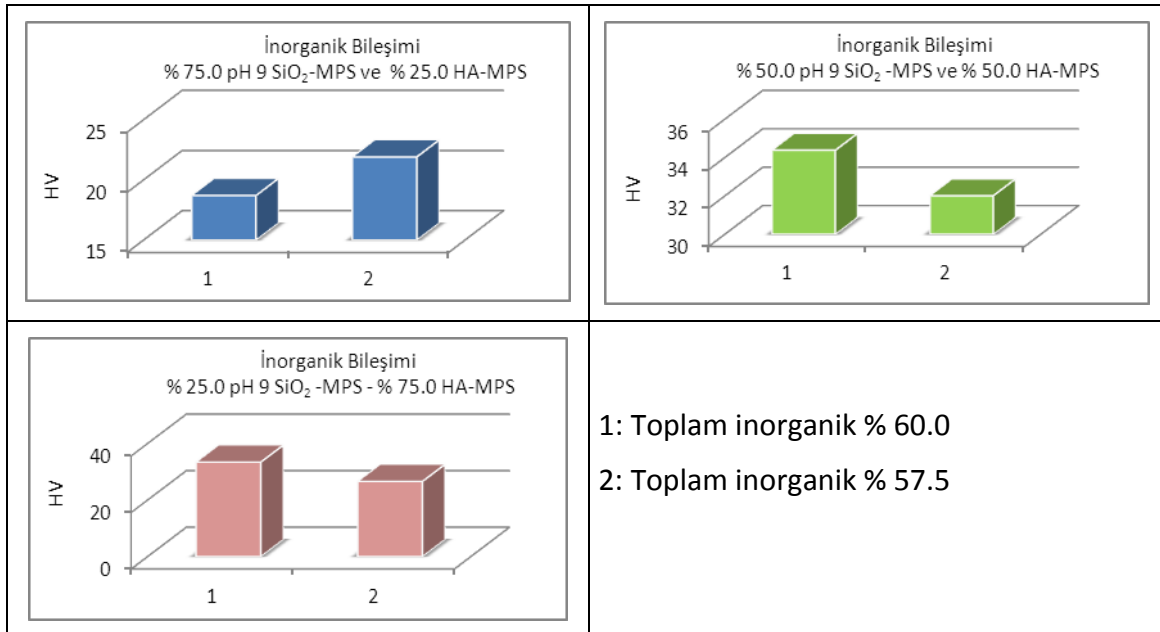
Şekil 5. 34 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA bileşimlerine bağlı Vickers sertlik değerleri

İnorganik içeriği % 60.0 ve % 57.5 olan kompozit grupların (sırasıyla, grup no: 9 – 2 ve 9 – 3) her ikisinde de inorganisinin % 75.0'ı pH 9 SiO₂-MPS olan alt grupların (alt grup 1) HV değerleri % 50.0 ve % 25.0 pH 9 SiO₂-MPS içeren (sırasıyla, alt grup 2 ve 3) kompozitlerin HV değerlerinden düşüktür (Çizelge 5. 24, Şekil 5. 34).

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Yapılan Varyans Analizine (ANOVA) göre grup numarası 9 – 2 olan kompozitlerde alt grup 1, 2 ve 3 HV ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel farklılaşma vardır. Uygulanan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre alt grup 1 % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklıdır. Grup numarası 9 – 3 olan kompozitlerde alt grup 1, 2 ve 3 ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel farklılaşma vardır (ANOVA). Uygulanan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre tüm alt grup ortalamaları % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklılaşmaktadır.

Grup numaraları 9 – 2 ve 9 – 3 olan kompozitlerin toplam inorganik içeriklerine bağlı HV değerleri Çizelge 5. 25'te, grafikleri Şekil 5. 35'te verilmiştir. İnorganik içeriklerine bağlı olarak kompozit HV değerleri T-testi ile karşılaştırıldı. İnorganik bileşiminin % 75.0'ı pH 9 SiO₂-MPS ile oluşturulan alt grup 1 kompozitlerin ve inorganik bileşiminin % 50.0'ı pH 9 SiO₂-MPS ile oluşturulan alt grup 2 kompozitlerin HV değerlerinde inorganik içeriğine bağlı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma olmadığı belirlendi (güven düzeyi % 95). İnorganik bileşiminin % 25.0'ı pH 9 SiO₂-MPS ile oluşturulan alt grup 3 kompozitlerin HV değerlerinde ise inorganik içeriğine bağlı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma olduğu (güven düzeyi % 95) ve toplam inorganik içeriğindeki artış ile HV değerinin de arttığı belirlendi.

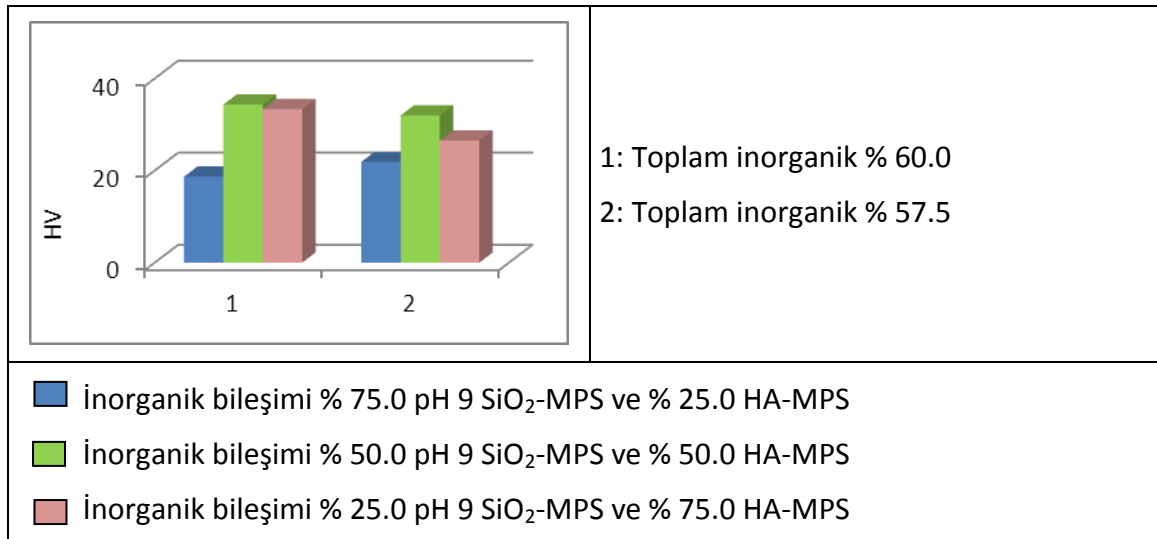


Şekil 5. 35 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri

Çizelge 5. 25 pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı Vickers sertlik değerleri

Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Vickers Sertlik (HV)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
9 – 2	40.0	60.0	18.70 (3.89) ^a	34.38 (3.71) ^a	33.37 (3.62) ^a
9 – 3	42.5	57.5	21.90 (4.55) ^a	32.01 (3.42) ^a	26.53 (2.99) ^b

Bu sonuçlar göz önüne alındığında pH 9’da üretilen silika tozlarının kompozit malzemenin mikro-sertliği üzerine negatif etkisi olduğu söylenebilir.

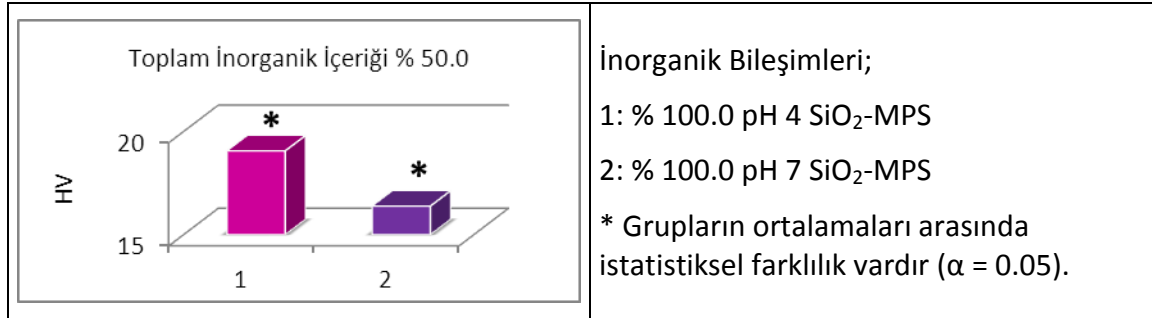


Şekil 5. 36 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı Vickers sertlik değerleri

Farklı pH değerlerinde üretilen silika tozlarının sertlik üzerine etkisini belirleyebilmek üzere sadece bu silika tozlarını % 50.0 oranda içeren kompozit karışımların HV değerleri karşılaştırıldı. pH 9 SiO₂-MPS ile hazırlanan kompozit karışım (grup no: 9 – 4) tam sertleşmediğinden bu kompozite ait HV değeri ölçülemedi (Şekil 5. 37). pH 4 SiO₂-MPS ile hazırlanan kompozitin (grup no: 4 – 7) pH 7 SiO₂-MPS ile hazırlanan kompozitten (grup no: 7 – 1) daha yüksek HV değerine sahip olduğu görüldü.

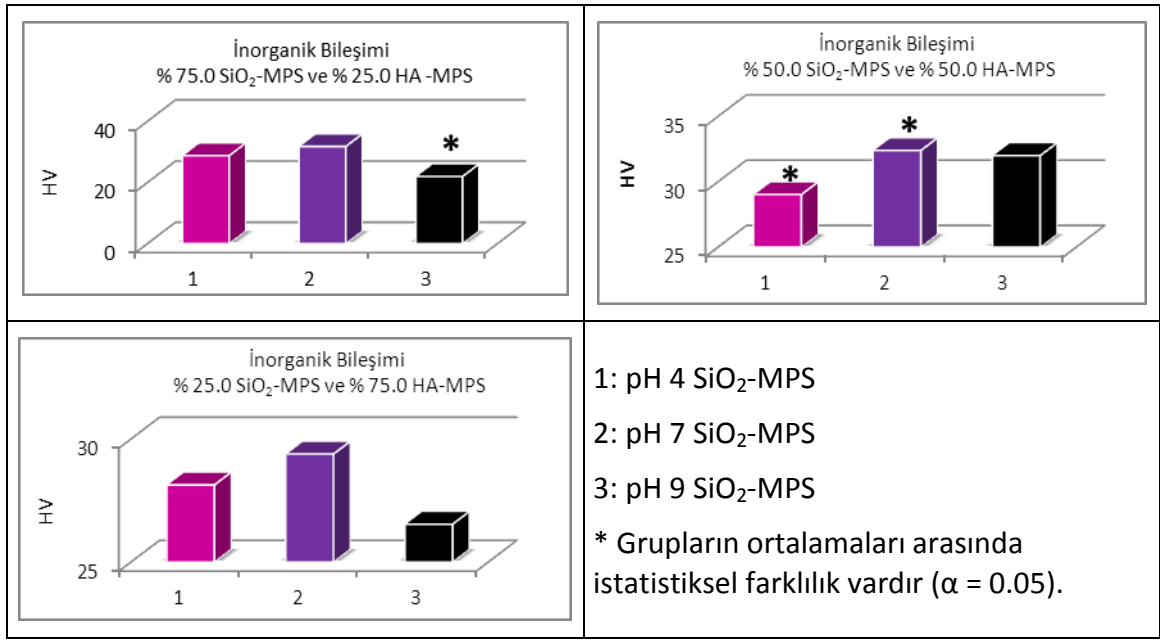
* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Uygulanan T-Testi sonucuna göre 4 – 7 ve 7 – 1 grup ortalamaları arasında %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı farklılık olduğu gözlemlendi. 4 – 7 grubunun ortalaması mikro-sertlik ortalaması 7 – 1 grubunun mikro-sertlik ortalamasından farklıdır.

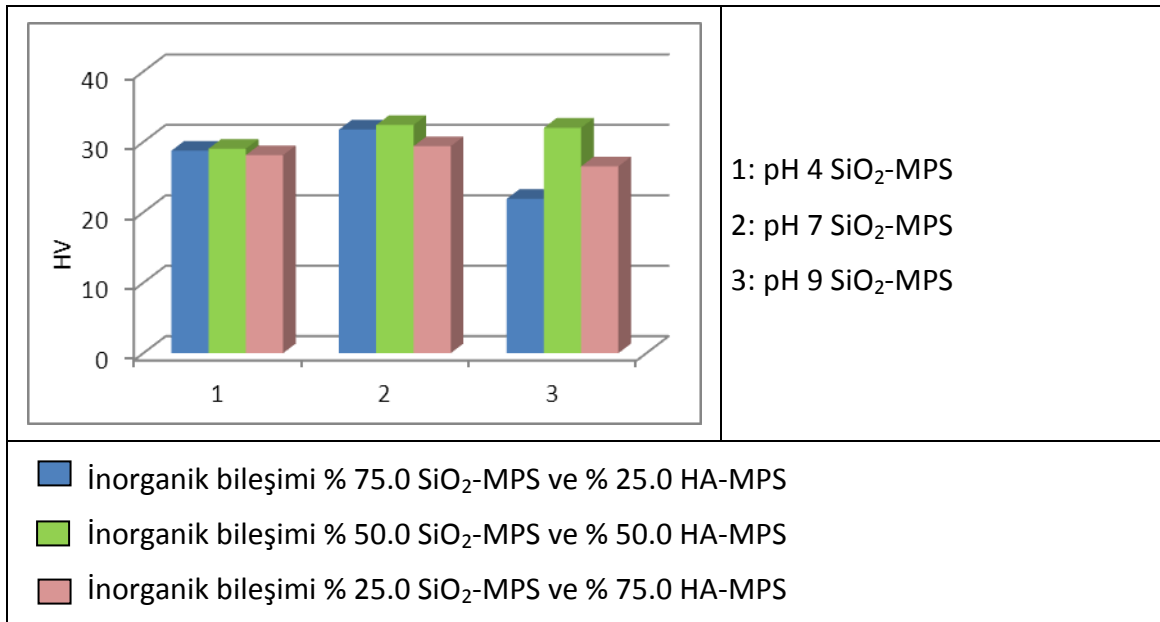


Şekil 5. 37 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganığı % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı Vickers sertlik grafiği

Toplam inorganik içeriği % 57.5 ve inorganik bileşimi farklı oranlarda pH 4 SiO₂-MPS, pH 7 SiO₂-MPS veya pH 9 SiO₂-MPS ile HA-MPS'den oluşturulan kompozitlerin HV değerlerindeki değişim kullanılan silika türü ve silika-hidroksiapatit oranına bağlı olarak Şekil 5. 38 ve 5. 39'da verilmiştir. Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan kompozitlerin tüm alt gruplarında pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS karışımı içeren 7 – 2 grup numaralı kompozitlerde en yüksek HV değeri elde edildi. % 50.0 pH 7 SiO₂-MPS ve % 50.0 HA-MPS (alt grup no: 2) ile hazırlanan kompozit 32.40 ortalama HV değeri ile bu kompozitler arasında en yüksek sertlik değerine sahiptir. Alt grup 1 kompozitlerde pH 9 SiO₂-MPS içeren kompozit HV değeri diğerlerinden istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde farklıdır. Alt grup 2 kompozitlerde pH 4 SiO₂-MPS ve pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin ortalama HV değerleri % 95 güven düzeyinde farklıdır (ANOVA ve Tukey HSD). Alt grup 3 kompozitlerin HV ortalamaları arasında ise % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur (ANOVA).



Şekil 5. 38 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı Vickers sertlik değerleri



Şekil 5. 39 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı Vickers sertlik değerleri

5.4.1.2 Üç-nokta Kırma Testi Sonuçları

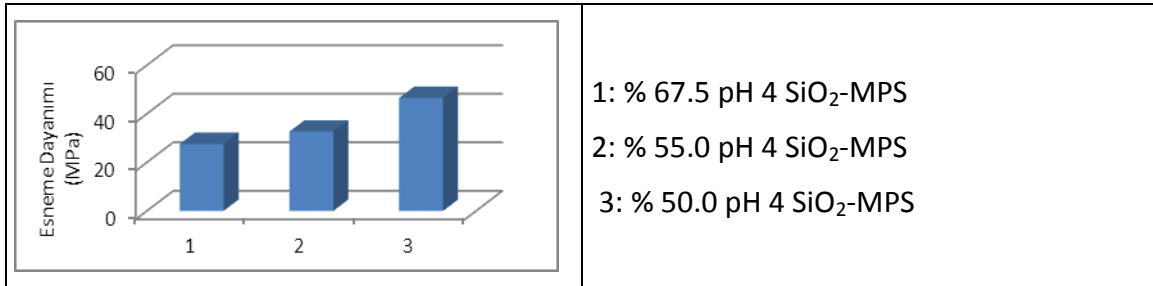
pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Esneme Dayanımı Sonuçları

pH 4 SiO₂-MPS tozlarını içeren kompozitlerin esneme dayanımı değerleri Çizelge 5. 26'da verilmiştir.

Çizelge 5. 26 pH 4 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin esneme dayanımı değerleri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Esneme Dayanımı (MPa)*
			SiO ₂	
4 – 1	32.5	67.5	100.0	27.58 (4.94) ^a
4 – 2	45.0	55.0	100.0	32.66 (3.95) ^a
4 – 7	50.0	50.0	100.0	46.52 (2.87) ^b

Sadece pH 4 SiO₂-MPS tozlarını % 67.5 (grup no: 4 – 1), 55.0 (grup no: 4 – 2) ve 50.0 (grup no: 4 – 7) oranında içeren kompozitlerin esneme dayanımı grafiği Şekil 5. 40'ta verilmiştir. Görüldüğü gibi 46.52 MPa değeri ile inorganik olarak sadece pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozitlerde en yüksek esneme dayanımı değeri inorganik içeriği % 50.0 olan kompozit ile elde edildi.



Şekil 5. 40 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH4 SiO₂-MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı esneme dayanımı değerleri

Yapılan Varyans Analizine (ANOVA) göre, 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 gruplarının esneme dayanımı ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma vardır.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre 4 – 7 grup numaralı kompozit esneme dayanımı ortalaması % 95 güven düzeyinde diğer grupların esneme dayanımı ortalamalarından istatistiksel olarak farklılaşmaktadır.

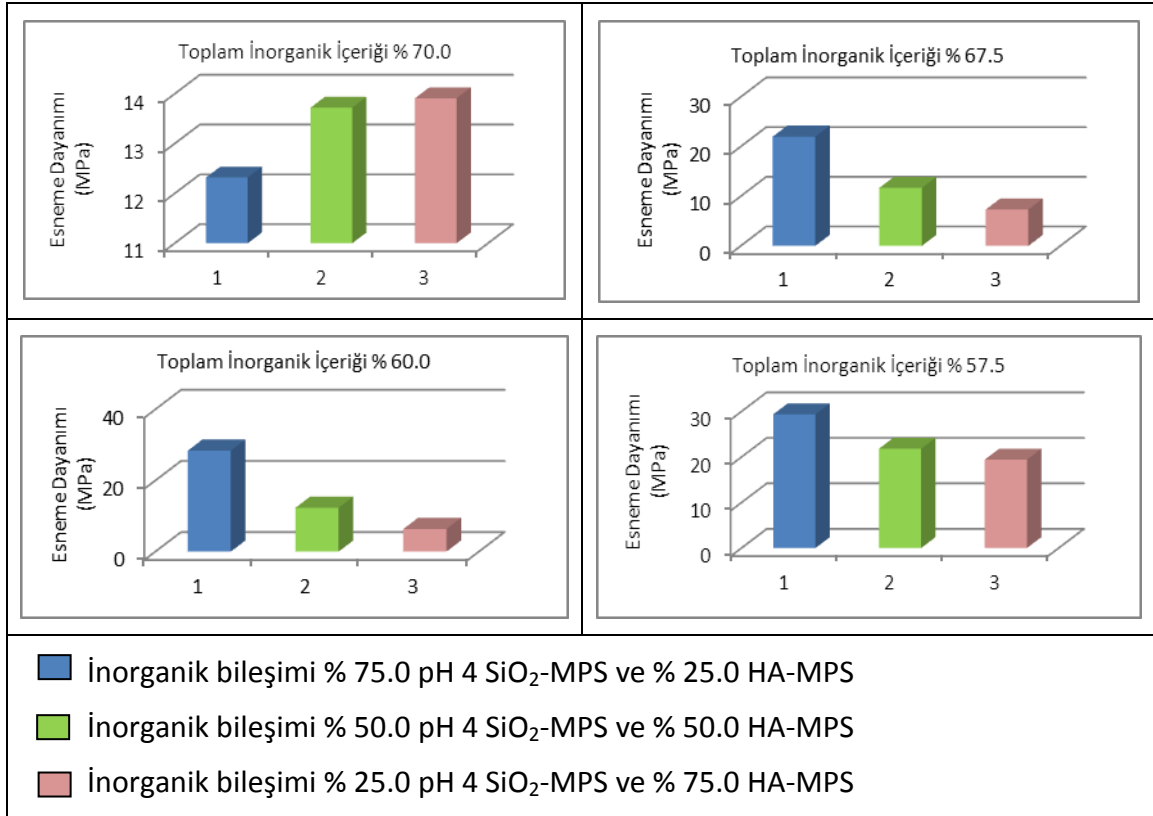
Çizelge 5. 27 İnorganik olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin esneme dayanımı değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)		Esneme Dayanımı (MPa)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
4 – 3	1	30.0	70.0	75.0	25.0	12.32 (0.61) ^a
	2			50.0	50.0	13.72 (3.65) ^a
	3			25.0	75.0	13.91 (5.48) ^a
4 – 4	1	32.5	67.5	75.0	25.0	21.99 (1.99) ^a
	2			50.0	50.0	11.67 (0.59) ^b
	3			25.0	75.0	7.33 (3.75) ^b
4 – 5	1	40.0	60.0	75.0	25.0	28.37 (3.48) ^a
	2			50.0	50.0	12.35 (3.25) ^b
	3			25.0	75.0	6.37 (1.83) ^b
4 – 6	1	42.5	57.5	75.0	25.0	29.37 (5.94) ^a
	2			50.0	50.0	21.82 (10.37) ^a
	3			25.0	75.0	19.41 (2.53) ^a

İnorganik bileşen olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren kompozitlerin (grup no: 4 – 3, 4 – 4, 4 – 5 ve 4 – 6) SiO₂ – HA içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri Çizelge 5. 27 ve Şekil 5. 41’de verilmiştir. Toplam inorganik içeriği % 70.0 (grup no: 4 – 3) olan kompozit numunenin HA-MPS içeriği arttıkça esneme dayanımında artma olduğu görülmekle birlikte yapılan ANOVA analizinde grup ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma olmadığı belirlendi. Toplam inorganik içerikleri % 67.5 (grup no: 4 – 4) ve 60.0 (grup no: 4 – 5) olan kompozitlerde esneme dayanımının pH 4 SiO₂-MPS içeriğinin artması ile arttığı görülmektedir. 57.5 (grup no: 4 – 6) olan kompozitlerde. ANOVA analizi neticesinde 4 – 4 ve 4 – 5 gruplarının ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma olduğu, 4 – 6 grup numaralı kompozitlerin ise grup ortalamaları arasında anlamlı bir farklılaşma olmadığı tespit edildi.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

4 – 4 ve 4 – 5 grup numaralı kompozitlere uygulanan Tukey HSD analizi ile farklılaşmanın inorganik bileşen olarak % 75.0 pH 4 SiO₂-MPS ve % 25.0 HA-MPS (alt grup no: 1) içeren kompozit gruplarından kaynaklandığı belirlendi. İnorganik olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerde en yüksek esneme dayanımı değeri (29.37 MPa) toplam inorganik içeriği % 57.5 (grup no: 4 – 6) ve bileşimi % 75.0 pH 4 SiO₂-MPS ve % 25.0 HA-MPS (alt grup no: 1) olan kompozitte elde edildi.



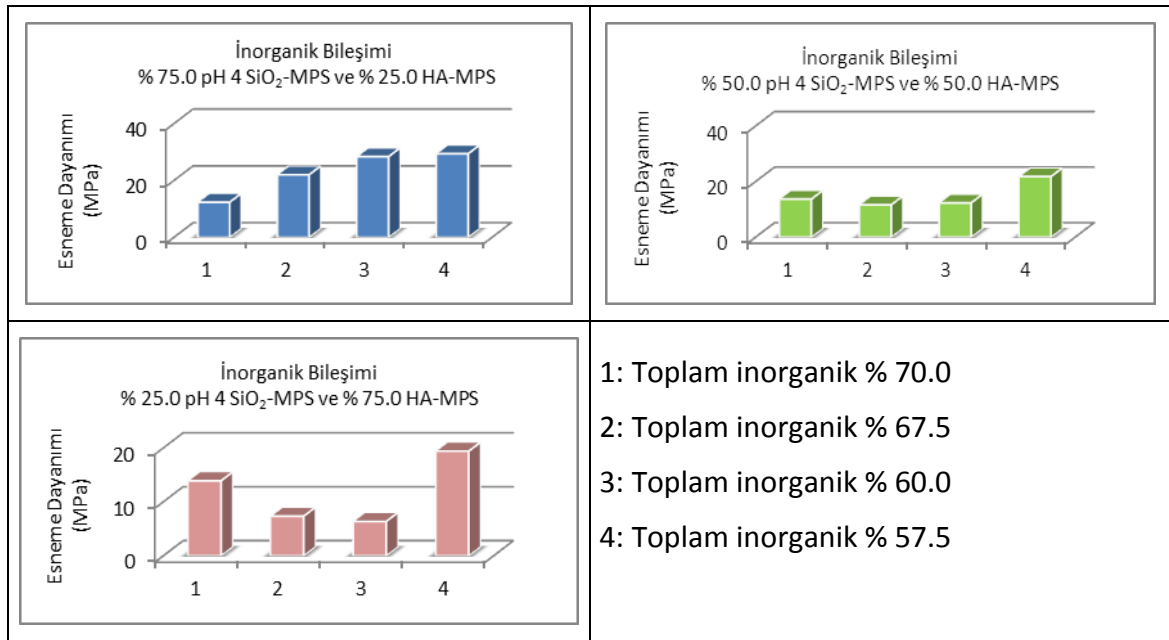
Şekil 5. 41 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri

pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik oranına bağlı olarak esneme dayanımı değerleri Çizelge 5. 28 ve Şekil 5. 42’de alt grup numaralarına bağlı olarak karşılaştırılmıştır. İnorganik kısmı % 75.0 pH 4 SiO₂-MPS ve % 25 HA-MPS’den oluşan (alt grup no: 1) kompozitlerde inorganik oranı % 70.0 olan kompozit numunenin en düşük esneme dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir. Yapılan ANOVA ve Tukey HSD analizleri sonucunda toplam inorganik içeriği % 70.0 olan kompozitin esneme dayanımı değerinin toplam inorganik içeriği % 67.5, 60.0 ve 57.5 olan

kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinden % 95 güven düzeyinde anlamlı bir şekilde farklı olduğu belirlendi.

Çizelge 5. 28 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı esneme dayanımı değerleri

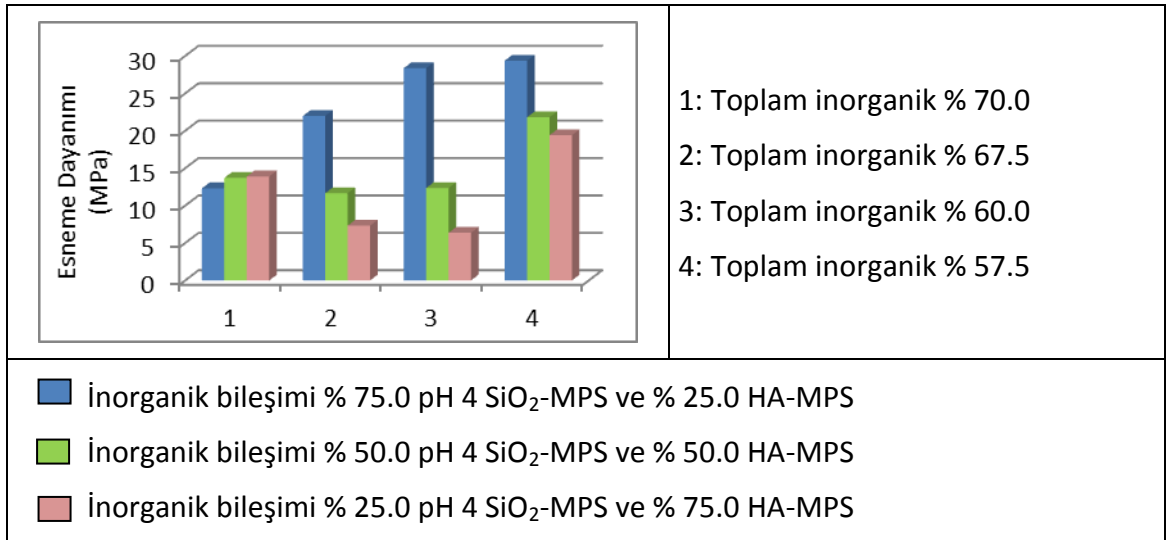
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Esneme Dayanımı (MPa)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
4 – 3	30.0	70.0	12.32 (0.61) ^a	13.72 (3.65) ^a	13.91 (5.48) ^{a,b}
4 – 4	32.5	67.5	21.99 (1.99) ^b	11.67 (0.59) ^a	7.33 (3.75) ^a
4 – 5	40.5	60.0	28.37 (3.48) ^b	12.35 (3.25) ^a	6.37 (1.83) ^a
4 – 6	42.5	57.5	29.37 (5.94) ^b	21.82 (10.37) ^a	19.41 (2.53) ^b



Şekil 5. 42 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

İnorganik kısmı % 50.0 pH 4 SiO₂-MPS ve % 50 HA-MPS'den oluşan (alt grup no: 2) kompozitlerde inorganik oranı % 57.5'ten % 60.0'a arttırıldığında ani bir şekilde azalmaktadır. % 60.0'dan % 67.5 ve 70.0 arttırıldığında esneme dayanımında hafif bir artış görülmekle birlikte % 57.5 seviyesine ulaşmamaktadır. Bununla birlikte bu kompozitlerin esneme dayanımı ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi. İnorganik kısmı % 25.0 pH 4 SiO₂-MPS ve % 75.0 HA-MPS'den oluşan (alt grup no: 3) kompozitlerde de esneme dayanımının inorganik oranına bağlı değişiminin alt grup numarası 2 olan kompozitler ile benzer olduğu görülmektedir. Ancak 4 – 6 grup numaralı kompozit esneme dayanımı ortalaması 4 – 4 ve 4 – 5 grup numaralı kompozitlerin ortalamasından farklıdır (ANOVA ve Tukey HSD).



Şekil 5. 43 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri

Şekil 5. 43'te inorganik kısmı pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS'den oluşan kompozitlerin esneme dayanımı değerleri birlikte verilmiştir. Görüldüğü gibi toplam inorganik içeriği % 57.5 ve pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeriği sırasıyla % 75.0 ve % 25.0 olan kompozit en iyi esneme dayanımı değerine (29.37 MPa) sahiptir.

Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ tozlarının ilavesi ile inorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozit esneme dayanımındaki değişimi belirlemek üzere bu iki kompozit malzemenin esneme dayanımı değerleri T-testi ile karşılaştırıldı. Kompozitlerin esneme

dayanımı ortalamalarının % 95 güven düzeyinde farklı olduğu belirlendi. Buna göre Al_2O_3 , ZrO_2 ve TiO_2 tozlarının ilavesi ile kompozit esneme dayanımı iyileştirilmiştir.

Çizelge 5. 29 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO_2 -MPS içeren ve pH 4 SiO_2 -MPS'nin yanısıra Al_2O_3 , ZrO_2 ve TiO_2 içeren kompozitlerin esneme dayanımları

Grup No	Organik (%Ağırlık)	İnorganik (%Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)				Esneme Dayanımı (MPa)*
			SiO_2	Al_2O_3	ZrO_2	TiO_2	
4 – 7	50.0	50.0	100.0	-	-	-	46.52 (2.87) ^a
4 – 7 –AZT	50.0	50.0	94.5	2.5	2.5	0.5	55.18 (1.86) ^b

pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Esneme Dayanımı Sonuçları

pH 7 SiO_2 -MPS tozlarını içeren kompozitlerin esneme dayanımı değerleri Çizelge 5. 30'da verilmiştir.

Çizelge 5. 30 pH 7 SiO_2 -MPS içeren dental kompozitlerin esneme dayanımı değerleri

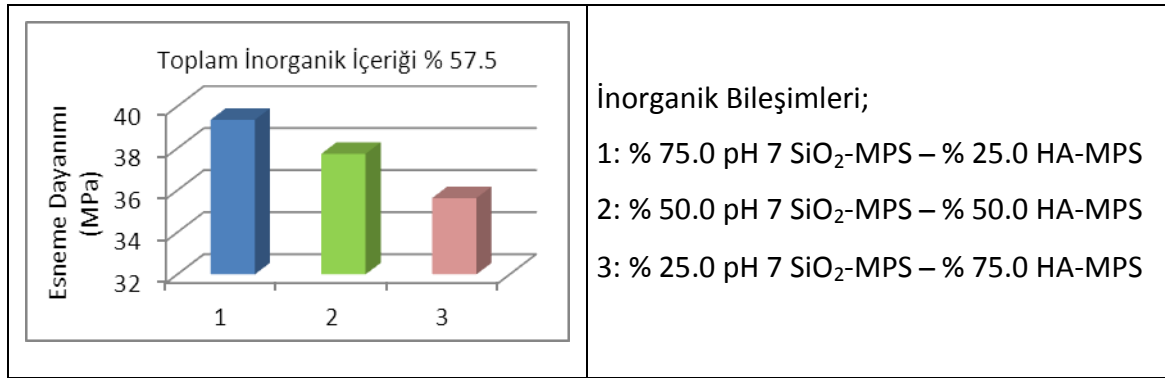
Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Esneme Dayanımı (MPa)
			SiO_2	
7 – 1	50.0	50.0	100.0	26.28 (1.43)

Şekil 5. 44'te toplam inorganik içeriği % 57.5 ve kompozit grup numarası 7 – 2 olan kompozitlerin esneme dayanımı grafiği, Çizelge 5. 31'de bu kompozitlerin esneme dayanımı değerleri verilmiştir. pH 7 SiO_2 -MPS ve HA-MPS ile hazırlanan bu kompozit karışımlarda en yüksek esneme dayanımı 39.36 MPa olarak alt grup numarası 1 (% 75.0 pH 7 SiO_2 -MPS ve % 25.0 HA-MPS) olan kompozit karışımında elde edildi. Ancak yapılan ANOVA analizi ile grup ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma olmadığı tespit edildi. Buna göre bu kompozitlerde pH 7 SiO_2 -MPS ve HA-MPS oranının esneme dayanımı üzerine bir etkisi olmadığı söylenebilir. pH 7 SiO_2 -MPS ve HA-MPS içeren kompozit karışıma Al_2O_3 , ZrO_2 ve TiO_2 ilavesi kompozit esneme dayanımını iyileştirmiştir.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Çizelge 5. 31 pH 7 SiO₂-MPS, HA-MPS ve Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ içeren dental kompozitlerin esneme dayanımı değerleri

Örnek		Organik (%Ağırlık)	İnorganik (%Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)					Esneme Dayanımı (MPa)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
7 – 2	1	42.5	57.5	75.0	25.0	-	-	-	39.36 (0.88) ^a
	2			50.0	50.0	-	-	-	37.74 (2.35) ^a
	3			25.0	75.0	-	-	-	35.63 (2.50) ^a
7 – 2 – AZT	1	42.5	57.5	75.0	19.5	2.5	2.5	0.5	51.05 (0.78) ^b



Şekil 5. 44 pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı esneme dayanımı değerleri

pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Esneme Dayanımı Sonuçları

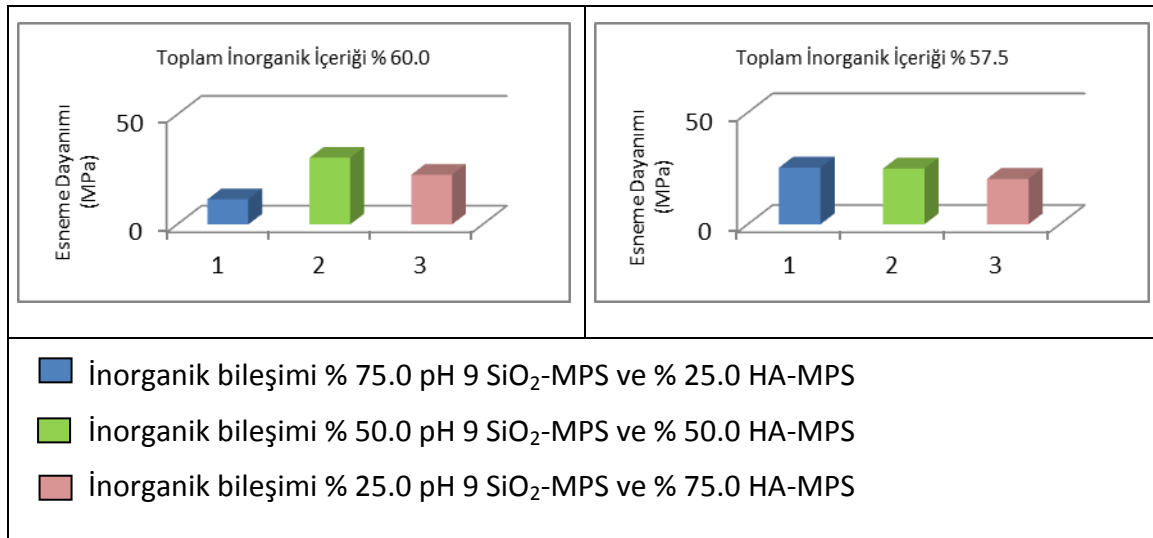
pH 9 SiO₂-MPS tozlarını içeren kompozitlerin esneme dayanımı değerleri Çizelge 5. 32'de verilmiştir.

Grup numaraları 9 – 1 ve 9 – 4 olan ve inorganik kısmı sadece pH 9 SiO₂-MPS tozlarından oluşturulan kompozit karışımlar tamamen sertleşmediğinden bu kompozitlerin esneme dayanımı ölçülemedi.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Çizelge 5. 32 pH 9 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin esneme dayanımı değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)		Esneme Dayanımı (MPa)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
9 – 1	-	45.0	55.0	100.0	-	-
9 – 2	1	40.0	60.0	75.0	25.0	11.50 (1.43) ^a
	2			50.0	50.0	30.37 (0.74) ^b
	3			25.0	75.0	25.87 (0.61) ^c
9 – 3	1	42.5	57.5	75.0	25.0	25.37 (5.39) ^a
	2			50.0	50.0	24.94 (1.32) ^a
	3			25.0	75.0	20.34 (2.33) ^a
9 – 4	-	50.0	50.0	100.0	-	-



Şekil 5. 45 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA bileşimlerine bağlı esneme dayanımı değerleri

Grup numaraları 9 – 2 ve 9 – 3 olan kompozit numunelerin pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimlerine bağlı olarak esneme dayanımı değerleri Şekil 5. 45'te verilmiştir. Toplam inorganik içeriği % 60.0 olan kompozitlerde en yüksek esneme dayanımı değeri pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimi % 50.0 – 50.0 olan (alt grup no: 2) kompozitte ölçüldü, sonuçlar % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklıdır (ANOVA, Tukey HSD).

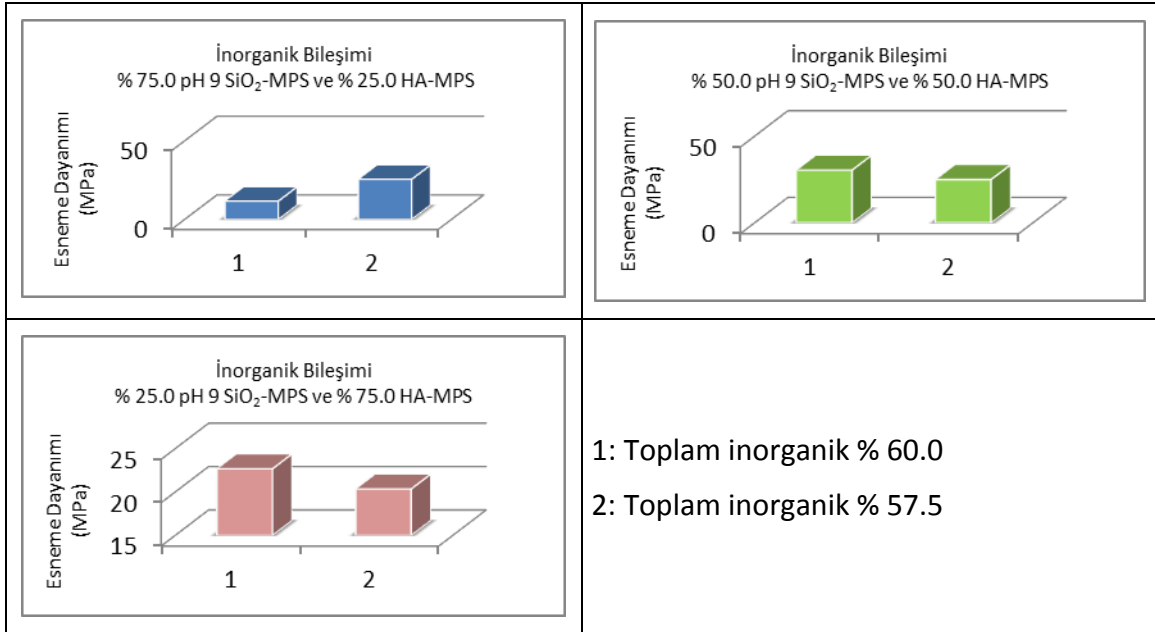
* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

İnorganik oranı % 57.5 olan kompozit numunelerde HA-MPS içeriğine bağlı olarak esneme dayanımı değerlerinde anlamlı bir farklılaşma yoktur (ANOVA, Tukey HSD).

pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik oranına bağlı olarak esneme dayanımı değerleri Şekil 5. 46'da verilen grafikler ile alt grup numaralarına bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Alt grup 1 kompozitlerde inorganik oranına bağlı olarak esneme dayanımı değerlerinde % 95 güven düzeyinde istatistiksel farklılaşma yoktur (T-testi).

Çizelge 5. 33 pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı esneme dayanımı değerleri

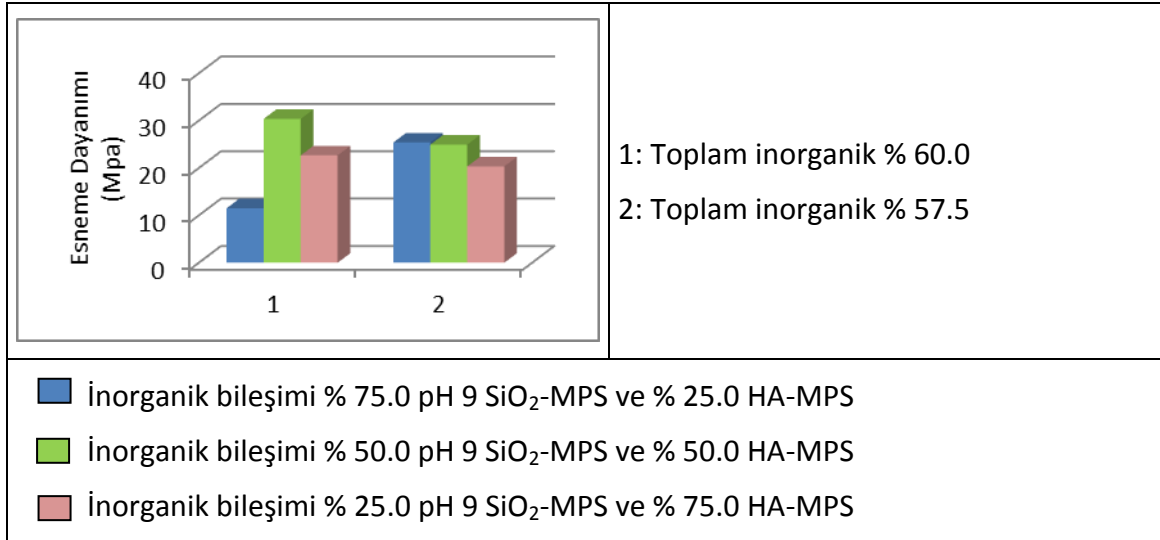
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Esneme Dayanımı (MPa)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
9 – 2	40.0	60.0	11.50 (1.43) ^a	30.37 (0.74) ^a	25.87 (0.61) ^a
9 – 3	42.5	57.5	25.37 (6.39) ^a	24.94 (1.32) ^b	20.34 (2.33) ^a



Şekil 5. 46 İnorganik doldurucu olarak pH9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri

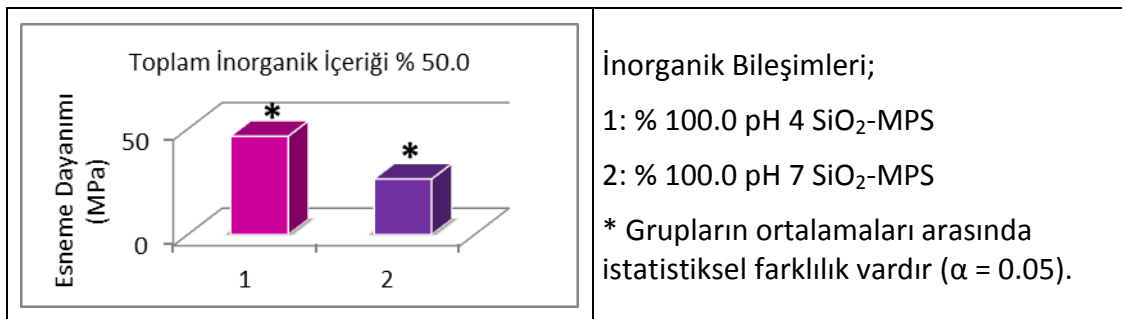
* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Alt grup 2 kompozitlerde esneme dayanımı inorganik oranı arttığında artmıştır. Alt grup 3 kompozitlerde de esneme dayanımı değerlerinde inorganik oranına bağlı % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur (T-testi).



Şekil 5. 47 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı esneme dayanımı değerleri

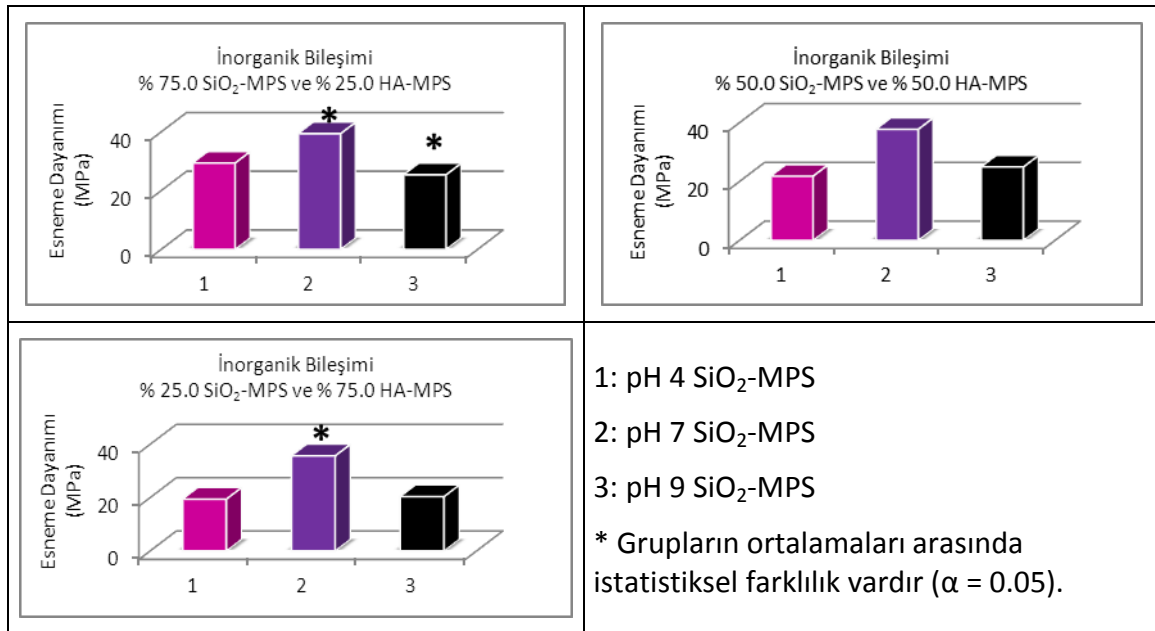
Farklı pH değerlerinde üretilen silika tozlarının esneme dayanımı üzerine etkisini belirleyebilmek üzere sadece bu silika tozlarını % 50.0 oranında içeren kompozit karışımlarının esneme dayanımı değerleri karşılaştırıldı. pH 4 SiO₂-MPS ile hazırlanan kompozit pH 7 SiO₂-MPS ile hazırlanan kompozitten daha yüksek esneme dayanımına sahiptir, bu kompozitlere ait esneme dayanımı değerleri % 95 güven düzeyinde farklıdır (T-testi). pH 9 SiO₂-MPS ile hazırlanan kompozit karışım (grup no: 9 – 4) tam sertleşmediğinden bu kompozite ait esneme dayanımı ölçülemedi (Şekil 5. 48).



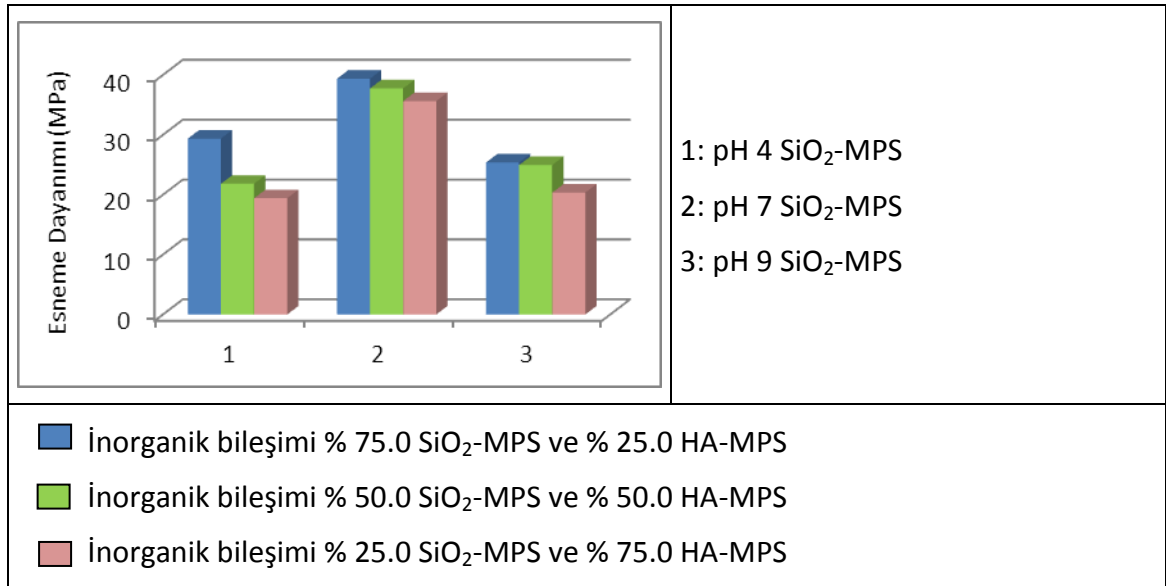
Şekil 5. 48 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganığı % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı esneme dayanımı değerleri

Toplam inorganik içeriği % 57.5 ve inorganik bileşimi farklı oranlarda pH 4 SiO₂-MPS, pH 7 SiO₂-MPS veya pH 9 SiO₂-MPS ile HA-MPS'den oluşturulan kompozitlerin esneme dayanımı değerlerindeki değişim kullanılan silika türü ve silika-hidroksiapatit oranına bağlı olarak Şekil 5. 49 ve 5. 50'de verilmiştir. İnorganik bileşiminin % 75.0'ı SiO₂-MPS olan alt grup 1 kompozitlerde, pH 7 SiO₂-MPS ile hazırlanan kompozit esneme dayanımı değeri pH 9 SiO₂-MPS ile hazırlanan kompozit esneme dayanımı değerinden yüksektir. Bu iki kompozit esneme dayanımı ortalamaları % 95 güven düzeyinde farklıdır. Ancak pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozit esneme dayanımı ortalamaları ile pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozit esneme dayanımı ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma yoktur.

İnorganik bileşiminin % 50.0'ı SiO₂-MPS olan alt grup 2 kompozitlerde kullanılan silika türüne bağlı olarak esneme dayanımda % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi. İnorganik bileşiminin % 25.0'ı SiO₂-MPS olan alt grup 3 kompozitlerde pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozit esneme dayanımı pH 4 SiO₂-MPS ve pH 9 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinden % 95 güven düzeyinde farklıdır (ANOVA, Tukey HSD).



Şekil 5. 49 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı esneme dayanımı değerleri



Şekil 5. 50 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı esneme dayanımı değerleri

pH 4 Silika İçeren Kompozitlerin Elastisite Modülü Sonuçları

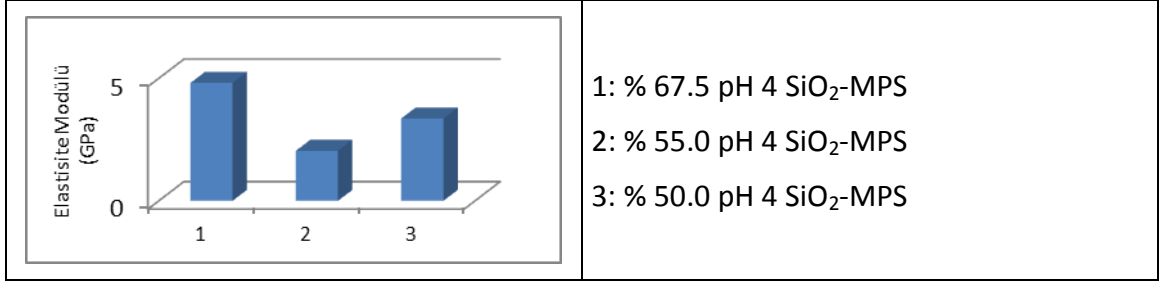
İnorganik pH 4 SiO₂-MPS'den oluşturulan kompozitlerin elastisite modülü değerleri Çizelge 5. 34'te verilmiştir.

Çizelge 5. 34 pH4 SiO₂-MPS içeren dental kompozitlerin elastisite modülü değerleri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Elastisite Modülü (GPa)*
			SiO ₂	
4 – 1	32.5	67.5	100.0	4.81 (0.38) ^a
4 – 2	45.0	55.0	100.0	2.05 (0.09) ^b
4 – 7	50.0	50.0	100.0	3.36 (0.32) ^c

İnorganik % 67.5, 55.0 ve 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS tozlarından oluşturulan kompozitlerin elastisite modülü değerlerindeki değişim kompozit inorganik miktarına bağlı olarak Şekil 5. 51'de verilmiştir. ANOVA ve Tukey HSD testine göre 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 kompozitlerinin elastisite modülü ortalamaları % 95 güven düzeyinde farklıdır. İnorganik içeriği yüksek olan kompozit elastisite modülü değeri de yüksektir.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



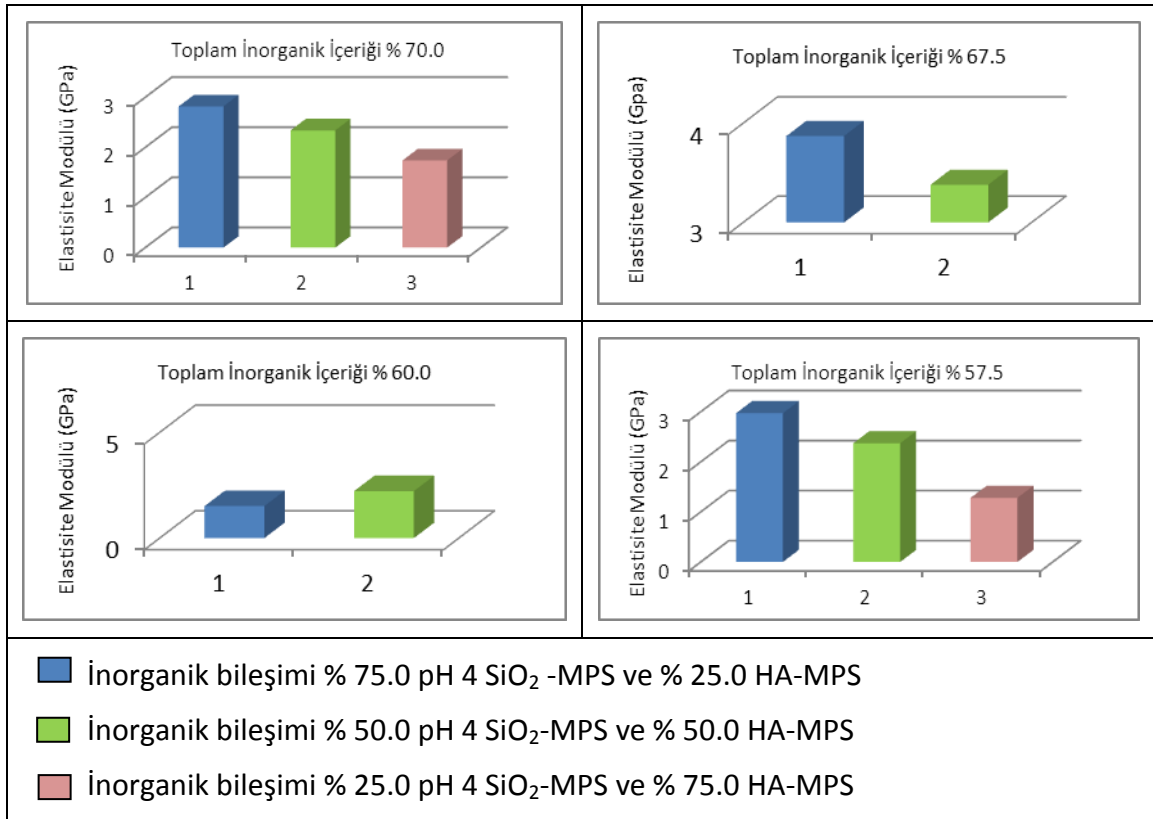
Şekil 5. 51 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH4 SiO₂-MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı elastisite modülü değerleri

Grup numaraları 4 – 3, 4 – 4, 4 – 5 ve 4 – 6 olan kompozitlerin pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimine bağlı olarak elastisite modülündeki değişim Çizelge 5. 35 ve Şekil 5. 52’de verilmiştir. İnorganik içeriği % 60.0 olan kompozit alt grup 1 ve 2 elastisite modülü ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma vardır (T-testi). Diğer kompozitlerde pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS oranına bağlı elastisite modülü ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma yoktur.

Çizelge 5. 35 İnorganik olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin elastisite modülü değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)		Elastisite Modülü (GPa)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
4 – 3	1	30.0	70.0	75.0	25.0	2.82 (0.89) ^a
	2			50.0	50.0	2.34 (1.33) ^a
	3			25.0	75.0	1.74 (0.45) ^a
4 – 4	1	32.5	67.5	75.0	25.0	3.87 (1.38) ^a
	2			50.0	50.0	3.38 (0.59) ^a
	3			25.0	75.0	-
4 – 5	1	40.0	60.0	75.0	25.0	1.51 (0.19) ^a
	2			50.0	50.0	2.22 (0.34) ^b
	3			25.0	75.0	-
4 – 6	1	42.5	57.5	75.0	25.0	2.97 (0.49) ^a
	2			50.0	50.0	2.37 (0.71) ^a
	3			25.0	75.0	1.28 (0.52) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5. 52 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA içeriklerine bağlı elastisite modülü değerleri

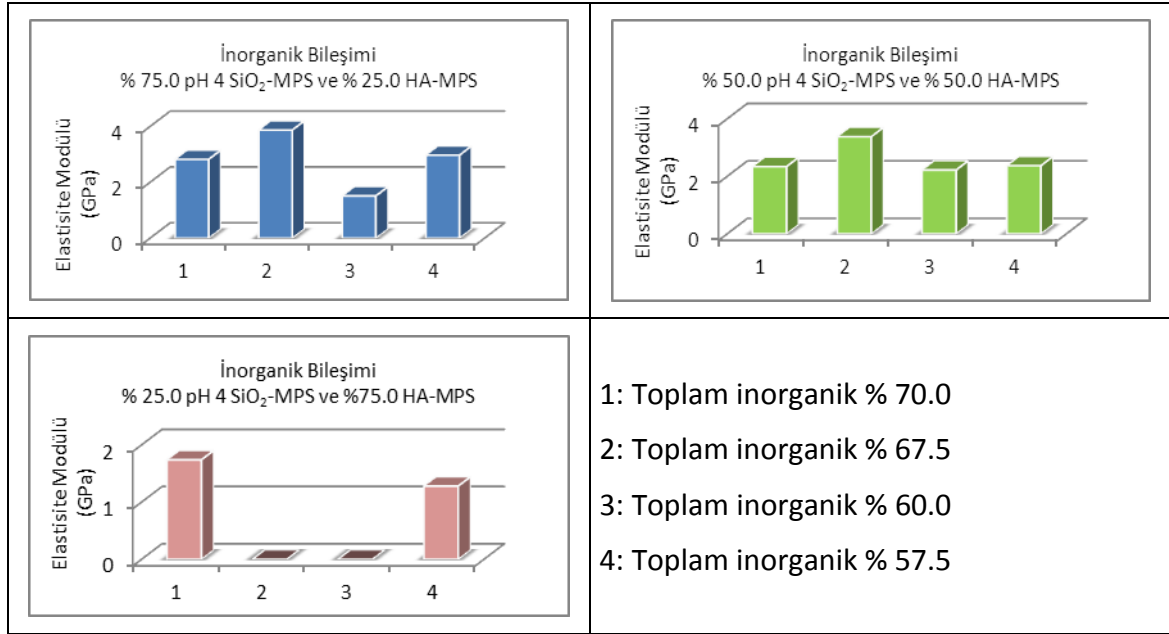
İnorganik içeriği % 67.5 olan 4 – 4 grup numaralı kompozit ortalama elastisite modülü değerleri 4 – 3, 4 – 5 ve 4 – 6 grup numaralı kompozitlerin elastisite modülü ortalama değerlerinden yüksektir.

Çizelge 5. 36 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı elastisite modülü değerleri

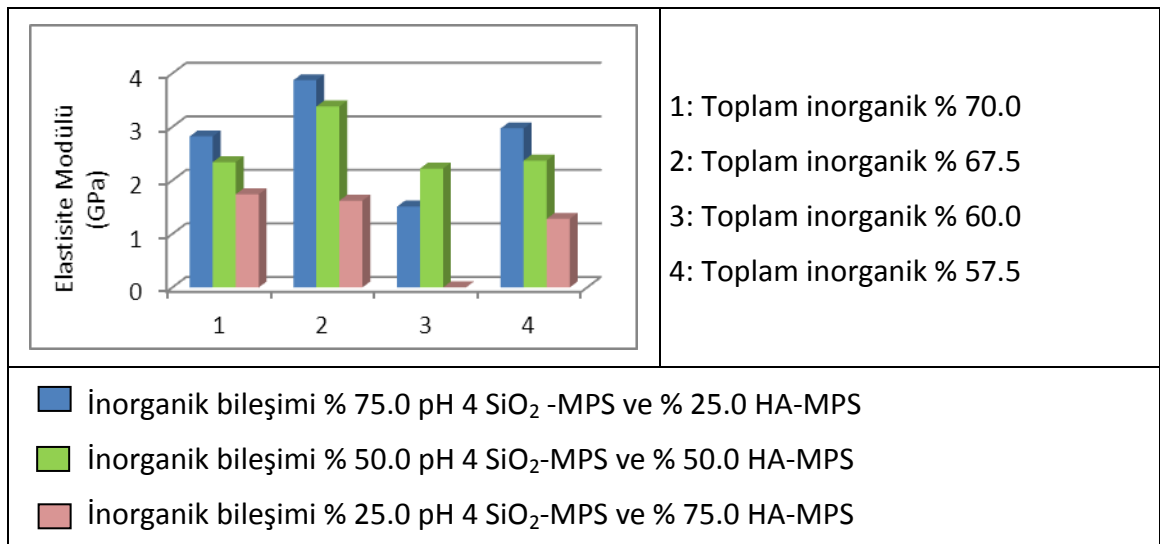
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Elastisite Modülü (GPa)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
4 – 3	30.0	70.0	2.82 (0.89) ^a	2.34 (1.33) ^a	1.74 (0.45) ^a
4 – 4	32.5	67.5	3.87 (1.38) ^a	3.38 (0.59) ^a	-
4 – 5	40.5	60.0	1.51 (0.19) ^a	2.22 (0.34) ^a	-
4 – 6	42.5	57.5	2.97 (0.49) ^a	2.37 (0.71) ^a	1.28 (0.52) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Ancak alt grup 1, 2 ve 3 kompozitlerin elastisite modülü değerlerinde inorganik miktarına bağlı anlamlı bir farklılaşma olmadığı (% 95 güven düzeyinde) ANOVA, Tukey HSD (alt grup 1 ve 2) ve T-testi (alt grup 3) ile belirlendi (Çizelge 5. 36). Şekil 5. 53'te kompozitlerin inorganik miktarına bağlı olarak elastisite modülü grafikleri verilmiştir.



Şekil 5. 53 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı elastisite modülü değerleri



Şekil 5. 54 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı elastisite modülü değerleri

Çizelge 5. 37 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren ve pH 4 SiO₂-MPS'nin yanısıra Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ içeren kompozitlerin elastisite modülü

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)				Elastisite Modülü (GPa)*
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
4 – 7	50.0	50.0	100.0	-	-	-	3.36 (0.32) ^a
4 – 7– AZT	50.0	50.0	94.5	2.5	2.5	0.5	3.06 (0.21) ^a

İnorganik olarak % 50.0 oranında sadece pH SiO₂-MPS içeren 4 – 7 grup numaralı kompozite Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ ilavesinin elastisite modülü üzerine anlamlı bir etkisi olmadı. Çizelge 5. 37'de görülmektedir. Uygulanan T-testi ile de bu kompozitlerin elastisite modülü değerleri arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olmadığı belirlendi.

pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Elastisite Modülü Sonuçları

pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozit elastisite modülü ortalama değeri Çizelge 5. 38'de verilmiştir.

Çizelge 5. 38 pH 7 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozit malzemenin elastisite modülü değerleri

Örnek Grup No	Organik (%Ağırlık)	İnorganik (%Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Elastisite Modülü (GPa)
			SiO ₂	
7 – 1	50.0	50.0	100.0	1.22 (0.14)

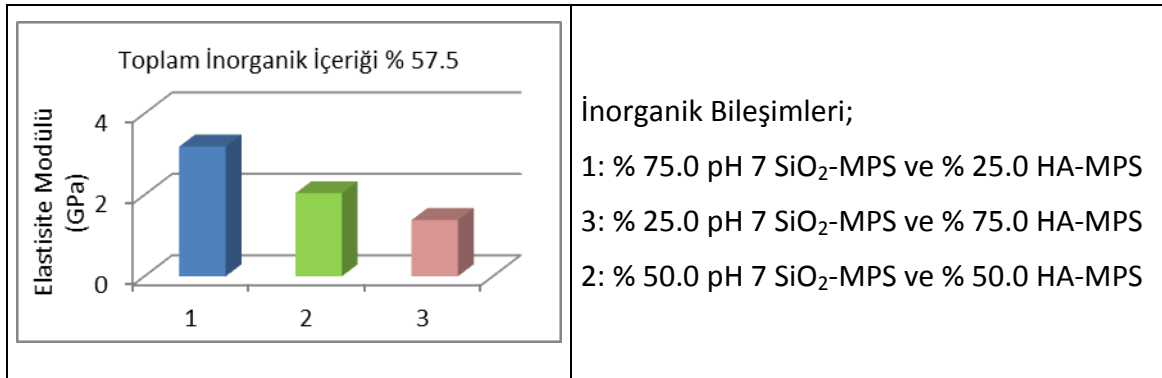
İnorganik bileşimi pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS'den oluşturulan kompozitlerin elastisite modülü ortalamaları % 95 güven düzeyinde farklıdır (ANOVA ve Tukey HSD), sonuçlar Çizelge 5. 39 ve Şekil 5. 55'te verilmiştir. pH 7 SiO₂-MPS'yi % 75.0 oranında içeren alt grup 1 kompozit elastisite modülü bu kompozitler arasında en yüksek değere sahiptir.

Sonuçlar incelendiğinde 7 – 2 grup numaralı kompozitlerde HA-MPS oranındaki artış ile elastisite modülünün azaldığı görülmektedir. Bu kompozitlerden alt grup 1'e Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ ilavesi elastisite modülünde % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşmaya sebep olmamıştır.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Çizelge 5. 39 pH 7 SiO₂-MPS, HA-MPS ve Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ içeren dental kompozitlerin elastisite modülü değerleri

Örnek		Organik (%Ağırlık)	İnorganik (%Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)					Elastisite Modülü (GPa)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
7 – 2	1	42.5	57.5	75.0	25.0	-	-	-	3.19 (0.22) ^a
	2			50.0	50.0	-	-	-	2.04 (0.09) ^b
	3			25.0	75.0	-	-	-	1.38 (0.19) ^b
7 – 2 – AZT	1	42.5	57.5	75.0	19.5	2.5	2.5	0.5	3.75 (0.21) ^a



Şekil 5. 55 pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı elastisite modülü değerleri

pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Elastisite Modülü Sonuçları

pH 9 SiO₂-MPS içeren kompozitlere ait elastisite modülü değerleri Çizelge 5. 40'ta verilmiştir.

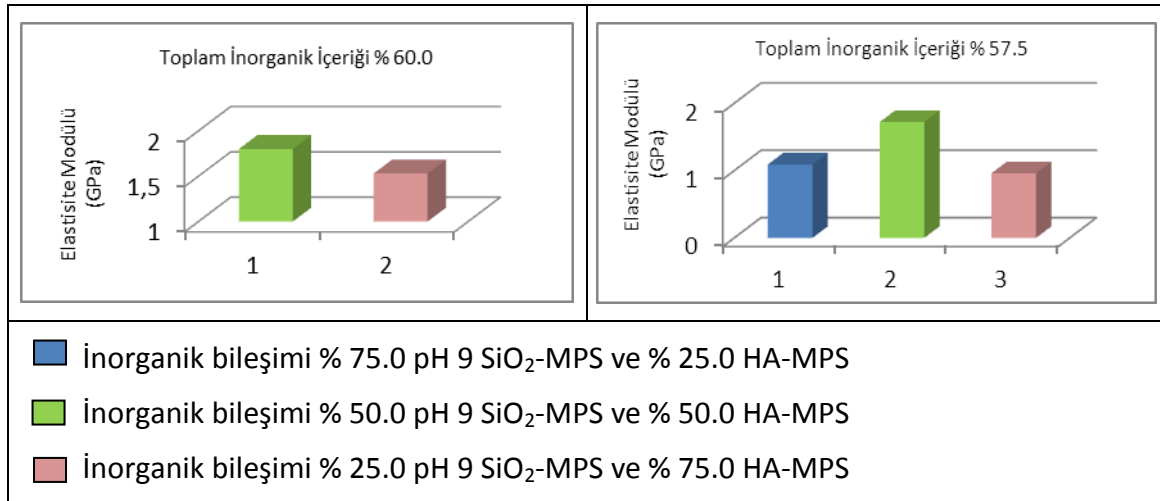
Şekil 5. 56'da pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimine bağlı elastisite modülü grafikleri verilmiştir. pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS'yi eşit oranda içeren alt grup 2 kompozitlerde en iyi elastisite modülü ortalama değerleri görülmektedir.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Çizelge 5. 40 pH 9 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin elastisite modülü değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)		Elastisite Modülü (GPa)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
9 – 1	-	45.0	55.0	100.0	-	-
9 – 2	1	40.0	60.0	75.0	25.0	-
	2			50.0	50.0	1.80 (0.07) ^a
	3			25.0	75.0	1.53 (0.18) ^a
9 – 3	1	42.5	57.5	75.0	25.0	1.09 (0.25) ^a
	2			50.0	50.0	1.72 (0.46) ^a
	3			25.0	75.0	0.96 (0.63) ^a
9 – 4	-	50.0	50.0	100.0	-	-

Ancak bu kompozitlerin elastisite modülü ortalamaları arasında istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde farklılaşma olmadığı % 57.5 inorganik içeren kompozitler için ANOVA ile % 60.0 inorganik içeren kompozitler için ise T-testi ile belirlendi. Buna göre bu kompozitlerde pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşime bağlı istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma olmadığı söylenebilir.



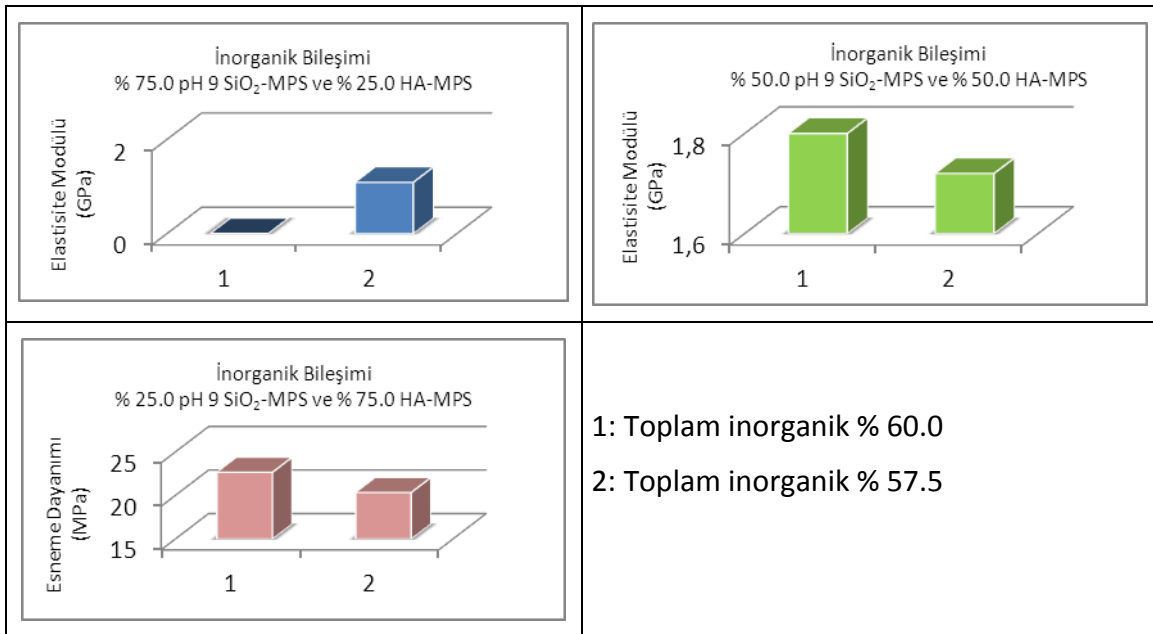
Şekil 5. 56 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA bileşimlerine bağlı elastisite modülü değerleri

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Çizelge 5. 41 ve Şekil 5. 57’de bu kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı elastisite modülü ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 5. 41 pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı elastisite modülü değerleri

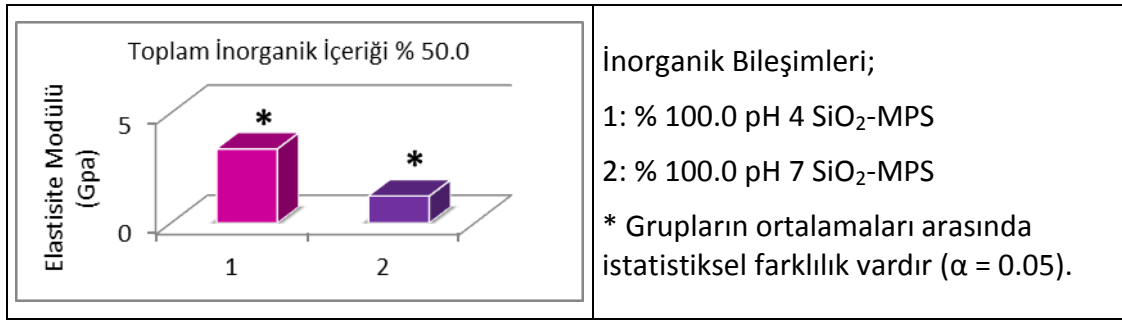
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Elastisite Modülü (GPa)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
9 – 2	40.0	60.0	-	1.80 (0.07) ^a	1.53 (0.18) ^a
9 – 3	42.5	57.5	1.09 (0.25)	1.72 (0.46) ^a	0.96 (0.63) ^a



Şekil 5. 57 İnorganik doldurucu olarak pH9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı elastisite modülü değerleri

Alt grup 1 hariç, alt grup 2 ve 3’te inorganığı yüksek olan kompozitlerde elastisite modülü değerleri daha yüksek gibi görülsede yapılan T-testi ile aralarında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma olmadığı belirlendi.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5. 58 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganisi % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı elastisite modülü değerleri

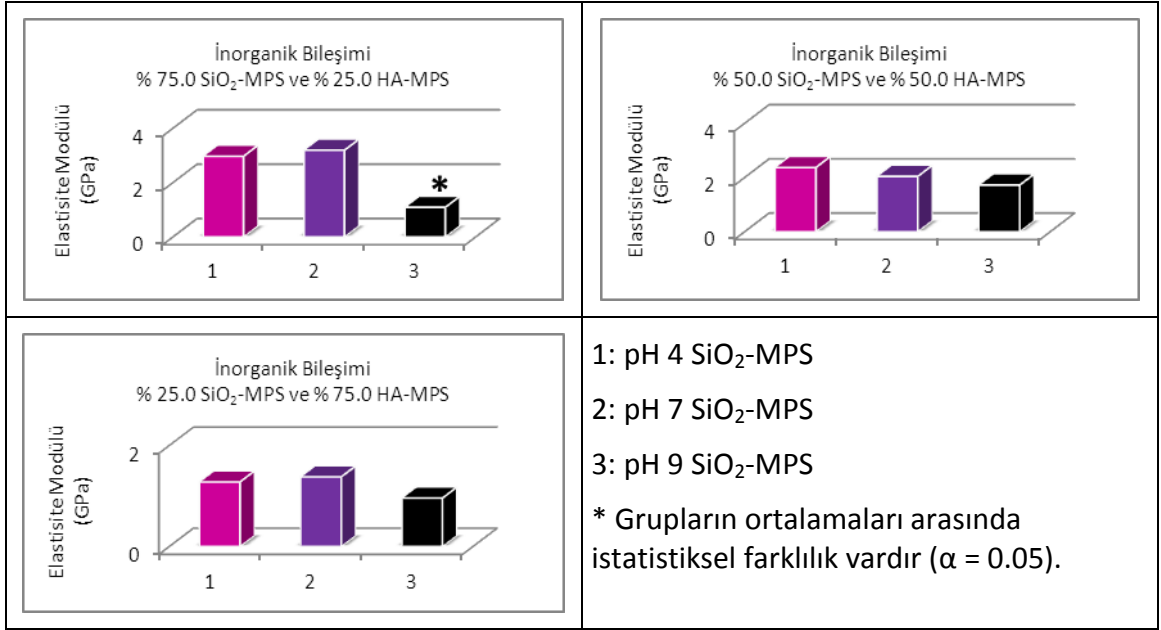
İnorganik miktarı % 50.0 olan ve pH 4 SiO₂-MPS veya pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan 4 – 7 ve 7 – 1 grup numaralı kompozitlerin elastisite modülü grafiği Şekil 5. 58'de verilmiştir. pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozit elastisite modülü pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozit elastisite modülü ortalamasından yüksektir ve aralarında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma vardır (T-testi).

İnorganik olarak % 75.0 SiO₂-MPS ve % 25.0 HA-MPS içeren alt grup 1 kompozitlerde pH 9 SiO₂-MPS içeren kompozit elastisite modülü ortalaması aynı oranda pH 4 SiO₂-MPS ve pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin elastisite modülü ortalamalarından % 95 güven düzeyinde farklıdır (ANOVA ve Tukey HSD) ve düşüktür (Şekil 5. 59).

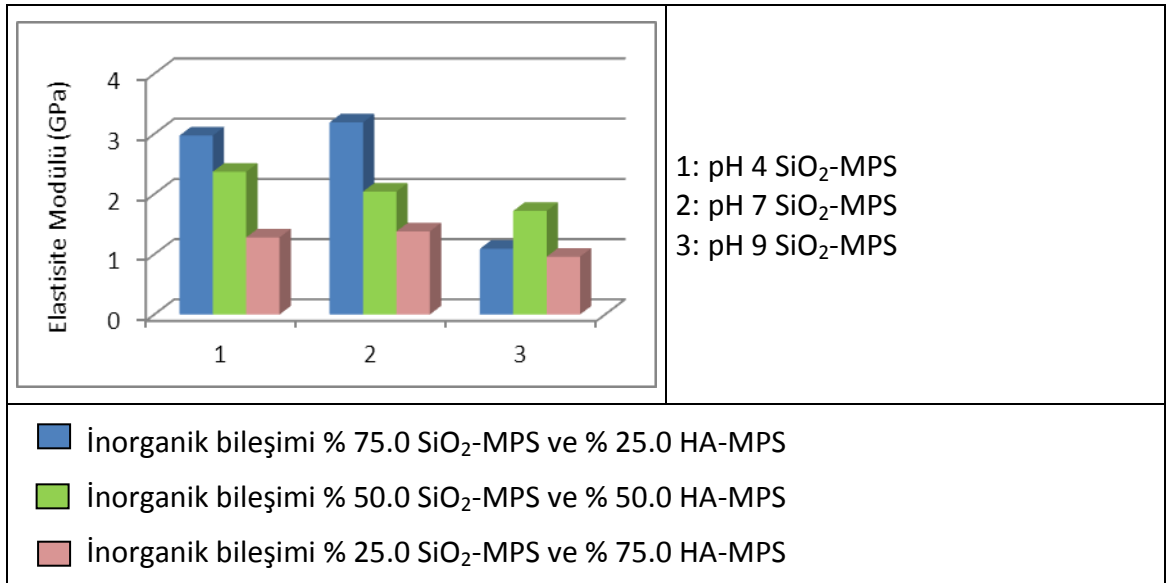
İnorganik olarak SiO₂-MPS ve HA-MPS'yi eşit oranda içeren alt grup 2 kompozitlerde silika türüne bağlı % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma yoktur (ANOVA).

İnorganik olarak % 25.0 SiO₂-MPS ve % 75.0 HA-MPS içeren alt grup 3 kompozitlerde elastisite modülü ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma yoktur (ANOVA).

İnorganik miktarı % 57.5 olan kompozitlerde pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS bileşimindeki kompozitlerin ortalama elastisite modülü değerlerinin pH 4 SiO₂-MPS ve pH 9 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin ortalama elastisite modülü değerlerinden daha yüksek oldukları görülmektedir (Şekil 5.60).



Şekil 5. 59 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı elastisite modülü değerleri



Şekil 5. 60 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı elastisite modülü değerleri

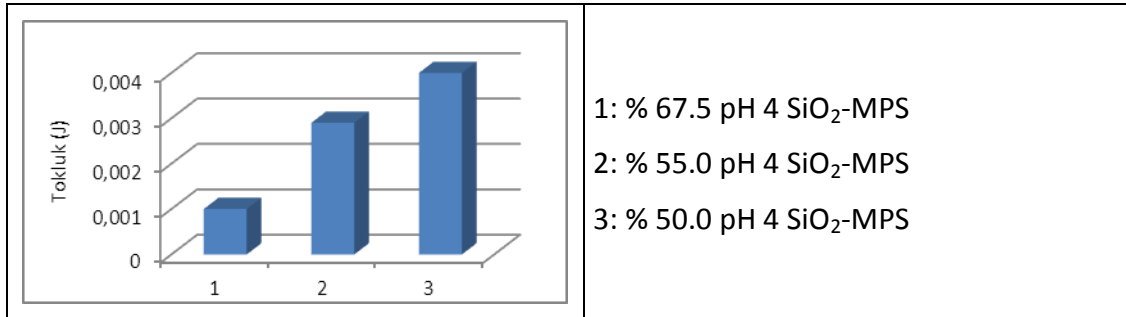
pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Tokluk Sonuçları

İnorganik olarak sadece pH 4 SiO₂-MPS içeren dental kompozitlerin tokluk değerleri inorganik içeriğine bağlı olarak Çizelge 5. 42 ve Şekil 5. 61’de verilmiştir.

Çizelge 5. 42 pH 4 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin tokluk değerleri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Tokluk (J)*
			SiO ₂	
4 – 1	32.5	67.5	100.0	0.0010 (0.0002) ^a
4 – 2	45.0	55.0	100.0	0.0029 (0.0005) ^b
4 – 7	50.0	50.0	100.0	0.0040 (0.0001) ^c

İnorganik pH 4 SiO₂-MPS’den oluşturulan kompozitlerin tokluk değerleri kompozit inorganik miktarına bağlı olarak değişmektedir. En yüksek ortalama tokluk değerine inorganik içeriği (% 50.0) en düşük kompozit ulaşıldı. Bu kompozitlerin tokluk değer ortalamaları % 95 güven düzeyinde farklıdır (ANOVA ve Tukey HSD).



Şekil 5. 61 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı tokluk değerleri

İnorganik kısmı farklı miktar ve farklı pH 4 SiO₂-MPS/HA-MPS oranlarından oluşturulan kompozitlerin ortalama tokluk değerleri Çizelge 5. 43, grafikleri ise Şekil 5. 62’de verilmiştir.

% 70.0 inorganik içeren 4 – 3 grup numaralı kompozitlerin ve % 57.5 inorganik içeren 4 – 6 grup numaralı kompozitlerin pH 4 SiO₂-MPS/HA-MPS oranına bağlı olarak ortalama tokluk değerleri arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

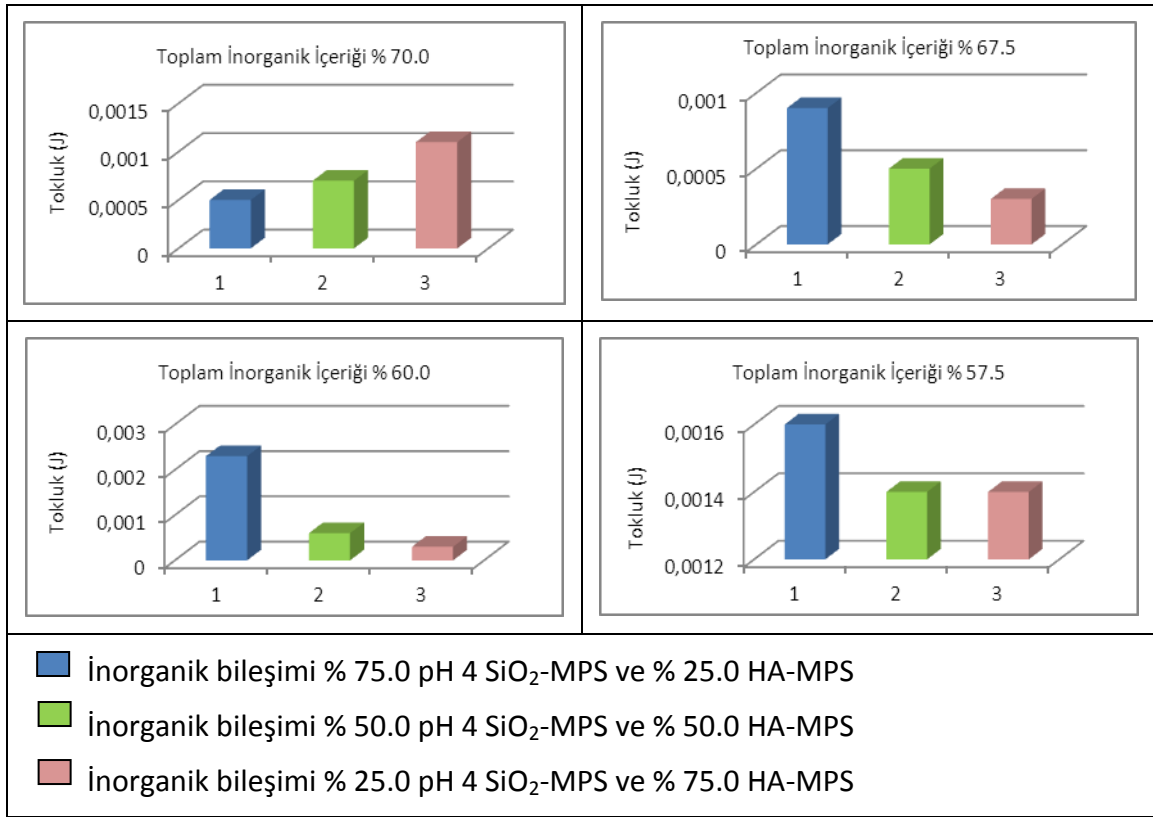
Çizelge 5. 43 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin tokluk değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (Ağırlık %)		Tokluk (J)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
4 – 3	1	30.0	70.0	75.0	25.0	0.0005 (0.0001) ^a
	2			50.0	50.0	0.0007 (0.0003) ^a
	3			25.0	75.0	0.0011 (0.0008) ^a
4 – 4	1	32.5	67.5	75.0	25.0	0.0009 (0.0002) ^a
	2			50.0	50.0	0.0005 (0.0000) ^b
	3			25.0	75.0	0.0003 (0.0001) ^b
4 – 5	1	40.0	60.0	75.0	25.0	0.0023 (0.0003) ^a
	2			50.0	50.0	0.0006 (0.0001) ^b
	3			25.0	75.0	0.0003 (0.0001) ^b
4 – 6	1	42.5	57.5	75.0	25.0	0.0016 (0.0006) ^a
	2			50.0	50.0	0.0014 (0.0011) ^a
	3			25.0	75.0	0.0014 (0.0006) ^a

% 67.5 inorganik içeren 4 – 4 grup numaralı kompozitlerin ve % 60.0 inorganik içeren 4 – 6 grup numaralı kompozitlerin pH 4 SiO₂-MPS/HA-MPS oranına bağlı olarak ortalama tokluk değerleri arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olduğu ANOVA ile belirlendi. Tukey HSD testi ile farklılaşmanın kompozit inorganik bileşiminin % 75.0'ı pH 4 SiO₂-MPS olan 1 numaralı alt gruptan kaynaklandığı belirlendi.

4 – 3, 4 – 4, 4 – 5 ve 4 – 6 grup numaralı kompozitlerin aynı alt gruplarında inorganik miktarına bağlı olarak ortalama tokluk değerlerindeki değişim Çizelge 5. 44 ve Şekil 5. 63'te verilmiştir. Alt grup 2 ve 3'te kompozitlerin ortalama tokluk değerlerinin inorganik miktarına bağlı olarak anlamlı bir şekilde % 95 güven düzeyinde farklılaşmadığı ANOVA ile belirlendi. Ancak inorganik % 75.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS'den oluşturulan 1 numaralı alt grup içerisinde kompozitlerin ortalama tokluk değerlerinin inorganik içeriğine bağlı olarak % 95 güven düzeyinde değiştiği belirlendi (ANOVA). İnorganik miktarı % 70.0 olan kompozitin tokluk ortalamasının inorganik içeriği % 67.5 olan kompozitin tokluk ortalamasından farklı olmadığı, ancak inorganik miktarı % 60.0 ve % 57.5 olan kompozitlerin tokluk ortalamalarından % 95 güven düzeyinde farklı olduğu yapılan Tukey HSD analizi ile belirlendi.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

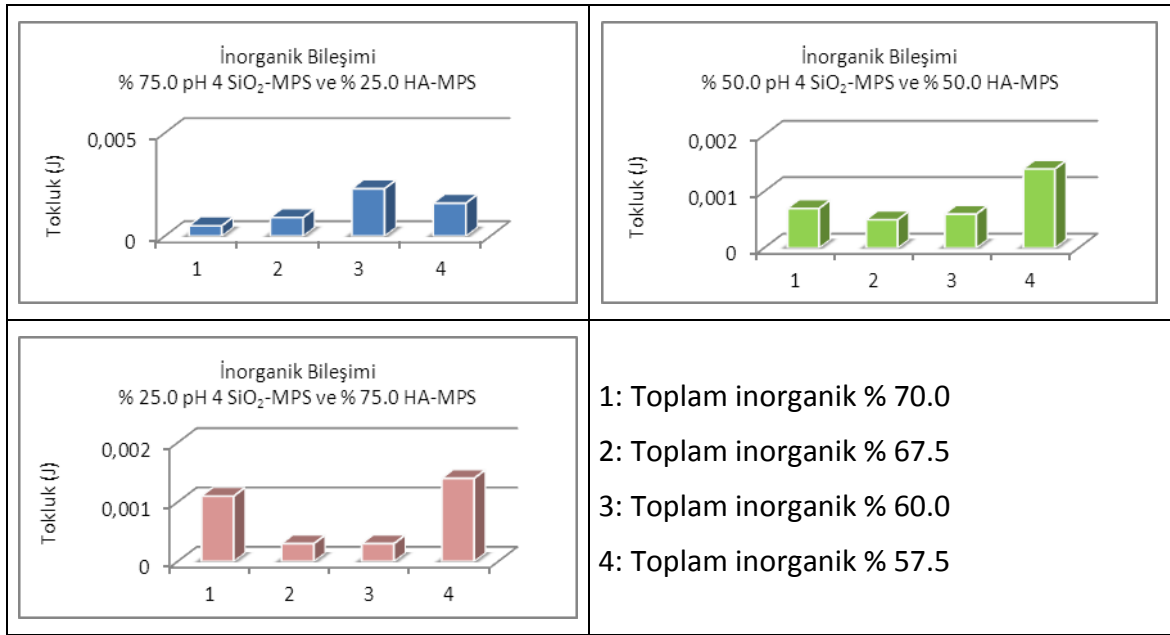


Şekil 5. 62 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA içeriklerine bağlı tokluk değerleri

Çizelge 5. 44 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı tokluk değerleri

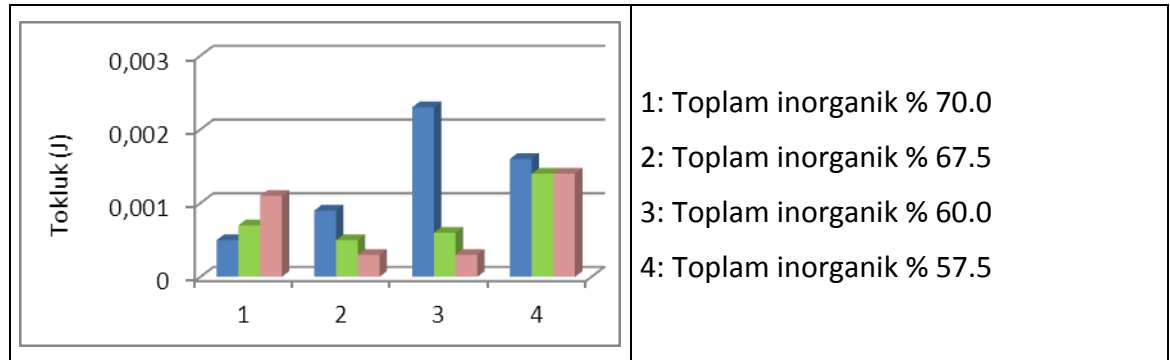
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Tokluk (J)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
4 – 3	30.0	70.0	0.0005 (0.0001) ^a	0.0007 (0.0003) ^a	0.0011 (0.0008) ^a
4 – 4	32.5	67.5	0.0009 (0.0002) ^{a,b}	0.0005 (0.0000) ^a	0.0003 (0.0001) ^a
4 – 5	40.5	60.0	0.0023 (0.0003) ^c	0.0006 (0.0001) ^a	0.0003 (0.0001) ^a
4 – 6	42.5	57.5	0.0016 (0.0006) ^{b,c}	0.0014 (0.0011) ^a	0.0014 (0.0006) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5. 63 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı tokluk değerleri

İnorganik kısmı pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS'den oluşturulan kompozitler içerisinde en yüksek tokluk ortalamasına sahip kompozit, inorganik miktarı % 60.0 (grup no: 4 – 5) olan alt grup 1 kompozit olduğu Şekil 5. 64'te görülmektedir.



Şekil 5. 64 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı tokluk değerleri

İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren 4 – 7 grup numaralı kompozite Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ ilavesi ile ortalama tokluk değerinin arttığı Çizelge 5. 45'te görülmektedir. Bu kompozitlere uygulanan T-testi ile tokluk ortalamalarının % 95 güven düzeyinde farklı olduğu belirlendi.

Çizelge 5. 45 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren ve pH 4 SiO₂-MPS'nin yanısıra Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ içeren kompozitlerin elastisite modülü

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)				Tokluk (J)*
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
4 – 7	50.0	50.0	100.0	-	-	-	0.0040 (0.0001) ^a
4 – 7 – AZT	50.0	50.0	94.5	2.5	2.5	0.5	0.0071 (0.0008) ^b

pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Tokluk Sonuçları

pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozit tokluk değeri Çizelge 5. 46'da verilmiştir.

Çizelge 5. 46 pH 7 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin tokluk değerleri

Örnek Grup No	Organik (Ağırlık %)	İnorganik (Ağırlık %)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Tokluk (J)
			SiO ₂	
7 – 1	50.0	50.0	100.0	0.0026 (0.0007)

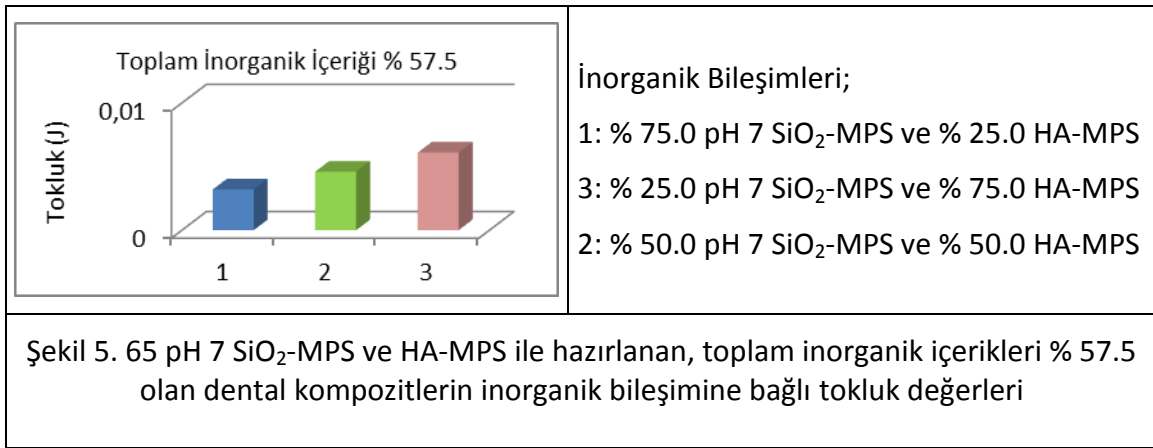
Toplam inorganik miktarı % 57.5 olan ve farklı pH 7 SiO₂-MPS/HA-MPS oranlarında hazırlanan kompozitlerin ortalama tokluk değerleri Çizelge 5. 47'de, grafikleri ise Şekil 5. 65te verilmiştir. Bu kompozitlerin tokluk ortalamaları arasında pH 7 SiO₂-MPS/HA-MPS oranına bağlı % 95 güven düzeyinde istatistiksel farklılaşma olduğu ANOVA ile belirlendi.

Çizelge 5. 47 pH 7 SiO₂-MPS, HA-MPS ve Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ içeren dental kompozitlerin tokluk değerleri

Örnek Grup No	Örnek Alt Grup No	Organik (%Ağırlık)	İnorganik (%Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (Ağırlık %)					Tokluk (J)*
				SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
7 – 2	1	42.5	57.5	75.0	25.0	-	-	-	0.0032 (0.0002) ^a
	2			50.0	50.0	-	-	-	0.0046 (0.0007) ^{a,b}
	3			25.0	75.0	-	-	-	0.0061 (0.0008) ^b
7 – 2 – AZT	1	42.5	57.5	75.0	19.5	2.5	2.5	0.5	0.0040 (0.0001) ^a

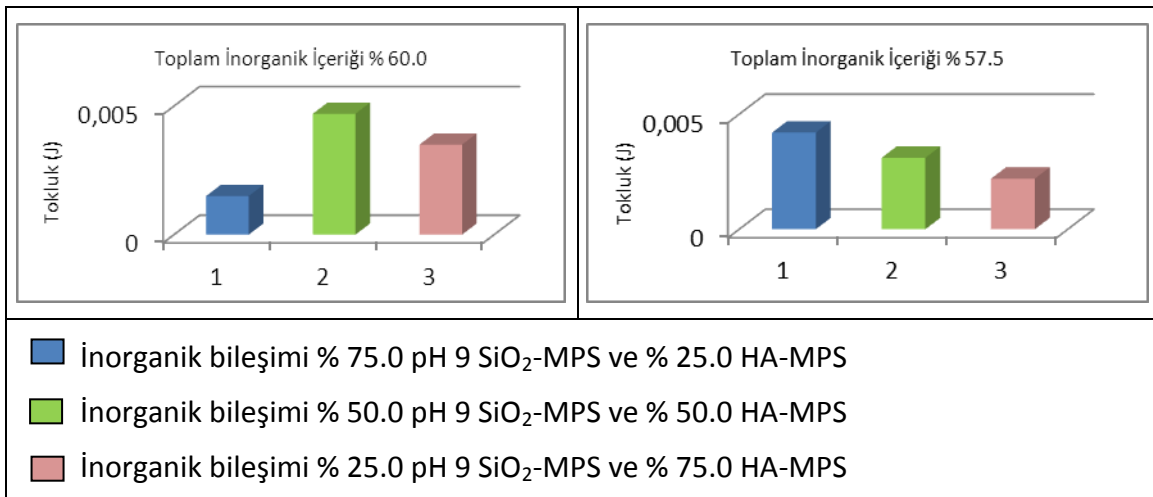
* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Tukey HSD testi ile alt grup 1 tokluk ortalamasının alt grup 3 tokluk ortalamasından % 95 güven düzeyinde farklı olduğu, alt grup 2 tokluk ortalamasının ise alt grup 1 ve alt grup 3 tokluk ortalamasından farklı olmadığı belirlendi. Buna göre bu kompozitlerde ortalama tokluk değerleri pH 7 SiO_2 -MPS ve HA-MPS oranına bağlı olarak değişmektedir ve HA-MPS oranındaki artış ile artmaktadır. İnorganik iğinin % 75.0'ı pH 7 SiO_2 -MPS olan kompozite Al_2O_3 , ZrO_2 ve TiO_2 ilavesinin ortalama tokluk üzerine bir etkisi olmadığı görölmektedir (Çizelge 5. 47).



pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Tokluk Sonuçları

İnorganik kısmı pH 9 SiO_2 -MPS içeren kompozitlerin ortalama tokluk değerleri Çizelge 5. 48'de, grafikleri ise Şekil 5. 66'da verilmiştir.



Şekil 5. 66 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO_2 -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO_2 – HA bileşimlerine bağlı tokluk değerleri

Çizelge 5. 48 pH 9 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin tokluk değerleri

Örnek Grup No	Örnek Alt Grup No	Organik (Ağırlık %)	İnorganik (Ağırlık %)	İnorganik Bileşimi (Ağırlık %)		Tokluk (J)*
				SiO ₂	HA	
9 – 1	-	45.0	55.0	100.0	-	-
9 – 2	1	40.0	60.0	75.0	25.0	0.0015 (0.0004) ^a
	2			50.0	50.0	0.0047 (0.0004) ^b
	3			25.0	75.0	0.0035 (0.0004) ^b
9 – 3	1	42.5	57.5	75.0	25.0	0.0042 (0.0016) ^a
	2			50.0	50.0	0.0031 (0.0013) ^a
	3			25.0	75.0	0.0022 (0.0007) ^a
9 – 4	-	50.0	50.0	100.0	-	-

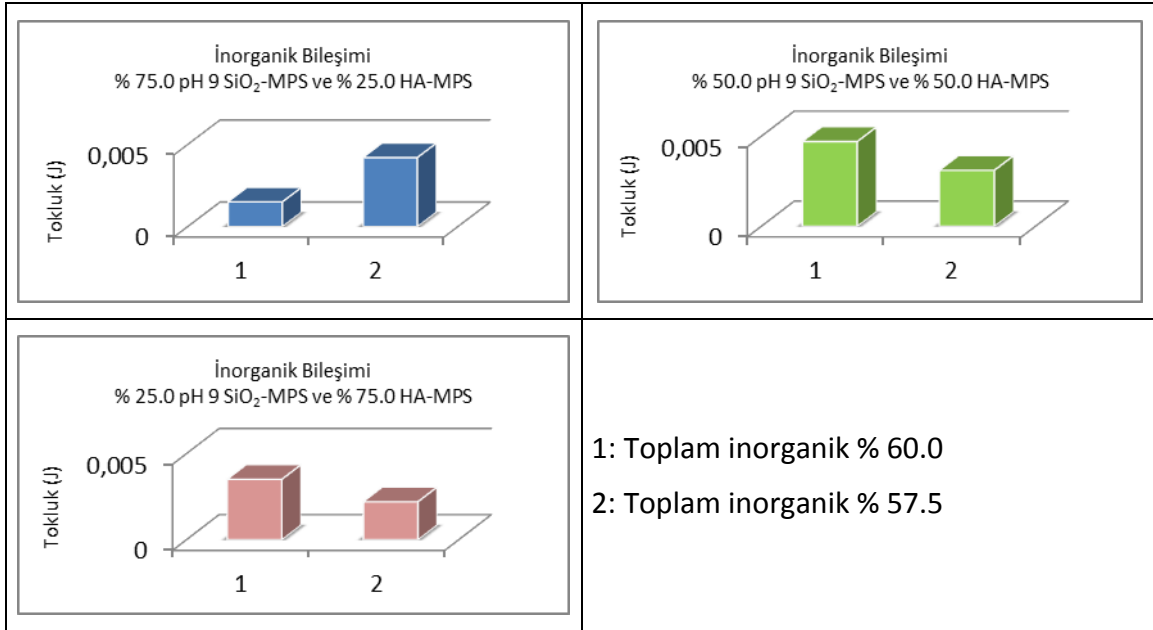
İnorganik miktarı % 60.0 olan 9 – 2 kompozitlerde pH 9 SiO₂-MPS/HA-MPS oranına bağlı olarak ortalama tokluk değerlerinin % 95 güven düzeyinde farklılaştığı ANOVA ile belirlendi. Bu farklılığın inorganik bileşiminin % 75.0'ı pH 9 SiO₂-MPS'den oluşturulan alt grup 1'den kaynaklandığı Tukey HSD testi ile belirlendi. İnorganik miktarı % 57.5 olan kompozitlerde ise tokluk ortalamalarının pH 9 SiO₂-MPS/HA-MPS oranına bağlı olarak % 95 güven düzeyinde farklılaşmadığı ANOVA ile belirlendi.

Çizelge 5. 49 pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı tokluk değerleri

Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Tokluk (J)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
9 – 2	40.0	60.0	0.0015 (0.0004) ^a	0.0047 (0.0004) ^a	0.0035(0.0004) ^a
9 – 3	42.5	57.5	0.0042 (0.0016) ^a	0.0031 (0.0013) ^a	0.0022 (0.0007) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

pH 9 SiO_2 -MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı tokluk ortalama değerlerindeki değişimi belirlemek üzere inorganik bileşimleri aynı, inorganik miktarları farklı olan kompozitler T-testi ile % 95 güven düzeyinde karşılaştırıldı ve sonuçlar Çizelge 5. 49’da verildi. İnorganik miktarına bağlı olarak sonuçlar ayrıca Şekil 5. 67’de verilmiştir. Yapılan T-testine göre kompozitlerin tokluk ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma yoktur.

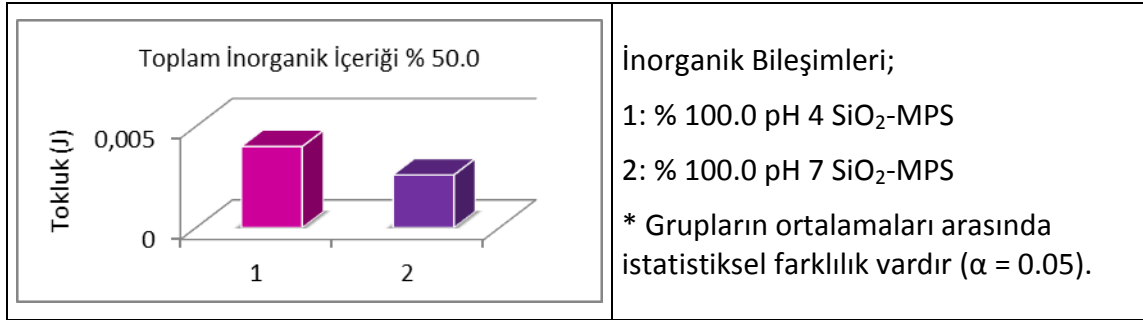


Şekil 5. 67 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO_2 -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO_2 – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı tokluk değerleri

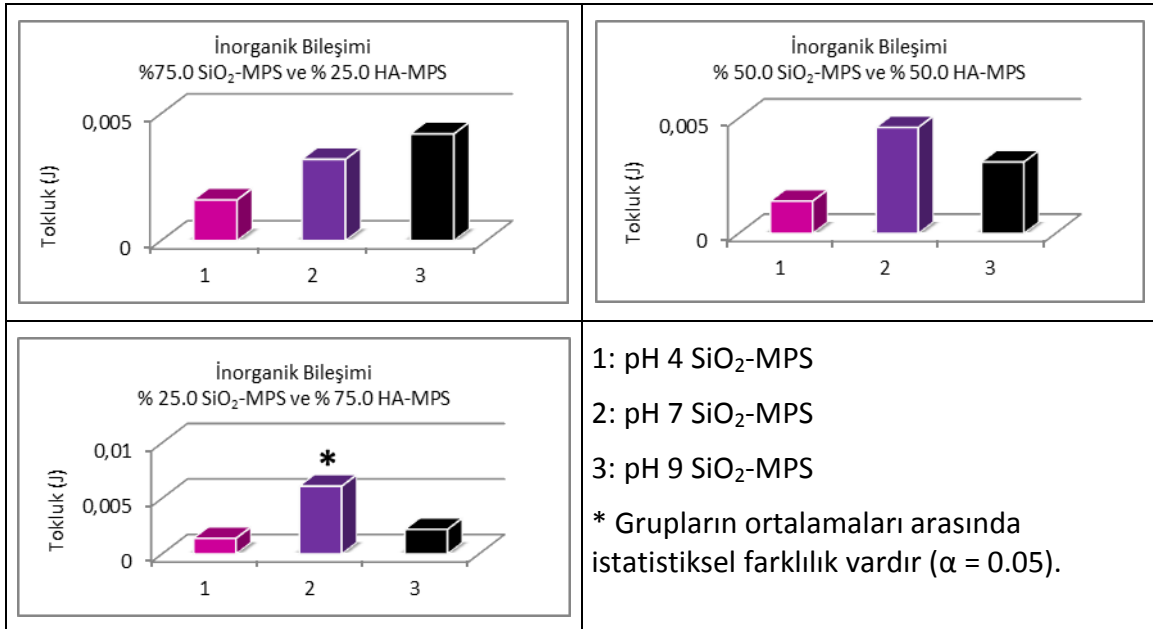
İnorganik miktarı % 50.0 olan ve pH 4 SiO_2 -MPS veya pH 7 SiO_2 -MPS’den oluşturulan 4 – 7 ve 7 – 1 grup numaralı kompozitlerin tokluk grafiği Şekil 5. 68’de verilmiştir. pH 4 SiO_2 -MPS içeren kompozit tokluk ortalaması pH 7 SiO_2 -MPS içeren kompozit tokluk ortalamasından yüksektir, ancak aralarında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma yoktur (T-testi).

İnorganik olarak % 75.0 SiO_2 -MPS ve % 25.0 HA-MPS içeren alt grup 1, % 50.0 SiO_2 -MPS ve % 50.0 HA-MPS içeren alt grup 2 kompozitlerde kullanılan SiO_2 -MPS türüne bağlı olarak tokluk ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi (Şekil 5. 69). İnorganik olarak % 25.0 SiO_2 -MPS ve % 75.0 HA-MPS içeren alt grup 3 kompozitlerde pH 7 SiO_2 -MPS içeren kompozit tokluk

ortalaması % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklı ve pH 4 SiO₂-MPS ve pH 9 SiO₂-MPS içeren kompozit tokluk ortalamalarından yüksektir (ANOVA ve Tukey HSD).

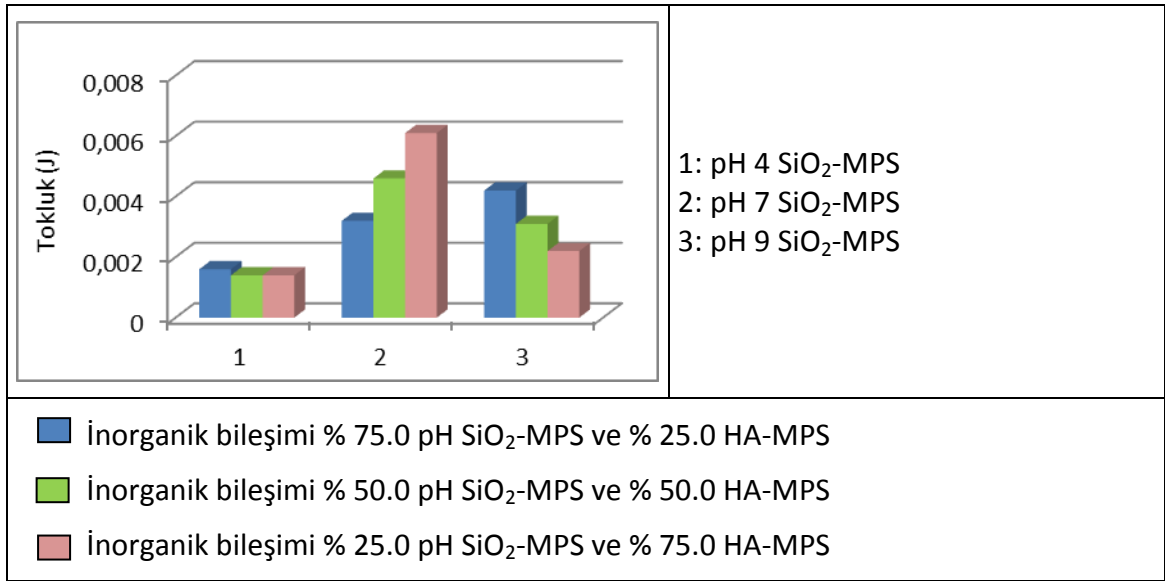


Şekil 5. 68 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganikliği % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı tokluk değerleri



Şekil 5. 69 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı tokluk değerleri

Genel olarak inorganik miktarı % 57.5 olan kompozitlerde inorganik bileşimi pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS karışımından oluşturulan kompozitlerin tokluk değerlerinin daha yüksek olduğu Şekil 5. 70'te verilen grafikte görülmektedir.



Şekil 5. 70 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı tokluk değerleri

5.4.2 Su Testi Sonuçları

5.4.2.1 Su Absorpsiyonu Sonuçları

pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Su Absorpsiyonu Sonuçları

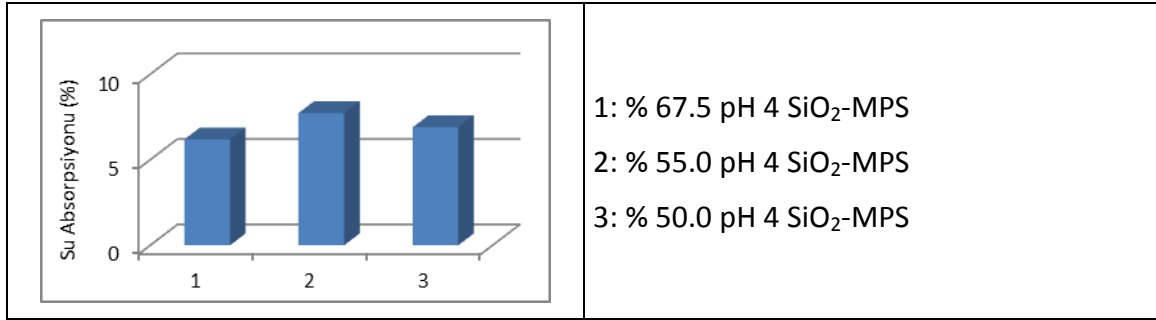
İnorganik olarak farklı miktarlarda pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin su absorpsiyonu değerleri Çizelge 5. 50’de verilmiştir. Grup numaraları 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 3 olan kpmpozitlerin ortalama su absorpsiyonu değerleri arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılaşma olduğu ANOVA, tüm grup ortalamalarının % 95 güven düzeyinde farklı olduğu ise Tukey HSD analizi ile belirlendi.

Çizelge 5. 50 pH 4 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin su absorpsiyonu değerleri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (Ağırlık %)	Su Abs. (% Ağırlık)*
			SiO ₂	
4 – 1	32.5	67.5	100.0	6.19 (0.08) ^a
4 – 2	45.0	55.0	100.0	7.73 (0.23) ^b
4 – 7	50.0	50.0	100.0	6.89 (0.41) ^c

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

İnorganik olarak % 55.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozit bu grup içerisinde en yüksek % su absorpsiyonuna sahip kompozittir (Şekil 5. 71).



Şekil 5. 71 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH4 SiO₂-MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % su absorpsiyonu değerleri

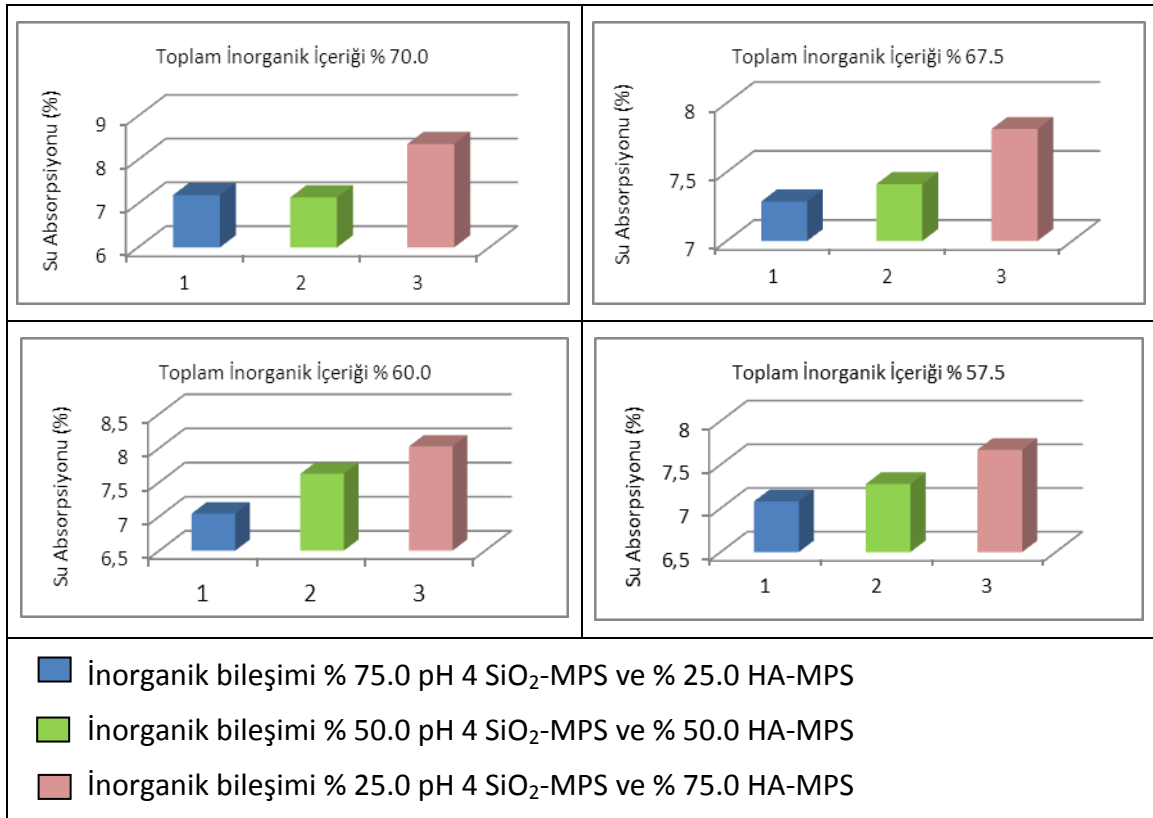
İnorganik kısmı pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS'den oluşturulan kompozitlerin % su absorpsiyonu ortalama değerleri Çizelge 5. 51'de, grafikleri ise Şekil 5. 72'de verilmiştir.

Çizelge 5. 51 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren dental kompozitlerin % su absorpsiyonu değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)		Su Abs. (% Ağırlık)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
4 – 3	1	30.0	70.0	75.0	25.0	7.20 (0.13) ^a
	2			50.0	50.0	7.14 (0.16) ^a
	3			25.0	75.0	8.36 (0.59) ^b
4 – 4	1	32.5	67.5	75.0	25.0	7.29 (0.08) ^a
	2			50.0	50.0	7.41 (0.07) ^a
	3			25.0	75.0	7.81 (0.19) ^b
4 – 5	1	40.0	60.0	75.0	25.0	7.04 (0.11) ^a
	2			50.0	50.0	7.63 (0.22) ^b
	3			25.0	75.0	8.03 (0.10) ^c
4 – 6	1	42.5	57.5	75.0	25.0	7.08 (0.16) ^a
	2			50.0	50.0	7.28 (0.26) ^a
	3			25.0	75.0	7.67 (0.57) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

Grup numarası 4 – 3 ve 4 – 4 olan kompozitlerde % 75.0 HA-MPS içeren alt grup 3 kompozitlerin % su absorpsiyonu ortalaması alt grup 1 ve 2’den yüksektir. Yapılan ANOVA analizine göre % su absorpsiyonu sonuçları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılaşma vardır. Tukey HSD testi farklılaşmanın alt grup 3’ten kaynaklandığını göstermiştir. İnorganik miktarı % 60.0 olan 4 – 5 grup numaralı kompozitlerde pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS oranına bağlı olarak % su absorpsiyonunun değiştiği görülmektedir. HA-MPS oranındaki artış ile % su absorpsiyonu artmıştır. Yapılan ANOVA ve Tukey HSD testi sonucunda 4 – 5 grup numaralı kompozit tüm alt gruplarının ortalamaları % 95 güven düzeyinde farklıdır. İnorganik içeriği % 57.5 olan 4 – 6 grup numaralı kompozitlerde pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS oranına bağlı % 95 güven düzeyinde bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi.



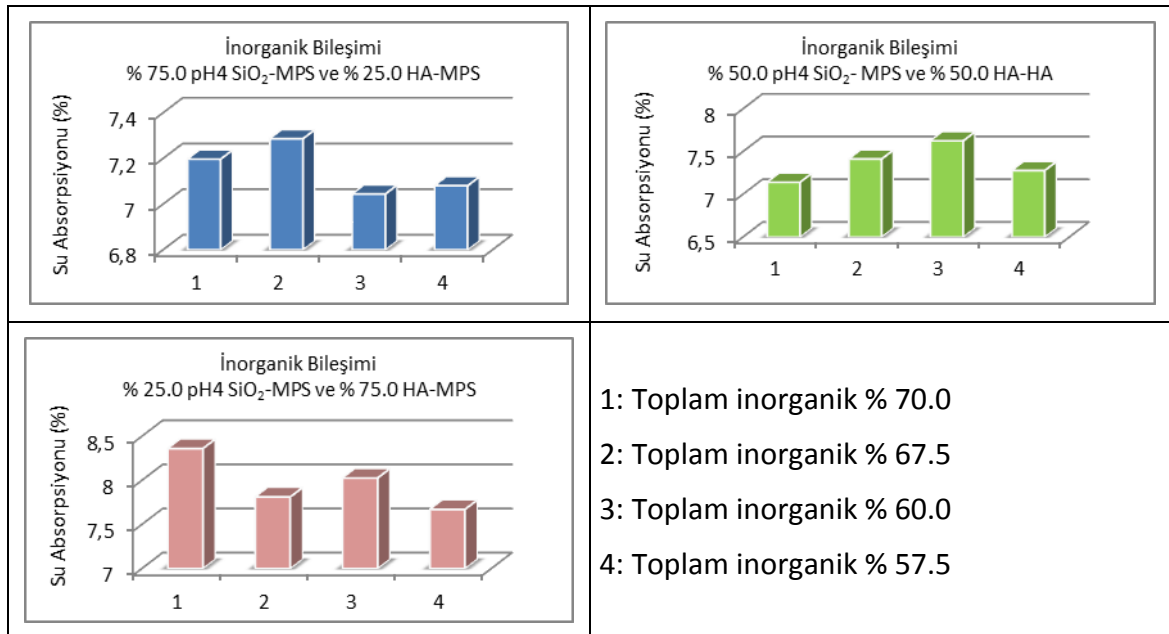
Şekil 5. 72 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde HA-MPS oranındaki artış ile kompozitlerin % su absorpsiyonunun arttığı söylenebilir.

İnorganik pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS'den oluşturulan kompozitlerin toplam inorganik miktarına bağlı olarak ortalama % su absorpsiyonu değerleri Çizelge 5. 52'de, grafikleri Şekil 5. 73 ve 5. 74'te verilmiştir.

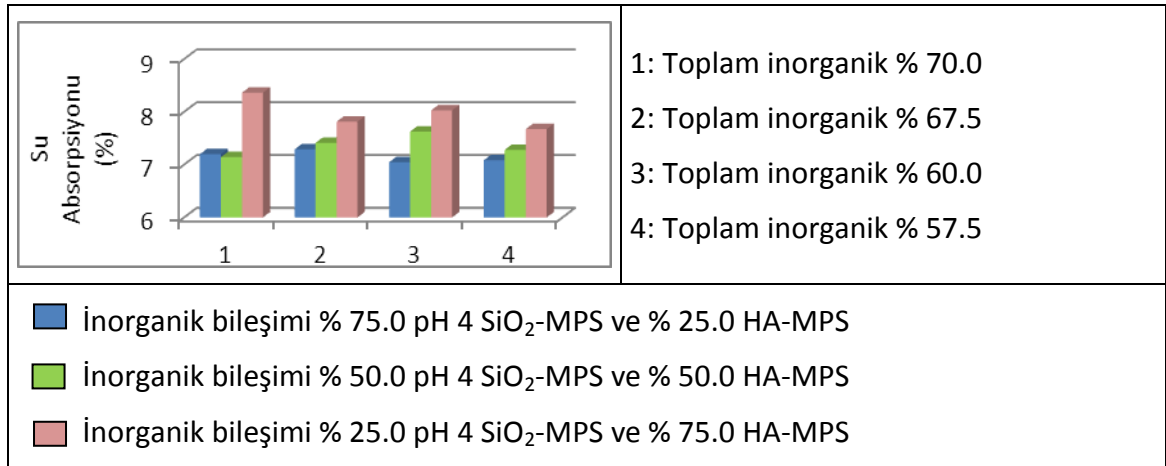
Çizelge 5. 52 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % su absorpsiyonu değerleri

Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Su Absorpsiyonu (% Ağırlık)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
4 – 3	30.0	70.0	7.20 (0.13) ^a	7.14 (0.16) ^a	8.36 (0.59) ^a
4 – 4	32.5	67.5	7.29 (0.08) ^a	7.41 (0.07) ^a	7.81 (0.19) ^a
4 – 5	40.5	60.0	7.04 (0.11) ^a	7.63 (0.22) ^a	8.03 (0.10) ^a
4 – 6	42.5	57.5	7.08 (0.16) ^a	7.28 (0.26) ^a	7.67 (0.57) ^a



Şekil 5. 73 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5. 74 İnorganik doldurucu olarak pH4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri

İnorganik pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS’den oluşturulan kompozitlerin % su absorpsiyonu ortalamaları arasında inorganik içeriğine bağlı olarak % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olmadığı yapılan ANOVA analizi ile belirlendi.

Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozite Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ ilavesinin kompozit % su absorpsiyonunda % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşmaya neden olmadığı yapılan T-testi ile belirlendi (Çizelge 5. 53).

Çizelge 5. 53 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren ve pH 4 SiO₂-MPS’nin yanısıra Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ içeren kompozitlerin % su absorpsiyonu

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (Ağırlık %)				Su Abs. (Ağırlık %)*
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
4 – 7	50.0	50.0	100.0	-	-	-	6.89 (0.41) ^a
4 – 7 – AZT	50.0	50.0	94.5	2.5	2.5	0.5	6.56 (0.65) ^a

pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Su Absorpsiyonu Sonuçları

İnorganik kısmı pH 7 SiO₂-MPS’den oluşturulan kompozit ortalama % su absorpsiyonu Çizelge 5. 54’te verilmiştir. pH 7 SiO₂-MPS, HA-MPS ve Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ içeren dental kompozitlerin % su absorpsiyonu değerleri ise Çizelge 5. 55’te verilmiştir. pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerde pH 7 SiO₂-MPS/HA-MPS oranına bağlı olarak % su absorpsiyonu ortalamalarında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi.

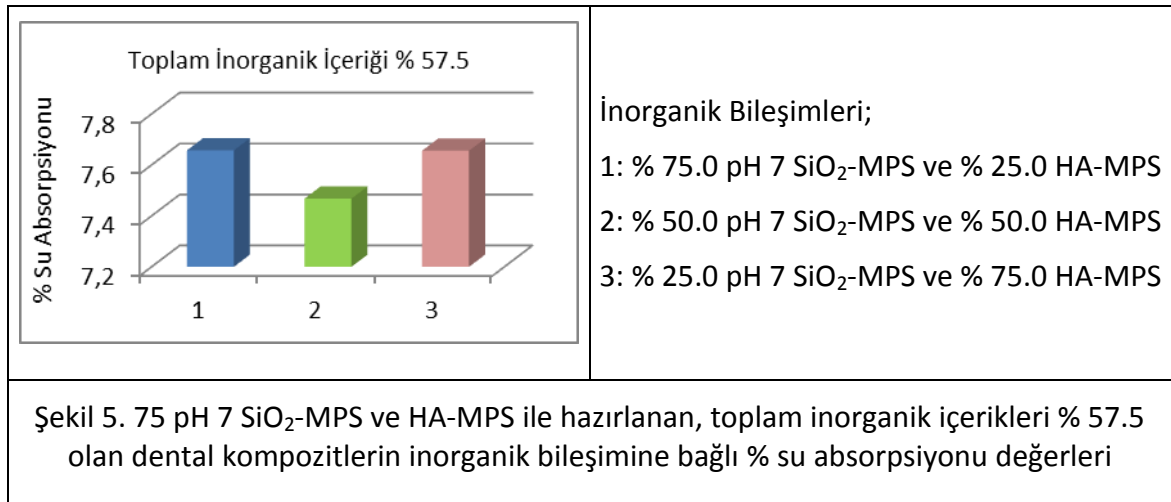
Çizelge 5. 54 pH 7 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin su absorpsiyonu değerleri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Su Abs. (% Ağırlık)
			SiO ₂	
7 – 1	50.0	50.0	100.0	11.93 (1.38)

Çizelge 5. 55 pH 7 SiO₂-MPS, HA-MPS ve Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ içeren dental kompozitlerin % su absorpsiyonu değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (Ağırlık %)					Su Abs.* (%Ağırlık)
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
7 – 2	1	42.5	57.5	75.0	25.0	-	-	-	7.66 (1.16) ^a
	2			50.0	50.0	-	-	-	7.47 (0.39) ^a
	3			25.0	75.0	-	-	-	7.66 (0.09) ^a
7 – 2 – AZT	1	42.5	57.5	75.0	19.5	2.5	2.5	0.5	7.43 (0.92) ^a

% 75.0 pH 7 SiO₂-MPS, % 19.4 HA-MPS, % 2.5 Al₂O₃, % 2.5 ZrO₂ ve % 0.5 TiO₂ içeren kompozit % su absorpsiyon ortalaması da istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren diğer kompozitlerin ortalama % su absorpsiyonu değerlerinden farklı değildir.



* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

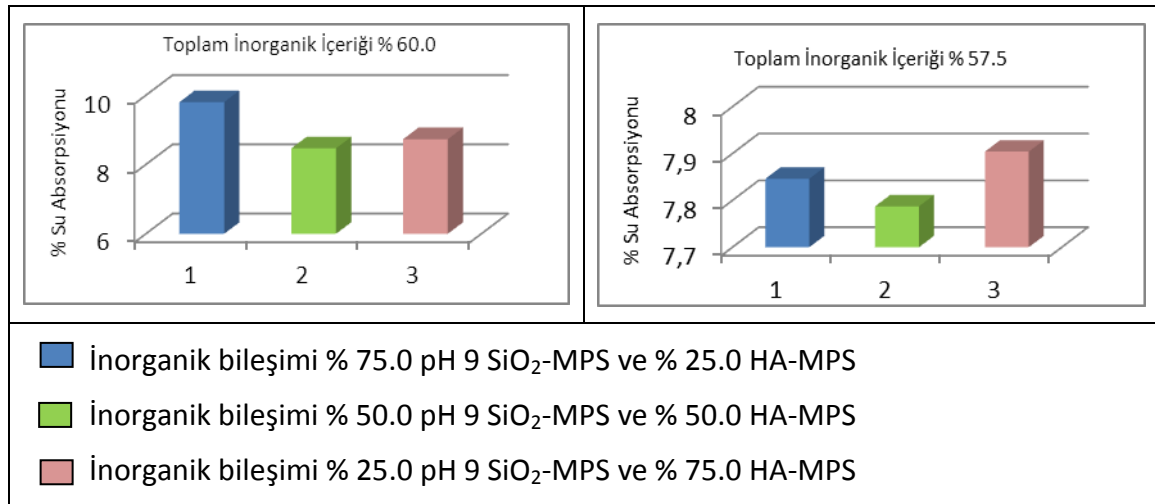
pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Su Absorpsiyonu Sonuçları

pH 9 SiO₂-MPS tozlarını içeren kompozitlerin % su absorpsiyonu dğerleri Çizelge 5. 56'da verilmiştir.

Çizelge 5. 56 pH 9 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin su absorpsiyonu dğerleri

Örnek		Organik (Ağırlık %)	İnorganik (Ağırlık %)	İnorganik Bileşimi (Ağırlık %)		Su Abs. (Ağırlık %)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
9 – 1	-	45.0	55.0	100.0	-	-
9 – 2	1	40.0	60.0	75.0	25.0	9.80 (0.19) ^a
	2			50.0	50.0	8.46 (0.10) ^b
	3			25.0	75.0	8.72 (0.04) ^b
9 – 3	1	42.5	57.5	75.0	25.0	7.85 (0.14) ^a
	2			50.0	50.0	7.79 (0.31) ^a
	3			25.0	75.0	7.90 (0.45) ^a
9 – 4	-	50.0	50.0	100.0	-	-

İnorganik olarak sadece pH 9 SiO₂-MPS içeren 9 – 1 ve 9 – 4 grup numaralı kompozitler tam sertleşmediğinden % su absorpsiyonu dğerleri belirlenmedi.



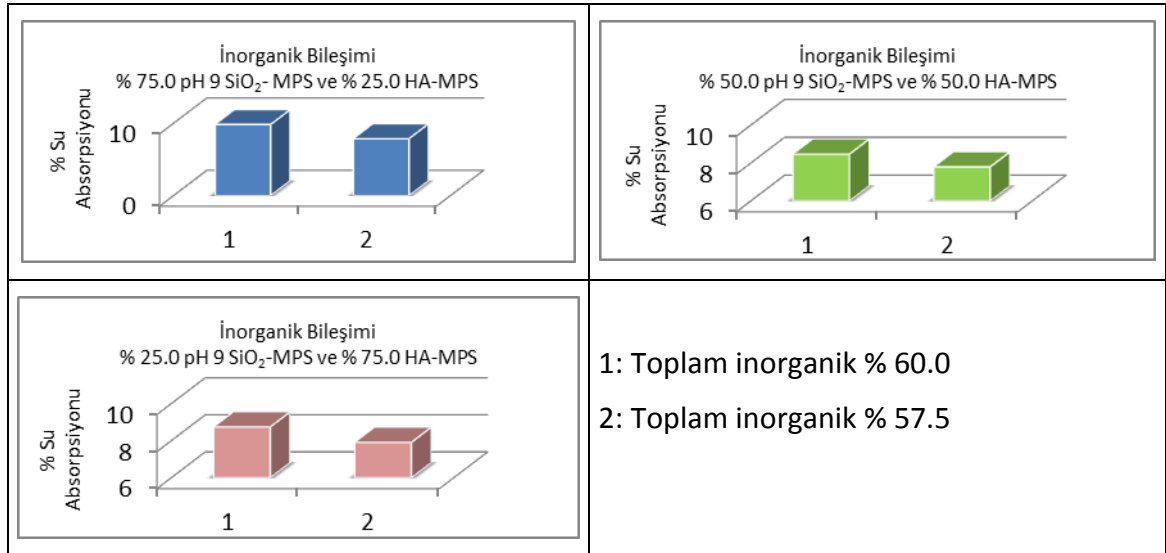
Şekil 5. 76 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu dğerleri

* Standart sapma dğerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı dğerleri temsil etmektedir.

İnorganik olarak pH 9 SiO_2 -MPS tozları ve HA-MPS tozlarını içeren 9 – 2 ve 9 – 3 grup numaralı kompozitlerin pH 9 SiO_2 -MPS ve HA-MPS bileşimlerine bağlı % su absorpsiyonu grafikleri Şekil 5. 76'da verilmiştir. İnorganik içeriği % 60.0 olan kompozitlerde inorganik bileşiminin % 75.0'ı pH 9 SiO_2 -MPS'den oluşturulan kompozit % su absorpsiyonu ortalaması alt grup 2 ve 3'ün % su absorpsiyonu ortalamalarından % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklıdır (ANOVA ve Tukey HSD).

İnorganik içeriği % 57.5 olan grup 9 – 3 kompozitlerin % su absorpsiyonu ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılık yoktur (ANOVA).

İnorganik miktarları % 60.0 ve 57.5 olan ve grup numaraları sırasıyla 9 – 2 ve 9 – 3 olan kompozitlerin inorganik miktarına bağlı % su absorpsiyonu ortalama değerleri Çizelge 5. 57'de, grafikleri ise Şekil 5. 77'de verilmiştir. Alt grup 1 ve 2'de inorganik miktarına bağlı % su absorpsiyonu ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel farklılaşma olduğu T-testi ile belirlendi. Alt grup 3 ortalamaları arasında ise % 95 güven düzeyinde farklılaşma yoktur.

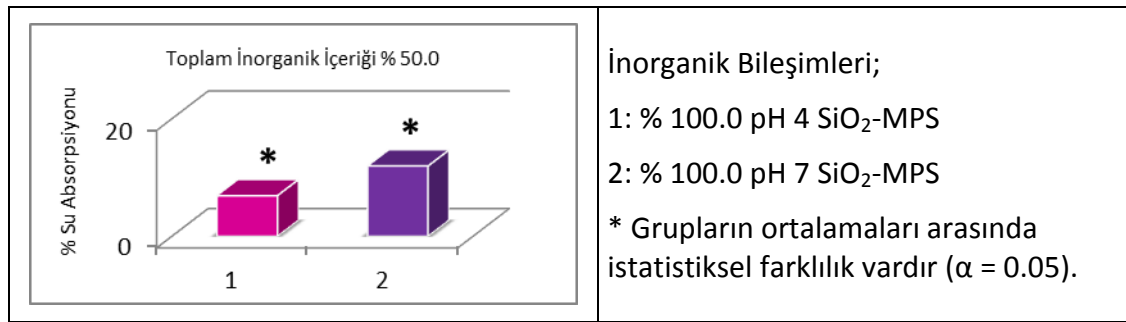


Şekil 5. 77 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO_2 -MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO_2 – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % su absorpsiyonu değerleri

Çizelge 5. 57 pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % su absorpsiyonu değerleri

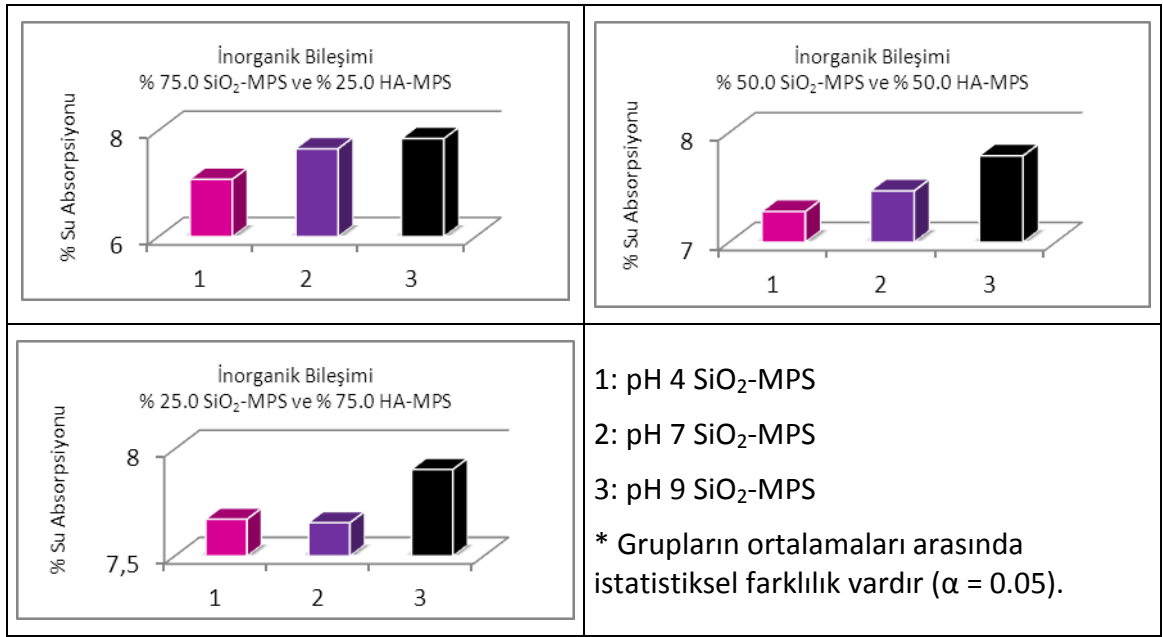
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Su Absorpsiyonu (% Ağırlık)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
9 – 2	40.0	60.0	9.80 (0.19) ^a	8.46 (0.10) ^a	8.72 (0.04) ^a
9 – 3	42.5	57.5	7.85 (0.14) ^b	7.79 (0.31) ^b	7.90 (0.45) ^a

İnorganik miktarı % 50.0 olan ve pH 4 SiO₂-MPS veya pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan 4 – 7 ve 7 – 1 grup numaralı kompozitlerin % su absorpsiyonu grafiği Şekil 5. 78'de verilmiştir. pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozit % su absorpsiyonu ortalaması pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozit % su absorpsiyonu ortalamasından düşüktür ve aralarında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma vardır (T-testi).

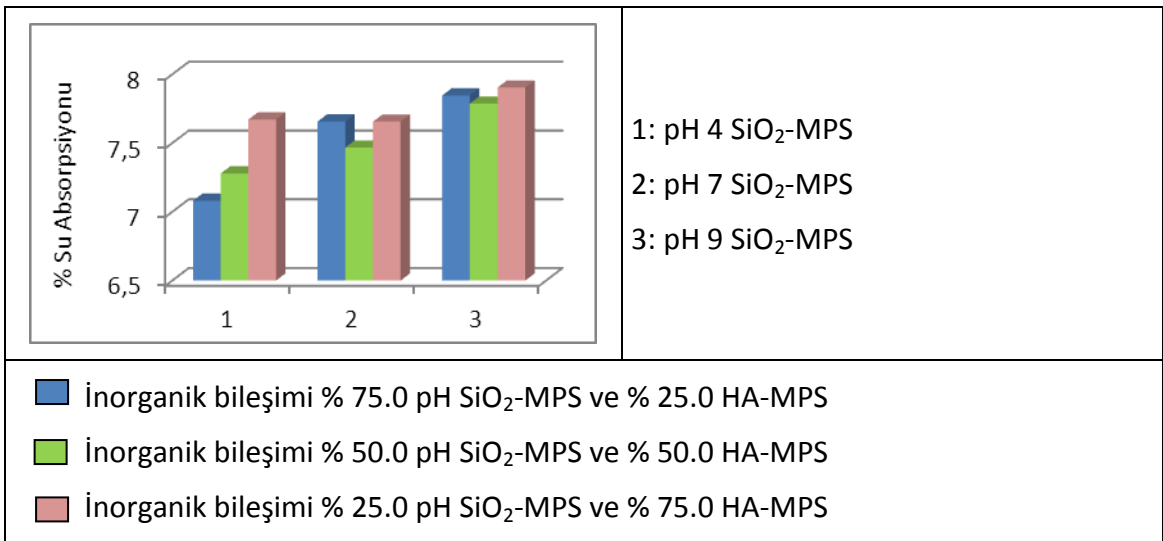


Şekil 5. 78 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganikliği % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % su absorpsiyonu değerleri

İnorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin % su absorpsiyonu grafikleri Şekil 5. 79'da verilmiştir. pH 9 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin % su absorpsiyonu ortalamaları pH 4 ve pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin % su absorpsiyonu ortalamalarından daha yüksek olamla birlikte, grupların % su absorpsiyonu ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi.



Şekil 5. 79 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % su absorpsiyonu değerleri



Şekil 5. 80 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % su absorpsiyonu değerleri

5.4.2.2 Suda Çözünürlük Sonuçları

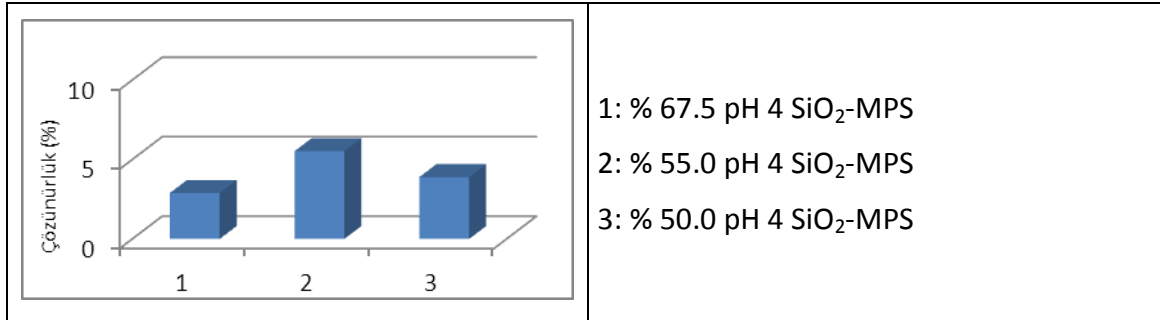
pH 4 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Suda Çözünürlük Sonuçları

İnorganik olarak % 67.5, 55.0 ve 50.0 pH 4 SiO₂-MPS içeren dental kompozitlerin çözünürlük değerleri Çizelge 5. 58’de verilmiştir.

Çizelge 5. 58 pH 4 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin çözünürlük değerleri

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Çözünürlük (% Ağırlık)*
			SiO ₂	
4 – 1	32.5	67.5	100.0	2.88 (0.01) ^a
4 – 2	45.0	55.0	100.0	5.52 (0.16) ^b
4 – 7	50.0	50.0	100.0	3.89 (1.09) ^a

Sadece pH 4 SiO₂-MPS içeren bu kompozitlerin çözünürlük ortalamaları % 95 güven düzeyinde farklıdır ve farklılık 4 – 2 grup numaralı kompozit çözünürlük ortalamasından kaynaklanmaktadır (ANOVA, Tukey HSD), (Şekil 5. 81).



Şekil 5. 81 İnorganik malzeme olarak % 50.0, 55.0 ve 67.5 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren deneysel dental kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % çözünürlük değerleri

İnorganik olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren 4 – 3, 4 – 4, 4 – 5 ve 4 – 6 grup numaralı kompozitlerin % çözünürlük değerleri bileşimlerine bağlı olarak Çizelge 5. 59’da, grafikleri Şekil 5. 82’de verilmiştir. İnorganik miktarı % 70.0 olan 4 – 3 grup numaralı kompozit ve inorganik miktarı % 57.5 olan 4 – 6 grup numaralı kompozit alt grupları çözünürlük ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

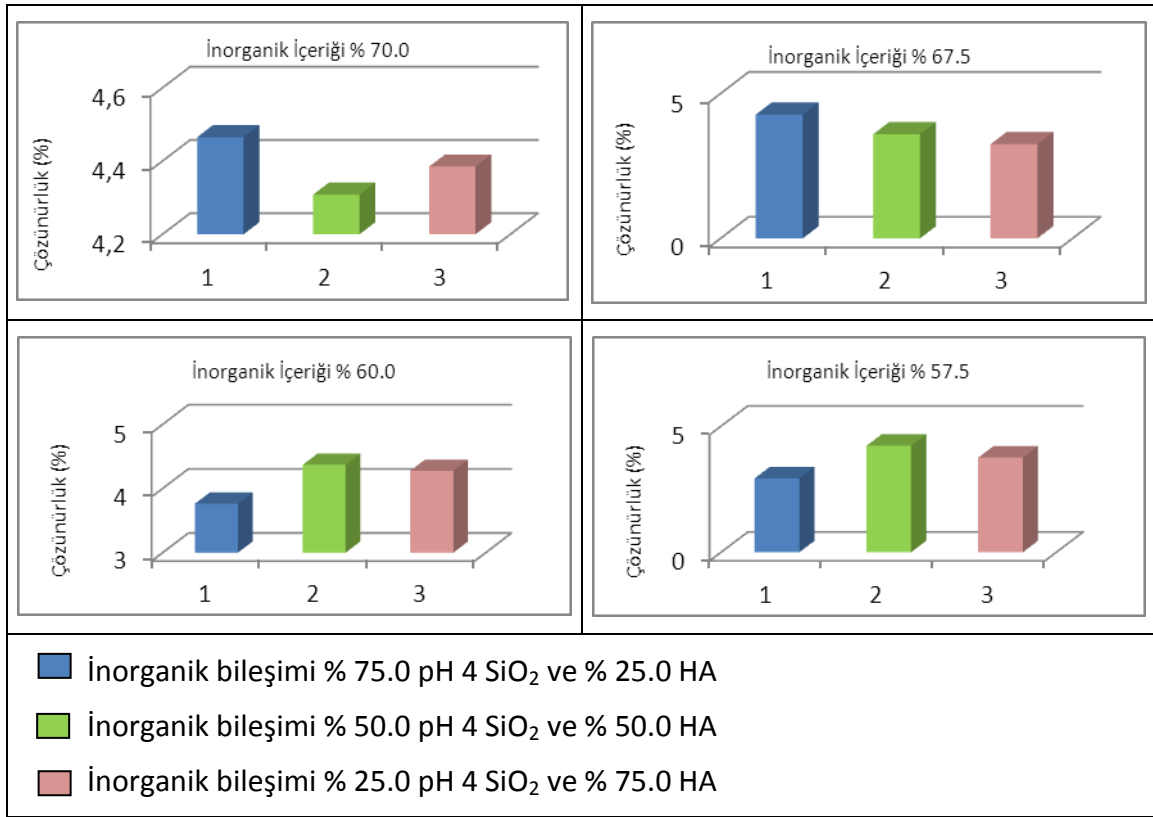
Çizelge 5. 59 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren dental kompozitlerin % çözünürlük değerleri

Örnek		Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)		Çözünürlük (% Ağırlık)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
4 – 3	1	30.0	70.0	75.0	25.0	4.47 (0.17) ^a
	2			50.0	50.0	4.31 (0.09) ^a
	3			25.0	75.0	4.39 (0.48) ^a
4 – 4	1	32.5	67.5	75.0	25.0	4.27 (0.04) ^a
	2			50.0	50.0	3.59 (0.08) ^b
	3			25.0	75.0	3.25 (0.04) ^c
4 – 5	1	40.0	60.0	75.0	25.0	3.76 (0.10) ^a
	2			50.0	50.0	4.37 (0.11) ^b
	3			25.0	75.0	4.28 (0.14) ^b
4 – 6	1	42.5	57.5	75.0	25.0	2.93 (0.86) ^a
	2			50.0	50.0	4.22 (0.89) ^a
	3			25.0	75.0	3.75 (1.11) ^a

İnorganik miktarı % 67.5 ve % 60.0 olan ve grup numaraları sırasıyla 4 – 4 ve 4 – 5 olan kompozitlerin % çözünürlük ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde farklılaşma olduğu ANOVA ile belirlendi. Tukey HSD ile 4 – 4 grup numaralı kompozit tüm alt gruplarının % çözünürlük ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde farklılaşma olduğu, 4 – 5 grup numaralı kompozitlerde ise farklılaşmanın alt grup 1’den kaynaklandığı belirlendi.

pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin toplam inorganik miktarlarına bağlı % çözünürlük değerleri Çizelge 5. 60’ta, garfikleri ise Şekil 5. 83’te verilmiştir. Alt grup 1 kompozitlerin % çözünürlük ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde farklılaşma olduğu ANOVA ile belirlendi. Buna göre inorganik bileşiminin % 75.0’ı pH 4 SiO₂-MPS ile oluşturulan kompozitlerde inorganik miktarına bağlı bir farklılaşma olduğu söylenebilir. Farklılığın kaynaklandığı grubu belirlemek üzere Tukey HSD testi yapıldı. Buna göre, inorganik miktarı % 70.0, 67.5 ve 60.0 olan kompozitlerin % çözünürlük ortalamaları arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma yoktur.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



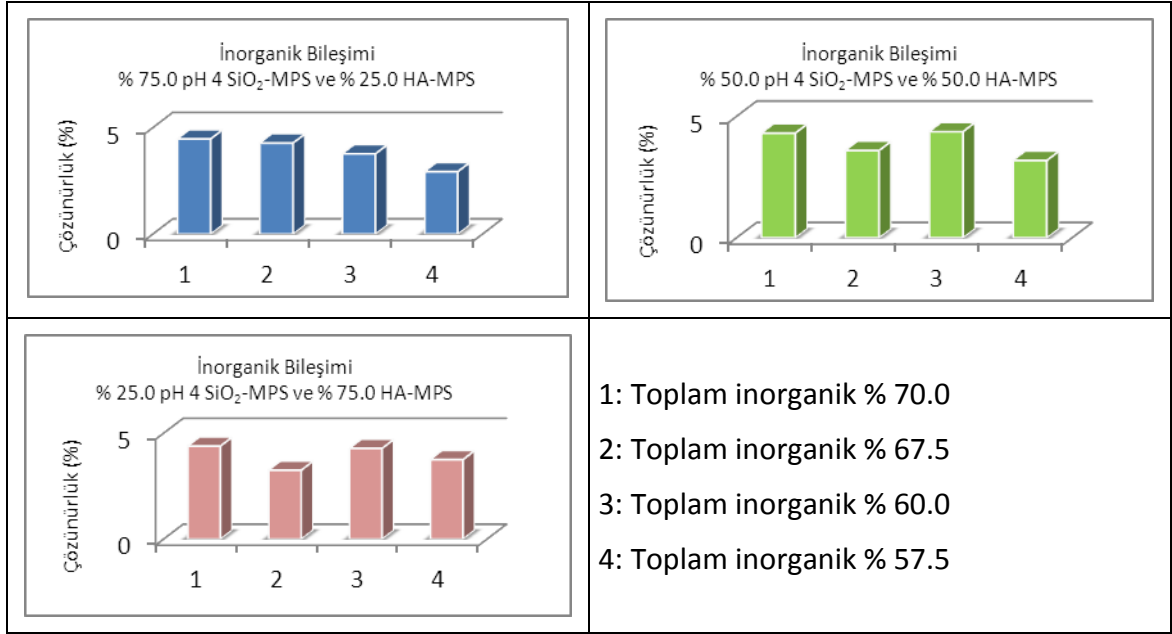
Şekil 5. 82 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri

İnorganik miktarı % 70.0 ve 67.5 olan kompozitlerin % çözünürlük ortalamaları inorganik miktarı % 57.5 olan kompozitin % çözünürlük ortalamasından % 95 güven düzeyinde farklıdır.

Çizelge 5. 60 pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % çözünürlük değerleri

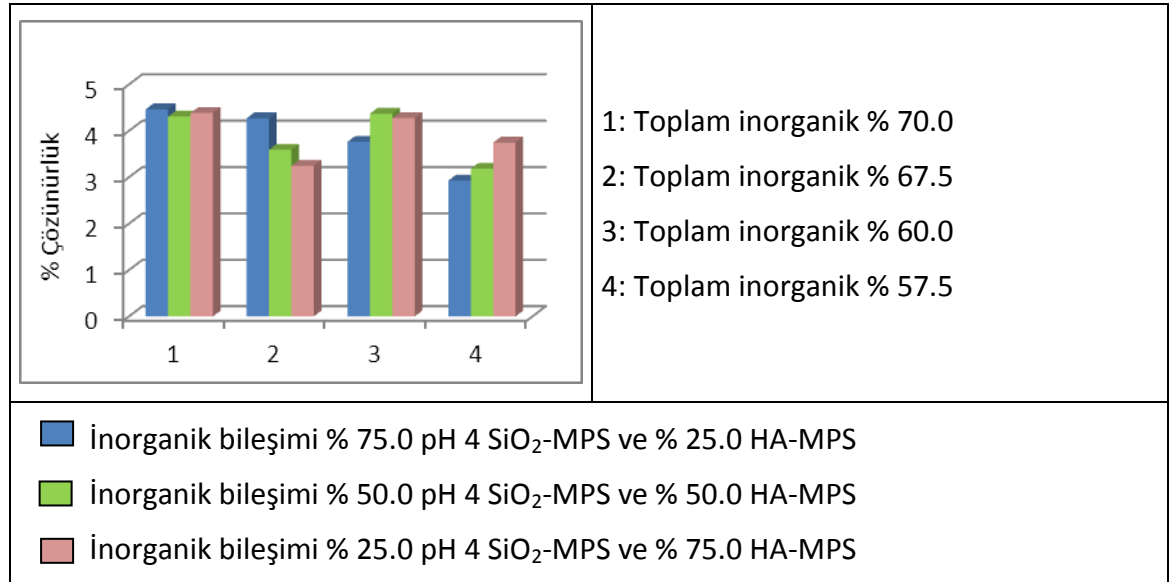
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Çözünürlük (% Ağırlık)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
4 – 3	30.0	70.0	4.47 (0.17) ^a	4.31 (0.09) ^a	4.39 (0.48) ^a
4 – 4	32.5	67.5	4.27 (0.04) ^a	3.59 (0.08) ^a	3.25 (0.04) ^a
4 – 5	40.5	60.0	3.76 (0.10) ^{a,b}	4.37 (0.11) ^a	4.28 (0.14) ^a
4 – 6	42.5	57.5	2.93 (0.86) ^b	4.22 (0.89) ^a	3.75 (1.11) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5. 83 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri

Alt grup 2 ve 3 kompozitlerin % çözünürlük ortalamaları arasında inorganik miktarına bağlı istatistiksel farklılaşma yoktur (ANOVA).



Şekil 5. 84 İnorganik doldurucu olarak pH 4 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri

Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve pH 4 SiO₂-MPS içeren kompozite Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ ilavesinin kompozit % çözünürlüğünde % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılaşmaya neden olmadığı yapılan T-testi ile belirlendi (Çizelge 5. 61).

Çizelge 5. 61 İnorganik olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS içeren ve pH 4 SiO₂-MPS'nin yanısıra Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ içeren kompozitlerin % su absorpsiyonu

Örnek Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)				Çözünürlük (% Ağırlık)*
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
4 – 7	50.0	50.0	100.0	-	-	-	3.89 (1.09) ^a
4 – 7 – AZT	50.0	50.0	94.5	2.5	2.5	0.5	2.47 (0.94) ^a

pH 7 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Suda Çözünürlük Sonuçları

İnorganik pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan kompozit % çözünürlük değeri Çizelge 5. 62'de verilmiştir.

Çizelge 5. 62 pH 7 SiO₂-MPS ile hazırlanan dental kompozitlerin çözünürlük değeri

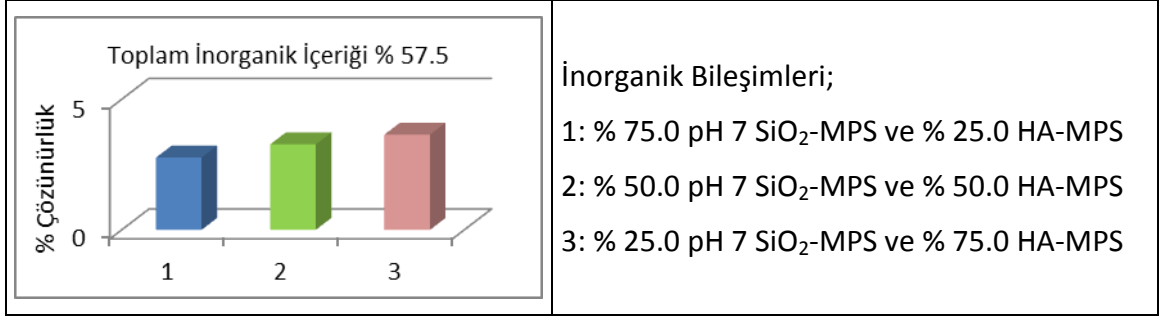
Örnek Grup No	Organik (%Ağırlık)	İnorganik (%Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)	Çözünürlük (% Ağırlık)
			SiO ₂	
7 – 1	50.0	50.0	100.0	6.45 (0.34)

İnorganik miktarı % 57.5 olan ve farklı pH 7 SiO₂-MPS/HA-MPS oranlarında oluşturulan kompozitlerin ortalama % çözünürlük değerleri arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel bir farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi (Çizelge 5. 63 ve Şekil 5. 85).

Çizelge 5. 63 pH 7 SiO₂-MPS, HA-MPS ve Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ içeren dental kompozitlerin % çözünürlük değerleri

Örnek		Organik (%Ağırlık)	İnorganik (%Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (% Ağırlık)					Çözünürlük (% Ağırlık)*
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	TiO ₂	
7 – 2	1	42.5	57.5	75.0	25.0	-	-	-	2.77 (0.65) ^a
	2			50.0	50.0	-	-	-	3.27 (0.78) ^a
	3			25.0	75.0	-	-	-	3.65 (0.77) ^a
7 – 2 – AZT	1	42.5	57.5	75.0	19.5	2.5	2.5	0.5	2.64 (0.50) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5. 85 pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS ile hazırlanan, toplam inorganik içerikleri % 57.5 olan dental kompozitlerin inorganik bileşimine bağlı % çözünürlük değerleri

% 75.0 pH 7 SiO₂-MPS, % 19.4 HA-MPS, % 2.5 Al₂O₃, % 2.5 ZrO₂ ve % 0.5 TiO₂ içeren kompozit % çözünürlük ortalaması da istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde pH 7 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren diğer kompozitlerin ortalama % çözünürlük değerlerinden farklı değildir.

pH 9 Silika İçeren Dental Kompozitlerin Suda Çözünürlük Sonuçları

pH 9 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin % çözünürlük değerleri Çizelge 5. 64'te verilmiştir.

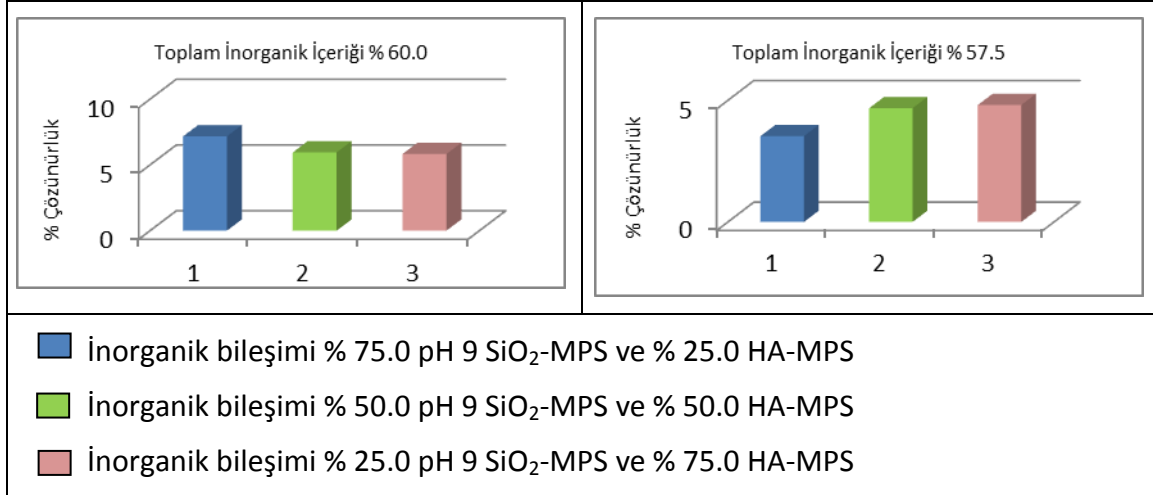
Çizelge 5. 64 pH 9 SiO₂ ile hazırlanan dental kompozitlerin çözünürlük değerleri

Örnek		Organik (%Ağırlık)	İnorganik (%Ağırlık)	İnorganik Bileşimi (%Ağırlık)		Çözünürlük (% Ağırlık)
Grup No	Alt Grup No			SiO ₂	HA	
9 – 1	-	45.0	55.0	100.0	-	-
9 – 2	1	40.0	60.0	75.0	25.0	7.16 (0.18) ^a
	2			50.0	50.0	5.95 (0.13) ^b
	3			25.0	75.0	5.83 (0.19) ^b
9 – 3	1	42.5	57.5	75.0	25.0	3.53 (0.30) ^a
	2			50.0	50.0	4.68 (0.34) ^a
	3			25.0	75.0	4.81 (0.99) ^a
9 – 4	-	50.0	50.0	100.0	-	-

İnorganik olarak sadece pH 9 SiO₂-MPS içeren 9 – 1 ve 9 – 4 grup numaralı kompozitler tam sertleşmediğinden % çözünürlük değerleri belirlenemedi.

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.

pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS'den oluşan ve inorganik içeriği % 60.0 olan 9 – 2 grup numaralı kompozitlerin % çözünürlük ortalamaları % 95 güven düzeyinde farklıdır (ANOVA). Tukey HSD testi ile farklılığın alt grup 1'den kaynaklandığı belirlendi. İnorganik içeriği % 57.5 olan 9 – 3 numaralı kompozitlerde alt gruplara bağlı % 95 güven düzeyinde istatistiksel farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi.



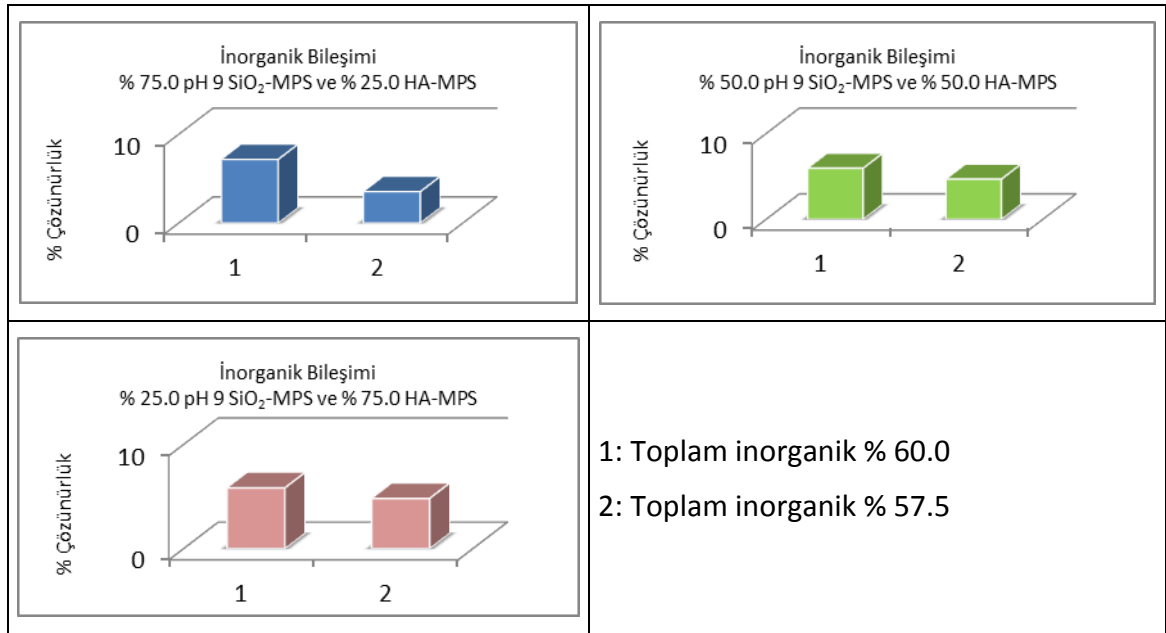
Şekil 5. 86 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin toplam inorganik içeriği ve SiO₂ – HA içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri

Bu kompozitlerin inorganik miktarına bağlı ortalama % çözünürlük değerleri Çizelge 5. 65'te, grafikleri ise Şekil 5. 87'de verilmiştir. Alt grup 1 ve 2'de inorganik miktarına bağlı olarak çözünürlük ortalamalarının % 95 güven düzeyinde farklılaştığı T-testi ile belirlendi. Ancak alt grup 3 kompozitlerde inorganik miktarına bağlı farklılaşma yoktur.

Çizelge 5. 65 pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS içeren kompozitlerin inorganik içeriğine bağlı % çözünürlük değerleri

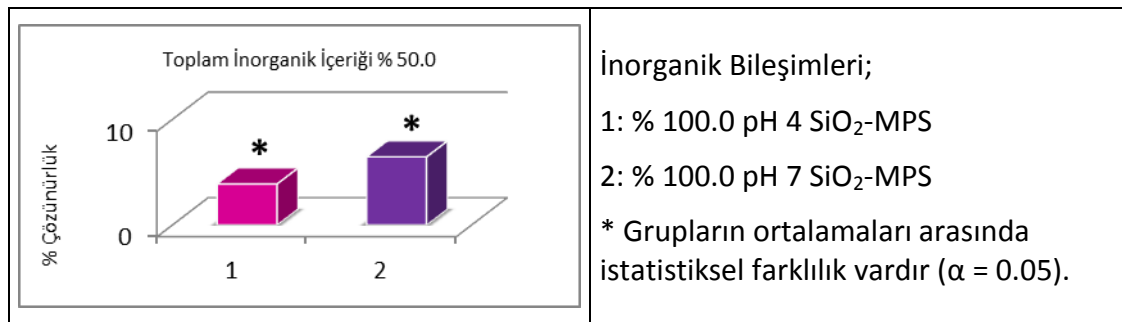
Grup No	Organik (% Ağırlık)	İnorganik (% Ağırlık)	Çözünürlük (% Ağırlık)*		
			Alt Grup No 1	Alt Grup No 2	Alt Grup No 3
9 – 2	40.0	60.0	7.16 (0.18) ^a	5.95 (0.13) ^a	5.83 (0.19) ^a
9 – 3	42.5	57.5	3.53 (0.30) ^b	4.68 (0.34) ^b	4.81 (0.99) ^a

* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. Farklı harfler istatistiksel olarak farklı değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5. 87 İnorganik doldurucu olarak pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını birlikte içeren deneysel dental kompozitlerin SiO₂ – HA bileşimi ve toplam inorganik içeriklerine bağlı % çözünürlük değerleri

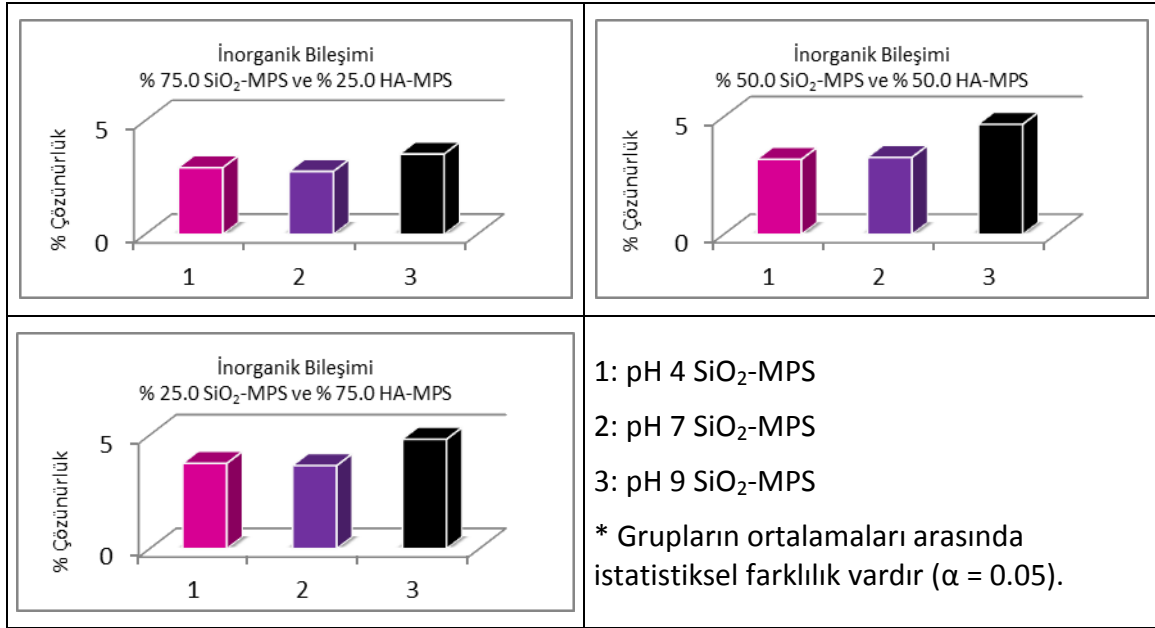
İnorganik faz olarak % 50.0 oranında pH 4 SiO₂-MPS ve pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozitlerin % çözünürlük değerleri T-testi ile % 95 güven düzeyinde karşılaştırıldı. Buna göre pH 4 SiO₂-MPS ve pH 7 SiO₂-MPS kullanılarak hazırlanan kompozitlerin % çözünürlük değerleri % 95 güven düzeyinde farklıdır ve pH 7 SiO₂-MPS içeren kompozitin % çözünürlüğü daha yüksektir (Şekil 5. 88).



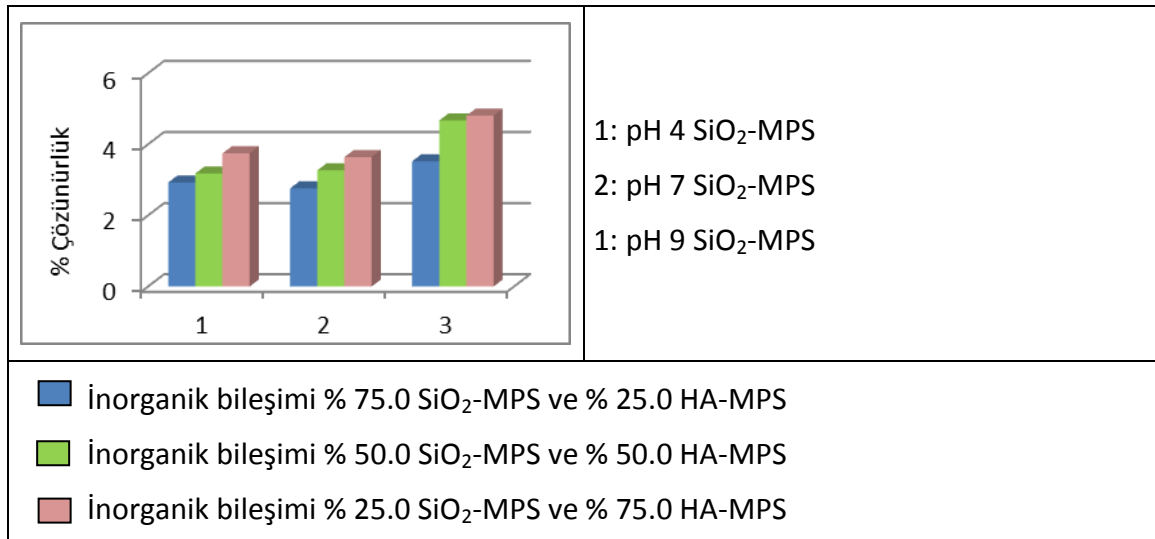
Şekil 5. 88 Toplam inorganik içeriği % 50.0 olan ve inorganisi % 100.0 pH 4 ve pH 7 SiO₂-MPS'den oluşturulan deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % çözünürlük değerleri

İnorganik faz olarak pH 4, 7 veya 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS karışımlarını içeren kompozitlerde % 75.0 SiO₂-MPS ve % 25.0 HA-MPS içeren alt grup 1, % 50.0 SiO₂-MPS ve % 50.0 HA-MPS içeren alt grup 2 ve % 25.0 SiO₂-MPS ve % 75.0 HA-MPS içeren alt grup 3 kompozitlerde kullanılan SiO₂ miktarına bağlı olarak % çözünürlük ortalamaları

arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel farklılaşma olmadığı ANOVA ile belirlendi (Şekil 5. 89 ve Şekil 5. 90).



Şekil 5. 89 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % çözünürlük değerleri



Şekil 5. 90 Toplam inorganik içeriği % 57.5 olan, inorganik olarak pH 4, pH 7 veya pH 9 SiO₂-MPS ve HA-MPS tozlarını içeren deneysel dental kompozitlerin silika türüne bağlı % çözünürlük değerleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, pirinç kabuğu külünden farklı pH değerlerinde oluşturulan jellerden üretilen silika tozları kullanılarak hazırlanan dental kompozitlerin Vickers sertlik, esneme dayanımı, elastisite modülü, tokluk, su absorpsiyon ve çözünürlük değerleri belirlendi. Pirinç kabuğu külünden silika üretimi ile ilgili çalışmalar bulunduğu halde bu silika tozları ile dental kompozit malzemelerin hazırlanması ve bu kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri ile ilgili çalışma bulunmamaktadır.

Tez çalışması sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Çeltik fabrikasından temin edilen pirinç kabuğu külünün amorf silikanın yanı sıra % 14.70 oranında “cristobalite” mineral adlı SiO_2 içerdiği tespit edildi.
- Alınan pirinç kabuğu külünün % 2.40 nem, % 5.08 uçucu madde, % 3.96 sabit karbon, % 88.56 kül içerdiği ve kızdırma kaybının % 11.44 olduğu belirlendi.
- Alınan pirinç kabuğu külünün % 63.37 SiO_2 ve % 6.29 K_2O içerdiği belirlendi.
- Alınan pirinç kabuğu külünün eser miktarda Ca, Na, Mg, Al, Fe, Mn, S, Ti ve Cu elementlerini içerdiği tespit edildi.
- Alınan pirinç kabuğu külünün tekrar yakma sıcaklığı 450 °C olarak belirlendi.
- Alınan pirinç kabuğu külünün 750 ve 900 °C sıcaklıklarda tekrar yakılması ile “cristobalite” yapının yanı sıra “tridymite” yapının da ortaya çıktığı ve kül içerisindeki kristal yüzdesinin sırasıyla % 61.58 ve % 71.97 olduğu belirlendi.

- Pirinç kabuğu külünden silikanın mikrodalga ekstraksiyon koşulları 700 Watt, 10 dakika olarak belirlendi.
- Sodyum silikat çözeltisinden pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarının amorf yapıda olduğu saptandı.
- Elde edilen silika tozlarının heterojen bir yapıda olduğu, homojen bir partikül boyut dağılımı ve şekli olmadığı tespit edildi.
- Sodyum silikat çözeltisinden pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarının partikül boyut ortalamaları sırasıyla 20.9, 23.4 ve 24.1 μm olarak ölçüldü.
- Sodyum silikat çözeltisinden pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarının silika içeriği sırasıyla % 86.04, % 92.69 ve % 88.46 olarak belirlendi.
- Sodyum silikat çözeltisinden pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarının BET yüzey alanları sırasıyla 528.16 m^2/g , 242.97 m^2/g ve 163.31 m^2/g olarak hesaplandı.
- Sodyum silikat çözeltisinden pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarının ortalama gözenek genişlikleri sırasıyla 24.66 Å, 93.64 Å ve 85.69 Å olarak ölçüldü.
- Sodyum silikat çözeltisinden pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarının sırasıyla % 6.6, % 3.4 ve % 4.7 oranında nem içerdiği belirlendi.
- % 50 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 9'da üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin ışık ile tam sertleşmediği gözlemlendi.
- % 50 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 4'te üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin Vickers sertlik değerlerinin % 50.0 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 7'de üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin Vickers sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu belirlendi.
- % 57.5 inorganik faz içeren ve inorganik bileşimi üretilen silika tozları ve HA'dan oluşturulan kompozitlerde pH 7'de üretilen silika ve HA bileşimini içeren kompozitlerin Vickers sertlik değerleri pH 4'te üretilen silika ve HA bileşimini veya

pH 9'da üretilen silika ve HA bileşimini içeren dental kompozitlerin Vickers sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu görüldü.

- % 50 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 4'te üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinin % 50.0 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 7'de üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinden daha yüksek olduğu belirlendi.
- % 57.5 inorganik faz içeren ve inorganik bileşemi üretilen silika tozları ve HA'dan oluşturulan kompozitlerde pH 7'de üretilen silika ve HA bileşimini içeren kompozitlerin esneme dayanımı değerleri pH 4'te üretilen silika ve HA bileşimini veya pH 9'da üretilen silika ve HA bileşimini içeren dental kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinden daha yüksek olduğu görüldü.
- % 50 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 4'te üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin % 50.0 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 7'de üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin elastisite modülü değerlerinden daha yüksek olduğu belirlendi.
- % 57.5 inorganik faz içeren ve inorganik bileşemi üretilen silika tozları ve HA'dan oluşturulan kompozitlerde pH 7'de üretilen silika ve HA bileşimini içeren kompozitlerin elastisite modülü değerleri pH 4'te üretilen silika ve HA bileşimini veya pH 9'da üretilen silika ve HA bileşimini içeren dental kompozitlerin elastisite modülü değerlerinden daha yüksek olduğu görüldü. Bununla birlikte pH 7'de üretilen silika ve HA bileşimini içeren dental kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin pH 4'te üretilen silika ve HA bileşimini içeren dental kompozitlerin elastisite modülü değerlerinden istatistiksel olarak farklı olmadığı belirlendi (% 95 güven düzeyi).
- % 50 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 4'te üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin % su absorpsiyonu değerlerinin % 50.0 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 7'de üretilen silika

tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin % su absorpsiyonu değerlerinden daha düşük olduğu belirlendi.

- % 50 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 4'te üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin % çözünürlük değerlerinin % 50.0 inorganik faz içeren ve inorganik fazı % 100 oranında pH 7'de üretilen silika tozlarından oluşturulan dental kompozitlerin % çözünürlük değerlerinden daha düşük olduğu belirlendi.
- pH 4'te hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarını % 50.0 oranında içeren kompozitlerin % çözünürlük değerlerinin pH 7'de hazırlanan jellerden elde edilen silika tozlarını % 50.0 oranında içeren kompozitlerin % çözünürlük değerlerinden daha düşük olduğu belirlendi.
- Yüksek bazik ortamda üretilen silika tozların opak olduğu ve ışık ile sertleştirilen dental kompozitlerde kullanımının uygun olmadığı, dolayısı ile silika üretiminin 7 ve altındaki pH değerlerinde gerçekleştirilmesi gerektiği belirlendi.
- pH 4'te elde edilen silika tozların Bis-GMA bazlı dental kompozitlerde kullanılması sonucunda yüzeyin daha sertleştiği hatta bu tozların miktarı arttıkça da yüzey sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Aynı sonuç pH 4'te elde edilen bu silika tozların ışık geçirgenliği nedeniyle kompozitin iç yapısında da etkili olduğu ve yapının daha sertleşerek esneme dayanımı ve buna bağlı olarak da tokluk değerini azalttığı tespit edilmiştir. Sertleşmenin artmasına paralel olarak elastik modülü artmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Berthelot, J.-M., (1999). Composite materials: mechanical behavior and structural analysis: Springer.
- [2] Stein, P.S. Sullivan, J. Haubenreich, J.E. ve Osborne, P.B., (2005). "Composite resin in medicine and dentistry", Journal of long-term effects of medical implants, 15: 641-654.
- [3] Sivakumar, R., (1999). "On the relevance and requirements of biomaterials", Bulletin of Materials Science, 22: 647-655.
- [4] García, A.H. Lozano, M.A.M. Vila, J.C. Escribano, A.B. ve Galve, P.F., (2006). "Composite resins. A review of the materials and clinical indications", Med Oral Patol Oral Cir Bucal, 11: E215-220.
- [5] Yoshida, K. ve Greener, E., (1994). "Effect of photoinitiator on degree of conversion of unfilled light-cured resin", Journal of dentistry, 22: 296-299.
- [6] Ferracane, J. ve Greener, E., (1986). "The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins", Journal of biomedical materials research, 20: 121-131.
- [7] Beatty, M. Swartz, M. Moore, B. Phillips, R. ve Roberts, T., (1993). "Effect of crosslinking agent content, monomer functionality, and repeat unit chemistry on properties of unfilled resins", Journal of biomedical materials research, 27: 403-413.
- [8] Rueggeberg, F.A. ve Jordan, D.M., (1992). "Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite", The International journal of prosthodontics, 6: 364-370.
- [9] Kawaguchi, M. Fukushima, T. ve Miyazaki, K., (1994). "The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites", Journal of dental research, 73: 516-521.
- [10] Ferracane, J., (1995). "Current trends in dental composites", Critical Reviews in Oral Biology & Medicine, 6: 302-318.
- [11] Santerre, J. Shajii, L. ve Leung, B., (2001). "Relation of dental composite formulations to their degradation and the release of hydrolyzed polymeric-resin-derived products", Critical Reviews in Oral Biology & Medicine, 12: 136-151.

- [12] Ruyter, I.E. ve Øysæd, H., (1987). "Composites for use in posterior teeth: composition and conversion", *Journal of biomedical materials research*, 21: 11-23.
- [13] Ruyter, I., (1988). "Composites-characterization of composite filling materials: reactor response", *Advances in dental research*, 2: 122-133.
- [14] Michelsen, V.B. Moe, G. Strøm, M.B. Jensen, E. ve Lygre, H., (2008). "Quantitative analysis of TEGDMA and HEMA eluted into saliva from two dental composites by use of GC/MS and tailor-made internal standards", *Dental Materials*, 24: 724-731.
- [15] Arcís, R.W. López-Macipe, A. Toledano, M. Osorio, E. Rodríguez-Clemente, R. Murtra, J. Fanovich, M.A. ve Pascual, C.D., (2002). "Mechanical properties of visible light-cured resins reinforced with hydroxyapatite for dental restoration", *Dental Materials*, 18: 49-57.
- [16] Miao, X. Li, Y. Zhang, Q. Zhu, M. ve Wang, H., (2012). "Low shrinkage light curable dental nanocomposites using SiO₂ microspheres as fillers", *Materials Science & Engineering C-Materials for Biological Applications*, 32: 2115-2121.
- [17] Floyd, C.J. ve Dickens, S.H., (2006). "Network structure of Bis-GMA-and UDMA-based resin systems", *Dental Materials*, 22: 1143-1149.
- [18] Sandner, B. Baudach, S. Davy, K.M. Braden, M. ve Clarke, R., (1997). "Synthesis of BISGMA derivatives, properties of their polymers and composites", *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 8: 39-44.
- [19] Lizymol, P.P. ve Krishnan, V.K., (2008). "A comparison of efficiency of two photoinitiators for polymerization of light-cure dental composite resins", *Journal of Applied Polymer Science*, 107: 3337-3342.
- [20] Ikemura, K. ve Endo, T., (2010). "A review of the development of radical photopolymerization initiators used for designing light-curing dental adhesives and resin composites", *Dental Materials Journal*, 29: 481-501.
- [21] Schneider, L.F.J. Cavalcante, L.M. Consani, S. ve Ferracane, J.L., (2009). "Effect of co-initiator ratio on the polymer properties of experimental resin composites formulated with camphorquinone and phenyl-propanedione", *Dental Materials*, 25: 369-375.
- [22] Nishiyama, N. Ishizaki, T. Horie, K. Tomari, M. ve Someya, M., (1991). "Novel polyfunctional silanes for improved hydrolytic stability at the polymer-silica interface", *Journal of biomedical materials research*, 25: 213-221.
- [23] Mohsen, N. ve Craig, R., (1995). "Effect of silanation of fillers on their dispersability by monomer systems", *Journal of oral rehabilitation*, 22: 183-189.
- [24] Mohsen, N. ve Craig, R., (1995). "Hydrolytic stability of silanated zirconia-silica-urethane dimethacrylate composites", *Journal of oral rehabilitation*, 22: 213-220.

- [25] Sideridou, I.D. ve Karabela, M.M., (2009). "Effect of the amount of 3-methacyloxypropyltrimethoxysilane coupling agent on physical properties of dental resin nanocomposites", *Dental Materials*, 25: 1315-1324.
- [26] Karabela, M.M. ve Sideridou, I.D., (2008). "Effect of the structure of silane coupling agent on sorption characteristics of solvents by dental resin-nanocomposites", *Dental Materials*, 24: 1631-1639.
- [27] Antonucci, J.M. Dickens, S.H. Fowler, B.O. Xu, H.H. ve McDonough, W.G., (2005). "Chemistry of silanes: interfaces in dental polymers and composites", *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 110: 541-558.
- [28] Liu, Q. Ding, J. Chambers, D.E. Debnath, S. Wunder, S.L. ve Baran, G.R., (2001). "Filler-coupling agent-matrix interactions in silica/polymethylmethacrylate composites", *Journal of biomedical materials research*, 57: 384-393.
- [29] Sideridou, I.D. ve Karabela, M.M., (2008). "Effect of the structure of silane-coupling agent on dynamic mechanical properties of dental resin-nanocomposites", *Journal of Applied Polymer Science*, 110: 507-516.
- [30] Ferracane, J. Antonio, R. ve Matsumoto, H., (1987). "Variables Affecting the Fracture Toughness of Dental Composites, and'", *Journal of dental research*, 66: 1140-1145.
- [31] Braem, M. Finger, W. Van Doren, V. Lambrechts, P. ve Vanherle, G., (1989). "Mechanical properties and filler fraction of dental composites", *Dental Materials*, 5: 346-349.
- [32] Kim, K. Park, J. Imai, Y. ve Kishi, T., (1994). "Microfracture Mechanisms of Dental Resin Composites Containing Spherically-shaped Filler Particles", *Journal of dental research*, 73: 499-504.
- [33] Soderholm, K.-J., (1984). "Influence of silane treatment and filler fraction on thermal expansion of composite resins", *Journal of dental research*, 63: 1321-1326.
- [34] van Dijken, J.W. Wing, K.R. ve Ruyter, I.E., (1989). "An evaluation of the radiopacity of composite restorative materials used in Class I and Class II cavities", *Acta Odontologica*, 47: 401-407.
- [35] Cavalcante, L.M. Masouras, K. Watts, D.C. Pimenta, L.A. ve Silikas, N., (2009). "Effect of nanofillers' size on surface properties after toothbrush abrasion", *American journal of dentistry*, 22: 60-64.
- [36] Baroudi, K. Silikas, N. ve Watts, D.C., (2007). "Time-dependent visco-elastic creep and recovery of flowable composites", *European journal of oral sciences*, 115: 517-521.
- [37] Kim, K.-H. Ong, J.L. ve Okuno, O., (2002). "The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites", *The Journal of prosthetic dentistry*, 87: 642-649.

- [38] Junior, S.A.R. Ferracane, J.L. ve Della Bona, A., (2008). "Flexural strength and Weibull analysis of a microhybrid and a nanofill composite evaluated by 3-and 4-point bending tests", *Dental Materials*, 24: 426-431.
- [39] Rodrigues, S.A. Scherrer, S.S. Ferracane, J.L. ve Della Bona, A., (2008). "Microstructural characterization and fracture behavior of a microhybrid and a nanofill composite", *Dental Materials*, 24: 1281-1288.
- [40] Masouras, K. Silikas, N. ve Watts, D.C., (2008). "Correlation of filler content and elastic properties of resin-composites", *Dental Materials*, 24: 932-939.
- [41] Schneider, L.F.J. Cavalcante, L.M. ve Silikas, N., (2010). "Shrinkage stresses generated during resin-composite applications: a review", *Journal of dental biomechanics*, 1: 131630.
- [42] Geurtsen, W., (1998). "Substances released from dental resin composites and glass ionomer cements", *European journal of oral sciences*, 106: 687-695.
- [43] Hosoda, H. Yamada, T. ve Inokoshi, S., (1990). "SEM and elemental analysis of composite resins", *The Journal of prosthetic dentistry*, 64: 669-676.
- [44] Khan, A. Suzuki, H. Nomura, Y. Taira, M. Wakasa, K. Shintani, H. ve Yamaki, M., (1992). "Characterization of inorganic fillers in visible-light-cured dental composite resins", *Journal of oral rehabilitation*, 19: 361-370.
- [45] Chen, M.-H., (2010). "Update on dental nanocomposites", *Journal of dental research*, 89: 549-560.
- [46] Drummond, J.L., (2008). "Degradation, fatigue, and failure of resin dental composite materials", *Journal of dental research*, 87: 710-719.
- [47] ALTUN, C., (2005). "Kompozit dolgu materyallerinde son gelişmeler", *Gülhane Tıp Dergisi*, 47: 77-82.
- [48] Miao, X. Zhu, M. Li, Y. Zhang, Q. ve Wang, H., (2012). "Synthesis of dental resins using diatomite and nano-sized SiO₂ and TiO₂", *Progress in Natural Science: Materials International*, 22: 94-99.
- [49] Sun, J. Forster, A.M. Johnson, P.M. Eidelman, N. Quinn, G. Schumacher, G. Zhang, X. ve Wu, W.-I., (2011). "Improving performance of dental resins by adding titanium dioxide nanoparticles", *Dental Materials*, 27: 972-982.
- [50] Yu, B. Ahn, J.-S. Lim, J.I. ve Lee, Y.-K., (2009). "Influence of TiO₂ nanoparticles on the optical properties of resin composites", *Dental Materials*, 25: 1142-1147.
- [51] Lung, C.Y.K. Botelho, M.G. Heinonen, M. ve Matinlinna, J.P., (2012). "Resin zirconia bonding promotion with some novel coupling agents", *Dental Materials*, 28: 863-872.
- [52] Murray, D.G., (1988). *Hydroxylapatite-Synthetic Resin Composites*, ed^{ed}s. U.S. Patent: No:4,778,834.
- [53] Domingo, C. Arcis, R. López-Macipe, A. Osorio, R. Rodríguez-Clemente, R. Murtra, J. Fanovich, M. ve Toledano, M., (2001). "Dental composites

- reinforced with hydroxyapatite: Mechanical behavior and absorption/elution characteristics", *Journal of biomedical materials research*, 56: 297-305.
- [54] Okulus, Z. Buchwald, T. Szybowicz, M. ve Voelkel, A., (2014). "Study of a new resin-based composites containing hydroxyapatite filler using Raman and infrared spectroscopy", *Materials Chemistry and Physics*, 145: 304-312.
 - [55] Hosseinalipour, M. Javadpour, J. Rezaie, H. Dadras, T. ve Hayati, A.N., (2010). "Investigation of Mechanical Properties of Experimental Bis-GMA/TEGDMA Dental Composite Resins Containing Various Mass Fractions of Silica Nanoparticles", *Journal of Prosthodontics*, 19: 112-117.
 - [56] Manhart, J. Kunzelmann, K.-H. Chen, H. ve Hickel, R., (2000). "Mechanical properties and wear behavior of light-cured packable composite resins", *Dental Materials*, 16: 33-40.
 - [57] Karabela, M.M. ve Sideridou, I.D., (2011). "Synthesis and study of properties of dental resin composites with different nanosilica particles size", *Dental Materials*, 27: 825-835.
 - [58] Sakaguchi, R.L. ve Powers, J.M., (2012). *Craig's restorative dental materials: Elsevier Health Sciences*.
 - [59] Bayne, S.C. Heymann, H.O. ve Swift, E.J., (1994). "Update on dental composite restorations", *The Journal of the American Dental Association*, 125: 687-701.
 - [60] Ilie, N. ve Hickel, R., (2009). "Investigations on mechanical behaviour of dental composites", *Clinical oral investigations*, 13: 427-438.
 - [61] Ilie, N. ve Hickel, R., (2009). "Macro-, micro- and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites", *Dental Materials*, 25: 810-819.
 - [62] Curtis, A.R. Palin, W.M. Fleming, G.J. Shortall, A.C. ve Marquis, P.M., (2009). "The mechanical properties of nanofilled resin-based composites: the impact of dry and wet cyclic pre-loading on bi-axial flexure strength", *Dental Materials*, 25: 188-197.
 - [63] Hahnel, S. Henrich, A. Bürgers, R. Handel, G. ve Rosentritt, M., (2010). "Investigation of mechanical properties of modern dental composites after artificial aging for one year", *Operative dentistry*, 35: 412-419.
 - [64] Blackham, J. Vandewalle, K. ve Lien, W., (2009). "Properties of hybrid resin composite systems containing prepolymerized filler particles", *Operative dentistry*, 34: 697-702.
 - [65] Ferracane, J.L., (2011). "Resin composite—state of the art", *Dental Materials*, 27: 29-38.
 - [66] Heintze, S. ve Zimmerli, B., (2010). "Relevance of in vitro tests of adhesive and composite dental materials, a review in 3 parts. Part 1: Approval requirements and standardized testing of composite materials according to ISO specifications", *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin*, 121: 804-816.

- [67] Davidson, C. ve Feilzer, A., (1997). "Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives", *Journal of dentistry*, 25: 435-440.
- [68] Rahim, T.N.A.T. Mohamad, D. Akil, H.M. ve Ab Rahman, I., (2012). "Water sorption characteristics of restorative dental composites immersed in acidic drinks", *Dental Materials*, 28: e63-e70.
- [69] Sideridou, I. Tserki, V. ve Papanastasiou, G., (2003). "Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins", *Biomaterials*, 24: 655-665.
- [70] Santos, C. Clarke, R. Braden, M. Guitian, F. ve Davy, K., (2002). "Water absorption characteristics of dental composites incorporating hydroxyapatite filler", *Biomaterials*, 23: 1897-1904.
- [71] Ma'an, M.N. ve Abdul-Haq, A.S., (2005). "Long-term water sorption of three resin-based restorative materials", *interface*, 3: 22.
- [72] Sideridou, I. Achilias, D.S. Spyroudi, C. ve Karabela, M., (2004). "Water sorption characteristics of light-cured dental resins and composites based on Bis-EMA/PCDMA", *Biomaterials*, 25: 367-376.
- [73] Turssi, C.P. de Moraes Purquerio, B. ve Serra, M.C., (2003). "Wear of dental resin composites: insights into underlying processes and assessment methods—a review", *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 65: 280-285.
- [74] Heintze, S. Zellweger, G. ve Zappini, G., (2007). "The relationship between physical parameters and wear of dental composites", *Wear*, 263: 1138-1146.
- [75] Moharamzadeh, K. Brook, I.M. ve Van Noort, R., (2009). "Biocompatibility of resin-based dental materials", *Materials*, 2: 514-548.
- [76] Van Landuyt, K. Nawrot, T. Geebelen, B. De Munck, J. Snauwaert, J. Yoshihara, K. Scheers, H. Godderis, L. Hoet, P. ve Van Meerbeek, B., (2011). "How much do resin-based dental materials release? A meta-analytical approach", *Dental Materials*, 27: 723-747.
- [77] Junior, R. Adalberto, S. Zanchi, C.H. Carvalho, R.V.d. ve Demarco, F.F., (2007). "Flexural strength and modulus of elasticity of different types of resin-based composites", *Brazilian oral research*, 21: 16-21.
- [78] T. C. Milli Eğitim Bakanlığı, "Metal Teknolojisi Sertlik Ölçme Yöntemleri", http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/sertlik_olcme_yontemleri.pdf, 09 Mart 2015.
- [79] Prabhakar, A. ve Basappa, N., (2010). "Comparative Evaluation of the Remineralizing Effects and Surface Microhardness of Glass Ionomer Cements Containing Bioactive Glass (S53P4): An in vitro Study", *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 3: 69-77.

- [80] Chen, X.-G. Lv, S.-S. Zhang, P.-P. Zhang, L. ve Ye, Y., (2011). "Thermal destruction of rice hull in air and nitrogen", *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 104: 1055-1062.
- [81] Sun, L. ve Gong, K., (2001). "Silicon-based materials from rice husks and their applications", *Industrial & engineering chemistry research*, 40: 5861-5877.
- [82] Chandrasekhar, S. Satyanarayana, K. Pramada, P. Raghavan, P. ve Gupta, T., (2003). "Review processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview", *Journal of Materials Science*, 38: 3159-3168.
- [83] FAOSTAT, "Production/Crops", <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. 23 Mart 2015.
- [84] Khalil, R. Chryss, A.G. Jollands, M. ve Bhattacharya, S., (2007). "Effect of coupling agents on the crystallinity and viscoelastic properties of composites of rice hull ash-filled polypropylene", *Journal of Materials Science*, 42: 10219-10227.
- [85] Sharma, N. Williams, W.S. ve Zangvil, A., (1984). "Formation and structure of silicon carbide whiskers from rice hulls", *Journal of the American Ceramic Society*, 67: 715-720.
- [86] Umeda, J. ve Kondoh, K., (2010). "High-purification of amorphous silica originated from rice husks by combination of polysaccharide hydrolysis and metallic impurities removal", *Industrial Crops and Products*, 32: 539-544.
- [87] Saceda, J.-J.F. Leon, R.L.d. Rintramee, K. Prayoonpokarach, S. ve Wittayakun, J., (2011). "Properties of silica from rice husk and rice husk ash and their utilization for zeolite γ synthesis", *Química Nova*, 34: 1394-1397.
- [88] Houston, D.F., (1972). *Rice: chemistry and technology*: American Association of Cereal Chemists St. Paul.
- [89] Taspinar, O.O. ve Ozgul-Yucel, S., (2008). "Lipid adsorption capacities of magnesium silicate and activated carbon prepared from the same rice hull", *European journal of lipid science and technology*, 110: 742-746.
- [90] Özgül-Yücel, S. ve Türkay, S., (2003). "Purification of FAME by rice hull ash adsorption", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80: 373-376.
- [91] Abo-El-Enein, S. Eissa, M. Diafullah, A. Rizk, M. ve Mohamed, F., (2011). "Utilization of a low cost agro-residue for production of coagulant aids and their applications", *Journal of Hazardous Materials*, 186: 1200-1205.
- [92] Ma, X. Zhou, B. Gao, W. Qu, Y. Wang, L. Wang, Z. ve Zhu, Y., (2012). "A recyclable method for production of pure silica from rice hull ash", *Powder Technology*, 217: 497-501.
- [93] Soltani, N. Bahrami, A. Pech-Canul, M. ve González, L., (2015). "Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials", *Chemical Engineering Journal*, 264: 899-935.

- [94] Kapur, P., (1985). "Production of reactive bio-silica from the combustion of rice husk in a tube-in-basket (TiB) burner", Powder Technology, 44: 63-67.
- [95] Nakata, Y.S., M.; Okutani, T.; Kikuchi, M.; Akiyama, T., (1989). "Preparation and properties of SiO₂ from rice hulls", J. Ceram. Soc. Jpn., 97: 842-861.
- [96] James, J. ve Subbarao, M., (1986). "Characterization of silica in rice husk ash", American Ceramic Society Bulletin, 65: 1177-1180.
- [97] Luan, T.C. ve Chou, T.C., (1990). "Recovery of silica from the gasification of rice husks/coal in the presence of a pilot flame in a modified fluidized bed", Industrial & engineering chemistry research, 29: 1922-1927.
- [98] Wang, N. ve Low, M., (1990). "Spectroscopic studies of carbons. XVIII. The charring of rice hulls", Materials Chemistry and Physics, 26: 117-130.
- [99] Bondioli, F. Barbieri, L. Ferrari, A.M. ve Manfredini, T., (2010). "Characterization of rice husk ash and its recycling as quartz substitute for the production of ceramic glazes", Journal of the American Ceramic Society, 93: 121-126.
- [100] Shinohara, Y. ve Kohyama, N., (2004). "Quantitative analysis of tridymite and cristobalite crystallized in rice husk ash by heating", Industrial Health, 42: 277-285.
- [101] Patel, M. Karera, A. ve Prasanna, P., (1987). "Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk", Journal of Materials Science, 22: 2457-2464.
- [102] Real, C. Alcalá, M.D. ve Criado, J.M., (1996). "Preparation of silica from rice husks", Journal of the American Ceramic Society, 79: 2012-2016.
- [103] Chakraverty, A. Mishra, P. ve Banerjee, H., (1988). "Investigation of combustion of raw and acid-leached rice husk for production of pure amorphous white silica", Journal of Materials Science, 23: 21-24.
- [104] Proctor, A., (1990). "X-ray diffraction and scanning electron microscope studies of processed rice hull silica", Journal of the American oil chemists' society, 67: 576-584.
- [105] Krishnarao, R. Subrahmanyam, J. ve Kumar, T.J., (2001). "Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash", Journal of the European Ceramic Society, 21: 99-104.
- [106] Real, C. Alcalá, M. Muñoz-Páez, A. ve Criado, J., (1997). "XAFS analysis of the potassium-silica interaction in rice husks", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 133: 68-72.
- [107] Kalapathy, U. Proctor, A. ve Shultz, J., (2000). "A simple method for production of pure silica from rice hull ash", Bioresource Technology, 73: 257-262.

- [108] An, D. Guo, Y. Zou, B. Zhu, Y. ve Wang, Z., (2011). "A study on the consecutive preparation of silica powders and active carbon from rice husk ash", *biomass and bioenergy*, 35: 1227-1234.
- [109] Adam, F. Balakrishnan, S. ve Wong, P.-L., (2006). "Rice husk ash silica as a support material for ruthenium based heterogenous catalyst", *Journal of Physical Science*, 17: 1-13.
- [110] Sayan, P. Titiz-Sargut, S. Ozgul-Yucel, S. ve Kiran, B., (2011). "Physical and adsorptive characterization of precipitated magnesium silicate from rice hull ash silica", *Chemical Engineering & Technology*, 34: 1497-1506.
- [111] Kalapathy, U. Proctor, A. ve Shultz, J., (2002). "An improved method for production of silica from rice hull ash", *Bioresource Technology*, 85: 285-289.
- [112] Liou, T.-H. ve Yang, C.-C., (2011). "Synthesis and surface characteristics of nanosilica produced from alkali-extracted rice husk ash", *Materials Science and Engineering: B*, 176: 521-529.
- [113] Adam, F. Appaturi, J.N. Thankappan, R. ve Nawi, M.A.M., (2010). "Silica–tin nanotubes prepared from rice husk ash by sol–gel method: Characterization and its photocatalytic activity", *Applied Surface Science*, 257: 811-816.
- [114] Muñoz-Aguado, M.-J. ve Gregorkiewitz, M., (1997). "Sol–gel synthesis of microporous amorphous silica from purely inorganic precursors", *Journal of colloid and interface science*, 185: 459-465.
- [115] Schlomach, J. ve Kind, M., (2004). "Investigations on the semi-batch precipitation of silica", *Journal of colloid and interface science*, 277: 316-326.
- [116] Cai, X. Hong, R. Wang, L. Wang, X. Li, H. Zheng, Y. ve Wei, D., (2009). "Synthesis of silica powders by pressured carbonation", *Chemical Engineering Journal*, 151: 380-386.
- [117] Subbukrishna, D. Suresh, K. Paul, P. Dasappa, S. ve Rajan, N., (2007). "Precipitated silica from rice husk ash by IPSIT process".
- [118] An, D. Guo, Y. Zhu, Y. ve Wang, Z., (2010). "A green route to preparation of silica powders with rice husk ash and waste gas", *Chemical Engineering Journal*, 162: 509-514.
- [119] Ugheoke, I.B. ve Mamat, O., (2012). "A critical assessment and new research directions of rice husk silica processing methods and properties", *Maejo International Journal of Science and Technology*, 6: 430-448.
- [120] Tamas, C. Moldovan, M. Prejmerean, C. Colceriu, A. Furtos, G. Vezsenyi, L. Prodan, D. Grecu, R. ve Simon, V., (2005). "Structure and properties of inorganic fillers for dental composites", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 7: 2849.
- [121] Gulipalli, C.S. Prasad, B. ve Wasewar, K.L., (2011). "Batch study, equilibrium and kinetics of adsorption of selenium using rice husk ash (RHA)", *J. Eng. Sci. Technol*, 6: 586-605.

- [122] Chaudhary, D. ve Jollands, M., (2004). "Characterization of rice hull ash", *Journal of Applied Polymer Science*, 93: 1-8.
- [123] Srivastava, V.C. Mall, I.D. ve Mishra, I.M., (2006). "Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA", *Journal of Hazardous Materials*, 134: 257-267.
- [124] Liu, Y. ve Hu, H., (2008). "X-ray diffraction study of bamboo fibers treated with NaOH", *Fibers and Polymers*, 9: 735-739.
- [125] Thuadaij, N. ve Nuntiya, A., (2008). "Preparation of nanosilica powder from rice husk ash by precipitation method".
- [126] Ek, S. Root, A. Peussa, M. ve Niinistö, L., (2001). "Determination of the hydroxyl group content in silica by thermogravimetry and a comparison with ^1H MAS NMR results", *Thermochimica acta*, 379: 201-212.
- [127] Peng, L. Qisui, W. Xi, L. ve Chaocan, Z., (2009). "Investigation of the states of water and OH groups on the surface of silica", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 334: 112-115.
- [128] Miller, J.D. ve Ishida, H., (1984). "Quantitative monomolecular coverage of inorganic particulates by methacryl-functional silanes", *Surface science*, 148: 601-622.
- [129] Cheng, Z.H. Yasukawa, A. Kandori, K. ve Ishikawa, T., (1998). "FTIR study on incorporation of CO_2 into calcium hydroxyapatite", *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 94: 1501-1505.
- [130] Wang, X. Song, G. ve Lou, T., (2010). "Fabrication and characterization of nano-composite scaffold of PLLA/silane modified hydroxyapatite", *Medical engineering & physics*, 32: 391-397.
- [131] Panda, R. Hsieh, M. Chung, R. ve Chin, T., (2003). "FTIR, XRD, SEM and solid state NMR investigations of carbonate-containing hydroxyapatite nanoparticles synthesized by hydroxide-gel technique", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 64: 193-199.

İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Pirinç kabuğu külünden pH 4, 7 ve 9'da hazırlanan jellerden üretilen silika tozlarının yanısıra HA, Al₂O₃, ZrO₂ ve TiO₂ tozlarını da içerecek şekilde hazırlanan dental kompozitlerin Vickers sertlik, esneme dayanımı, elastisite modülü, tokluk, su absorpsiyon ve çözünürlük sonuçları Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ve Tukey HSD ($\alpha = 0.05$) çoklu karşılaştırma testi kullanılarak kıyaslandı. İkili karşılaştırmalar T-Testi ($\alpha = 0.05$) ile yapıldı. Bu analizlere ait tablolar aşağıda verilmiştir.

A-1 Vickers Sertlik İstatistiksel Analiz Sonuçları

Çizelge EK-A. 1 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3962,284	2	1981,142	69,665	,000
Within Groups	853,139	30	28,438		
Total	4815,423	32			

Çizelge EK-A. 2 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-1	4-2	12,54511*	2,24847	,000	7,0020	18,0882
	4-7	26,38622*	2,24847	,000	20,8431	31,9293
4-2	4-1	-12,54511*	2,24847	,000	-18,0882	-7,0020
	4-7	13,84111*	2,51387	,000	7,6437	20,0385
4-7	4-1	-26,38622*	2,24847	,000	-31,9293	-20,8431
	4-2	-13,84111*	2,51387	,000	-20,0385	-7,6437
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 3 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik				
Tukey HSD ^{a,b}				
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4-7	9	19,0578		
4-2	9		32,8989	
4-1	15			45,4440
Sig.		1,000	1,000	1,000

Çizelge EK-A. 4 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	139,746	2	69,873	2,904	,064
Within Groups	1203,096	50	24,062		
Total	1342,842	52			

Çizelge EK-A. 5 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	82,481	2	41,241	3,352	,045
Within Groups	504,372	41	12,302		
Total	586,854	43			

Çizelge EK-A. 6 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-4-1	4-4-2	-2,12148	1,35092	,270	-5,4065	1,1635
	4-4-3	1,13570	1,29225	,657	-2,0066	4,2780
4-4-2	4-4-1	2,12148	1,35092	,270	-1,1635	5,4065
	4-4-3	3,25718*	1,26583	,036	,1791	6,3352
4-4-3	4-4-1	-1,13570	1,29225	,657	-4,2780	2,0066
	4-4-2	-3,25718*	1,26583	,036	-6,3352	-,1791
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 7 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik			
Tukey HSD ^{a,b}			
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-4-3	17	31,6335	
4-4-1	13	32,7692	32,7692
4-4-2	14		34,8907
Sig.		,661	,246

Çizelge EK-A. 8 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	43,809	2	21,904	6,639	,005
Within Groups	89,082	27	3,299		
Total	132,890	29			

Çizelge EK-A. 9 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-5-1	4-5-2	-1,26222	,85626	,319	-3,3853	,8608
	4-5-3	1,62472	,80096	,125	-,3612	3,6106
4-5-2	4-5-1	1,26222	,85626	,319	-,8608	3,3853
	4-5-3	2,88694*	,80096	,003	,9010	4,8729
4-5-3	4-5-1	-1,62472	,80096	,125	-3,6106	,3612
	4-5-2	-2,88694*	,80096	,003	-4,8729	-,9010
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 10 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik			
Tukey HSD ^{a,b}			
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-5-3	12	28,4208	
4-5-1	9	30,0456	30,0456
4-5-2	9		31,3078
Sig.		,136	,289

Çizelge EK-A. 11 Grup numarası 4 – 6 – 1, 4 – 6 – 2 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,347	2	2,174	,205	,816
Within Groups	297,268	28	10,617		
Total	301,615	30			

Çizelge EK-A. 12 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3604,185	3	1201,395	60,270	,000
Within Groups	996,685	50	19,934		
Total	4600,870	53			

Çizelge EK-A. 13 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-3-1	4-4-1	14,43505*	1,57562	,000	10,2477	18,6224
	4-5-1	17,15873*	1,77879	,000	12,4315	21,8860
	4-6-1	18,46247*	1,66174	,000	14,0463	22,8787
4-4-1	4-3-1	-14,43505*	1,57562	,000	-18,6224	-10,2477
	4-5-1	2,72368	1,93603	,501	-2,4215	7,8688
	4-6-1	4,02741	1,82908	,137	-,8335	8,8883
4-5-1	4-3-1	-17,15873*	1,77879	,000	-21,8860	-12,4315
	4-4-1	-2,72368	1,93603	,501	-7,8688	2,4215
	4-6-1	1,30374	2,00674	,915	-4,0294	6,6368
4-6-1	4-3-1	-18,46247*	1,66174	,000	-22,8787	-14,0463
	4-4-1	-4,02741	1,82908	,137	-8,8883	,8335
	4-5-1	-1,30374	2,00674	,915	-6,6368	4,0294
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 14 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik			
Tukey HSD ^{a,b}			
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-6-1	11	28,7418	
4-5-1	9	30,0456	
4-4-1	13	32,7692	
4-3-1	21		47,2043
Sig.		,129	1,000

Çizelge EK-A. 15 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3084,890	3	1028,297	64,122	,000
Within Groups	721,645	45	16,037		
Total	3806,535	48			

Çizelge EK-A. 16 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-3-2	4-4-2	13,39595*	1,42702	,000	9,5891	17,2028
	4-5-2	16,97889*	1,63486	,000	12,6176	21,3402
	4-6-2	19,25667*	1,70161	,000	14,7173	23,7961
4-4-2	4-3-2	-13,39595*	1,42702	,000	-17,2028	-9,5891
	4-5-2	3,58294	1,71094	,171	-,9813	8,1472
	4-6-2	5,86071*	1,77484	,010	1,1260	10,5954
4-5-2	4-3-2	-16,97889*	1,63486	,000	-21,3402	-12,6176
	4-4-2	-3,58294	1,71094	,171	-8,1472	,9813
	4-6-2	2,27778	1,94587	,648	-2,9132	7,4688
4-6-2	4-3-2	-19,25667*	1,70161	,000	-23,7961	-14,7173
	4-4-2	-5,86071*	1,77484	,010	-10,5954	-1,1260
	4-5-2	-2,27778	1,94587	,648	-7,4688	2,9132
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 17 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik				
Tukey HSD ^{a,b}				
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4-6-2	8	29,0300		
4-5-2	9	31,3078	31,3078	
4-4-2	14		34,8907	
4-3-2	18			48,2867
Sig.		,546	,169	1,000

Çizelge EK-A. 18 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2308,822	3	769,607	104,531	,000
Within Groups	375,487	51	7,362		
Total	2684,310	54			

Çizelge EK-A. 19 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-3-3	4-4-3	12,54004*	,97928	,000	9,9393	15,1408
	4-5-3	15,75274*	1,06744	,000	12,9178	18,5877
	4-6-3	16,04440*	1,06744	,000	13,2095	18,8793
4-4-3	4-3-3	-12,54004*	,97928	,000	-15,1408	-9,9393
	4-5-3	3,21270*	1,02305	,014	,4957	5,9297
	4-6-3	3,50436*	1,02305	,006	,7873	6,2214
4-5-3	4-3-3	-15,75274*	1,06744	,000	-18,5877	-12,9178
	4-4-3	-3,21270*	1,02305	,014	-5,9297	-,4957
	4-6-3	,29167	1,10774	,994	-2,6503	3,2336
4-6-3	4-3-3	-16,04440*	1,06744	,000	-18,8793	-13,2095
	4-4-3	-3,50436*	1,02305	,006	-6,2214	-,7873
	4-5-3	-,29167	1,10774	,994	-3,2336	2,6503
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 20 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik				
Tukey HSD ^{a,b}				
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4-6-3	12	28,1292		
4-5-3	12	28,4208		
4-4-3	17		31,6335	
4-3-3	14			44,1736
Sig.		,992	1,000	1,000

Çizelge EK-A. 21 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
Grup_No		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Vickers_Sertlik	4-7	9	19,0578	,86732	,28911
	4-7-AZT	19	24,6947	3,07052	,70442

Çizelge EK-A. 22 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	9,347	,005	-5,358
	Equal variances not assumed			-7,403
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	26	,000	-5,63696
	Equal variances not assumed	23,100	,000	-5,63696
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	1,05198	-7,79934	-3,47458
	Equal variances not assumed	,76144	-7,21175	-4,06217

Çizelge EK-A. 23 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	83,072	3	27,691	5,735	,002
Within Groups	318,698	66	4,829		
Total	401,770	69			

Çizelge EK-A. 24 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
7-2-1	7-2-2	-,64852	,69576	,788	-2,4824	1,1853
	7-2-3	2,36553*	,77399	,017	,3255	4,4055
	7-2-1-AZT	-,12697	,74562	,998	-2,0922	1,8383
7-2-2	7-2-1	,64852	,69576	,788	-1,1853	2,4824
	7-2-3	3,01405*	,75819	,001	1,0157	5,0124
	7-2-1-AZT	,52155	,72920	,891	-1,4004	2,4435
7-2-3	7-2-1	-2,36553*	,77399	,017	-4,4055	-,3255
	7-2-2	-3,01405*	,75819	,001	-5,0124	-1,0157
	7-2-1-AZT	-2,49250*	,80418	,015	-4,6121	-,3729
7-2-1-AZT	7-2-1	,12697	,74562	,998	-1,8383	2,0922
	7-2-2	-,52155	,72920	,891	-2,4435	1,4004
	7-2-3	2,49250*	,80418	,015	,3729	4,6121
*. The mean difference is significant at the 0.05 level						

Çizelge EK-A. 25 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik			
Tukey HSD ^{a,b}			
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
7-2-3	14	29,3850	
7-2-1	19		31,7505
7-2-1-AZT	16		31,8775
7-2-2	21		32,3990
Sig.		1,000	,824

Çizelge EK-A. 26 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1820,658	2	910,329	66,198	,000
Within Groups	618,826	45	13,752		
Total	2439,484	47			

Çizelge EK-A. 27 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
9-2-1	9-2-2	-15,68635*	1,47787	,000	-19,2681	-12,1046
	9-2-3	-14,66971*	1,42478	,000	-18,1228	-11,2166
9-2-2	9-2-1	15,68635*	1,47787	,000	12,1046	19,2681
	9-2-3	1,01664	1,20986	,680	-1,9156	3,9489
9-2-3	9-2-1	14,66971*	1,42478	,000	11,2166	18,1228
	9-2-2	-1,01664	1,20986	,680	-3,9489	1,9156
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 28 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik			
Tukey HSD ^{a,b}			
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
9-2-1	10	18,6960	
9-2-3	21		33,3657
9-2-2	17		34,3824
Sig.		1,000	,742

Çizelge EK-A. 29 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	869,753	2	434,876	22,879	,000
Within Groups	760,303	40	19,008		
Total	1630,056	42			

Çizelge EK-A. 30 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
9-3-1	9-3-2	-10,11160*	1,49798	,000	-13,7576	-6,4656
	9-3-3	-4,63382*	1,81657	,038	-9,0552	-,2124
9-3-2	9-3-1	10,11160*	1,49798	,000	6,4656	13,7576
	9-3-3	5,47778*	1,77987	,010	1,1457	9,8098
9-3-3	9-3-1	4,63382*	1,81657	,038	,2124	9,0552
	9-3-2	-5,47778*	1,77987	,010	-9,8098	-1,1457
*. The mean difference is significant at the 0.05 level						

Çizelge EK-A. 31 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik				
Tukey HSD ^{a,b}				
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
9-3-1	16	21,9006		
9-3-3	9		26,5344	
9-3-2	18			32,0122
Sig.		1,000	1,000	1,000

Çizelge EK-A. 32 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Grup_No	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Vickers_Sertlik	9-2-1	10	18,6960	3,88649	1,22902
	9-3-1	16	21,9006	4,54916	1,13729

Çizelge EK-A. 33 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	,252	,620	-1,843
	Equal variances not assumed			-1,914
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	24	,078	-3,20463
	Equal variances not assumed	21,537	,069	-3,20463
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	1,73847	-6,79265	,38340
	Equal variances not assumed	1,67449	-6,68163	,27238

Çizelge EK-A. 34 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Grup_No	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Vickers_Sertlik	9-2-2	17	34,3824	3,71131	,90012
	9-3-2	18	32,0122	3,42054	,80623

Çizelge EK-A. 35 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	,003	,956	1,966
	Equal variances not assumed			1,961
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	33	,058	2,37013
	Equal variances not assumed	32,365	,058	2,37013
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	1,20551	-,08249	4,82275
	Equal variances not assumed	1,20840	-,09021	4,83047

Çizelge EK-A. 36 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Grup_No	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Vickers_Sertlik	9-2-3	21	33,3657	3,62285	,79057
	9-3-3	9	26,5344	5,60110	1,86703

Çizelge EK-A. 37 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	1,802	,190	4,004
	Equal variances not assumed			3,369
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	28	,000	6,83127
	Equal variances not assumed	10,985	,006	6,83127
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	1,70613	3,33642	10,32612
	Equal variances not assumed	2,02751	2,36798	11,29456

Çizelge EK-A. 38 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Grup_No	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Vickers_Sertlik	4-7	9	19,0578	,86732	,28911
	7-1	12	16,3808	2,09982	,60617

Çizelge EK-A. 39 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	3,280	,086	3,584
	Equal variances not assumed			3,986
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	19	,002	2,67694
	Equal variances not assumed	15,473	,001	2,67694
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Vickers_Sertlik	Equal variances assumed	,74696	1,11354	4,24035
	Equal variances not assumed	,67158	1,24930	4,10459

Çizelge EK-A. 40 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	861,377	2	430,688	36,805	,000
Within Groups	503,188	43	11,702		
Total	1364,565	45			

Çizelge EK-A. 41 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-6-1	7-2-1	-3,00871	1,29604	,063	-6,1548	,1374
	9-3-1	6,84119*	1,33985	,000	3,5888	10,0936
7-2-1	4-6-1	3,00871	1,29604	,063	-,1374	6,1548
	9-3-1	9,84990*	1,16072	,000	7,0323	12,6675
9-3-1	4-6-1	-6,84119*	1,33985	,000	-10,0936	-3,5888
	7-2-1	-9,84990*	1,16072	,000	-12,6675	-7,0323
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 42 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik			
Tukey HSD ^{a,b}			
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
9-3-1	16	21,9006	
4-6-1	11		28,7418
7-2-1	19		31,7505
Sig.		1,000	,057

Çizelge EK-A. 43 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	69,024	2	34,512	3,906	,027
Within Groups	388,815	44	8,837		
Total	457,839	46			

Çizelge EK-A. 44 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Vickers_Sertlik						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-6-2	7-2-2	-3,36905*	1,23506	,024	-6,3647	-,3734
	9-3-2	-2,98222	1,26314	,058	-6,0459	,0815
7-2-2	4-6-2	3,36905*	1,23506	,024	,3734	6,3647
	9-3-2	,38683	,95484	,914	-1,9291	2,7028
9-3-2	4-6-2	2,98222	1,26314	,058	-,0815	6,0459
	7-2-2	-,38683	,95484	,914	-2,7028	1,9291
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 45 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin Tukey HSD sonuçları

Vickers_Sertlik			
Tukey HSD ^{a,b}			
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-6-2	8	29,0300	
9-3-2	18		32,0122
7-2-2	21		32,3990
Sig.		1,000	,941

Çizelge EK-A. 46 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin Vickers sertliklerinin ANOVA sonuçları

ANOVA					
Vickers_Sertlik					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	44,670	2	22,335	1,942	,160
Within Groups	367,967	32	11,499		
Total	412,637	34			

A-2 Üç-nokta Kıırma Testi Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Çizelge EK-A. 47 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 grup numaralı kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	15765510,561	2	7882755,280	74,607	,000
	Within Groups	845256,167	8	105657,021		
	Total	16610766,727	10			
Esneme_Dayanımı	Between Groups	538,635	2	269,317	26,045	,000
	Within Groups	82,725	8	10,341		
	Total	621,359	10			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	83,672	,000
	Within Groups	,000	8	,000		
	Total	,000	10			

Çizelge EK-A. 48 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 grup numaralı kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
E_Modülü	4-1	4-2	2765,83333333*	229,84453532	,000	2109,0653736	3422,6012930
		4-7	1455,50000000*	265,40160868	,001	697,1296833	2213,8703167
	4-2	4-1	-2765,83333333*	229,84453532	,000	-3422,6012930	-2109,0653736
		4-7	-1310,33333333*	296,72801917	,006	-2158,2171234	-462,4495433
	4-7	4-1	-1455,50000000*	265,40160868	,001	-2213,8703167	-697,1296833
		4-2	1310,33333333*	296,72801917	,006	462,4495433	2158,2171234
Esn_Day	4-1	4-2	-5,08500000	2,27382593	,124	-11,5823310	1,4123310
		4-7	-18,94500000*	2,62558803	,000	-26,4474716	-11,4425284
	4-2	4-1	5,08500000	2,27382593	,124	-1,4123310	11,5823310
		4-7	-13,86000000*	2,93549666	,004	-22,2480182	-5,4719818
	4-7	4-1	18,94500000*	2,62558803	,000	11,4425284	26,4474716
		4-2	13,86000000*	2,93549666	,004	5,4719818	22,2480182
Tokluk	4-1	4-2	-,00190000*	,00021866	,000	-,0025248	-,0012752
		4-7	-,00295000*	,00025249	,000	-,0036715	-,0022285
	4-2	4-1	,00190000*	,00021866	,000	,0012752	,0025248
		4-7	-,00105000*	,00028229	,014	-,0018566	-,0002434
	4-7	4-1	,00295000*	,00025249	,000	,0022285	,0036715
		4-2	,00105000*	,00028229	,014	,0002434	,0018566

Çizelge EK-A. 49 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 grup numaralı kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Elastisite_Modülü				
Tukey HSD ^{a,b}				
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4-2	3	2046,6666667		
4-7	2		3357,0000000	
4-1	6			4812,5000000
Sig.		1,000	1,000	1,000
Esneme_Dayanımı				
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
4-1	6	27,5750000		
4-2	3	32,6600000		
4-7	2		46,5200000	
Sig.		,190	1,000	
Tokluk				
Tukey HSD ^{a,b}				
Grup_No	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4-1	6	,0010000		
4-2	3		,0029000	
4-7	2			,0039500
Sig.		1,000	1,000	1,000

Çizelge EK-A. 50 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	1742908,667	2	871454,333	,944	,440
	Within Groups	5539653,333	6	923275,556		
	Total	7282562,000	8			
Esneme_Dayanımı	Between Groups	4,556	2	2,278	,156	,859
	Within Groups	87,568	6	14,595		
	Total	92,124	8			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	1,427	,311
	Within Groups	,000	6	,000		
	Total	,000	8			

Çizelge EK-A. 51 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Esneme_Dayanımı	Between Groups	340,241	2	170,120	27,744	,001
	Within Groups	36,790	6	6,132		
	Total	377,031	8			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	12,950	,007
	Within Groups	,000	6	,000		
	Total	,000	8			

Çizelge EK-A. 52 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Esn_Day	4-4-1	4-4-2	10,32000000*	2,02182867	,005	4,1164744	16,5235256*
		4-4-3	14,65966667*	2,02182867	,001	8,4561411	20,8631922*
	4-4-2	4-4-1	-10,32000000*	2,02182867	,005	-16,5235256	-4,1164744*
		4-4-3	4,33966667	2,02182867	,160	-1,8638589	10,5431922
	4-4-3	4-4-1	-14,65966667*	2,02182867	,001	-20,8631922	-8,4561411*
		4-4-2	-4,33966667	2,02182867	,160	-10,5431922	1,8638589
Tokluk	4-4-1	4-4-2	,00043333*	,00012172	,028	,0000599	,0008068
		4-4-3	,00060000*	,00012172	,006	,0002265	,0009735
	4-4-2	4-4-1	-,00043333*	,00012172	,028	-,0008068	-,0000599
		4-4-3	,00016667	,00012172	,413	-,0002068	,0005401
	4-4-3	4-4-1	-,00060000*	,00012172	,006	-,0009735	-,0002265
		4-4-2	-,00016667	,00012172	,413	-,0005401	,0002068
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.							

Çizelge EK-A. 53 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Esneme_Dayanımı			
Tukey HSD ^a			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-4-3	3	7,3303333	
4-4-2	3	11,6700000	
4-4-1	3		21,9900000
Sig.		,160	1,000
Tokluk			
Tukey HSD ^a			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-4-3	3	,0003333	
4-4-2	3	,0005000	
4-4-1	3		,0009333
Sig.		,413	1,000

Çizelge EK-A. 54 Grup numarası 4 – 4 – 1 ve 4 – 4 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Kompozit	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
E_Modülü	4-4-1	3	3867,0000000	1384,55805223	799,37496416
	4-4-2	3	3381,3333333	594,24265526	343,08615698

Çizelge EK-A. 55 Grup numarası 4 – 4 – 1 ve 4 – 4 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Elastisite_Mosülü	Equal variances assumed	2,382	,198	,558
	Equal variances not assumed			,558
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Elastisite_Mosülü	Equal variances assumed	4	,606	485,66667
	Equal variances not assumed	2,713	,619	485,66667
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Elastisite_Mosülü	Equal variances assumed	869,8899	-1929,534898	2900,868232
	Equal variances not assumed	869,8899	-2456,240432	3427,573766

Çizelge EK-A. 56 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Esneme_Dayanımı	Between Groups	776,721	2	388,361	44,824	,000
	Within Groups	51,984	6	8,664		
	Total	828,706	8			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	88,576	,000
	Within Groups	,000	6	,000		
	Total	,000	8			

Çizelge EK-A. 57 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Esn_Day	4-5-1	4-5-2	16,02666667*	2,40333873	,001	8,6525635	23,4007699
		4-5-3	22,00333333*	2,40333873	,000	14,6292301	29,3774365
	4-5-2	4-5-1	-16,02666667*	2,40333873	,001	-23,4007699	-8,6525635
		4-5-3	5,97666667	2,40333873	,104	-1,3974365	13,3507699
	4-5-3	4-5-1	-22,00333333*	2,40333873	,000	-29,3774365	-14,6292301
		4-5-2	-5,97666667	2,40333873	,104	-13,3507699	1,3974365
Tokluk	4-5-1	4-5-2	,00163333*	,00015635	,000	,0011536	,0021130
		4-5-3	,00193333*	,00015635	,000	,0014536	,0024130
	4-5-2	4-5-1	-,00163333*	,00015635	,000	-,0021130	-,0011536
		4-5-3	,00030000	,00015635	,214	-,0001797	,0007797
	4-5-3	4-5-1	-,00193333*	,00015635	,000	-,0024130	-,0014536
		4-5-2	-,00030000	,00015635	,214	-,0007797	,0001797

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge EK-A. 58 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Esneme_Dayanımı			
Tukey HSD ^a			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-5-3	3	6,3700000	
4-5-2	3	12,3466667	
4-5-1	3		28,3733333
Sig.		,104	1,000
Tokluk			
Tukey HSD ^a			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-5-3	3	,0003333	
4-5-2	3	,0006333	
4-5-1	3		,0022667
Sig.		,214	1,000

Çizelge EK-A. 59 Grup numarası 4 – 5 – 1 ve 4 – 5 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Kompozit	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
E_Modülü	4-5-1	3	1508,0000000	193,15278926	111,51681488
	4-5-2	3	2217,3333333	335,29439800	193,58231095

Çizelge EK-A. 60 Grup numarası 4 – 5 – 1 ve 4 – 5 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Elastisite_Mosülü	Equal variances assumed	1,048	,364	-3,175
	Equal variances not assumed			-3,175
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Elastisite_Mosülü	Equal variances assumed	4	,034	-709,33333
	Equal variances not assumed	3,196	,046	-709,33333
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Elastisite_Mosülü	Equal variances assumed	223,4057	-1329,607022	-89,059644
	Equal variances not assumed	223,4057	-1396,298201	-22,368466

Çizelge EK-A. 61 Grup numarası 4 – 6 – 1, 4 – 6 – 2 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımlarının ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	3775563,542	2	1887781,771	5,320	,058
	Within Groups	1774115,333	5	354823,067		
	Total	5549678,875	7			
Esname_Dayanımı	Between Groups	123,619	2	61,810	1,174	,382
	Within Groups	263,272	5	52,654		
	Total	386,891	7			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	,049	,953
	Within Groups	,000	5	,000		
	Total	,000	7			

Çizelge EK-A. 62 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	8475027,879	3	2825009,293	3,445	,081
	Within Groups	5740870,667	7	820124,381		
	Total	14215898,545	10			
Esname_Dayanımı	Between Groups	509,716	3	169,905	17,455	,001
	Within Groups	68,139	7	9,734		
	Total	577,854	10			
Tokluk	Between Groups	,000	3	,000	20,583	,001
	Within Groups	,000	7	,000		
	Total	,000	10			

Çizelge EK-A. 63 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Esname_Dayanımı	4-3-1	4-4-1	-9,67333333*	2,54742696	,027	-18,1057287	-1,2409380
		4-5-1	-16,05666667*	2,54742696	,002	-24,4890620	-7,6242713
		4-6-1	-17,05333333*	2,84810993	,002	-26,4810379	-7,6256287
	4-4-1	4-3-1	9,67333333*	2,54742696	,027	1,2409380	18,1057287
		4-5-1	-6,38333333	2,54742696	,143	-14,8157287	2,0490620
		4-6-1	-7,38000000	2,84810993	,128	-16,8077046	2,0477046
	4-5-1	4-3-1	16,05666667*	2,54742696	,002	7,6242713	24,4890620
		4-4-1	6,38333333	2,54742696	,143	-2,0490620	14,8157287
		4-6-1	-,99666667	2,84810993	,984	-10,4243713	8,4310379
	4-6-1	4-3-1	17,05333333*	2,84810993	,002	7,6256287	26,4810379
		4-4-1	7,38000000	2,84810993	,128	-2,0477046	16,8077046
		4-5-1	,99666667	2,84810993	,984	-8,4310379	10,4243713
Tokluk	4-3-1	4-4-1	-,00046667	,00024300	,301	-,0012710	,0003377
		4-5-1	-,00180000*	,00024300	,001	-,0026044	-,0009956
		4-6-1	-,00113333*	,00027168	,017	-,0020326	-,0002340
	4-4-1	4-3-1	,00046667	,00024300	,301	-,0003377	,0012710
		4-5-1	-,00133333*	,00024300	,004	-,0021377	-,0005290
		4-6-1	-,00066667	,00027168	,153	-,0015660	,0002326
	4-5-1	4-3-1	,00180000*	,00024300	,001	,0009956	,0026044
		4-4-1	,00133333*	,00024300	,004	,0005290	,0021377
		4-6-1	,00066667	,00027168	,153	-,0002326	,0015660
	4-6-1	4-3-1	,00113333*	,00027168	,017	,0002340	,0020326
		4-4-1	,00066667	,00027168	,153	-,0002326	,0015660
		4-5-1	-,00066667	,00027168	,153	-,0015660	,0002326

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge EK-A. 64 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Esname_Dayanımı				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
4-3-1	3	12,3166667		
4-4-1	3		21,9900000	
4-5-1	3		28,3733333	
4-6-1	2		29,3700000	
Sig.		1,000	,107	
Tokluk				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4-3-1	3	,0004667		
4-4-1	3	,0009333	,0009333	
4-6-1	2		,0016000	,0016000
4-5-1	3			,0022667
Sig.		,343	,129	,129

Çizelge EK-A. 65 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	2619972,000	3	873324,000	1,278	,346
	Within Groups	5464744,667	8	683093,083		
	Total	8084716,667	11			
Esname_Dayanımı	Between Groups	198,692	3	66,231	2,009	,191
	Within Groups	263,769	8	32,971		
	Total	462,461	11			
Tokluk	Between Groups	,000	3	,000	1,343	,327
	Within Groups	,000	8	,000		
	Total	,000	11			

Çizelge EK-A. 66 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Esname_Dayanımı	Between Groups	335,653	3	111,884	8,310	,008
	Within Groups	107,706	8	13,463		
	Total	443,360	11			
Tokluk	Between Groups	,000	3	,000	3,934	,054
	Within Groups	,000	8	,000		
	Total	,000	11			

Çizelge EK-A. 67 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons						
Dependent Variable:Esname_Dayanımı						
Tukey HSD						
(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-3-3	4-4-3	6,58300000	2,99592020	,204	-3,0109911	16,1769911
	4-5-3	7,54333333	2,99592020	,131	-2,0506577	17,1373244
	4-6-3	-5,50000000	2,99592020	,325	-15,0939911	4,0939911
4-4-3	4-3-3	-6,58300000	2,99592020	,204	-16,1769911	3,0109911
	4-5-3	,96033333	2,99592020	,988	-8,6336577	10,5543244
	4-6-3	-12,08300000*	2,99592020	,016	-21,6769911	-2,4890089
4-5-3	4-3-3	-7,54333333	2,99592020	,131	-17,1373244	2,0506577
	4-4-3	-,96033333	2,99592020	,988	-10,5543244	8,6336577
	4-6-3	-13,04333333*	2,99592020	,010	-22,6373244	-3,4493423
4-6-3	4-3-3	5,50000000	2,99592020	,325	-4,0939911	15,0939911
	4-4-3	12,08300000*	2,99592020	,016	2,4890089	21,6769911
	4-5-3	13,04333333*	2,99592020	,010	3,4493423	22,6373244
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 68 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı değerlerinin Tukey HSD analizi

Esneme_Dayanımı			
Tukey HSD ^a			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-5-3	3	6,3700000	
4-4-3	3	7,3303333	
4-3-3	3	13,9133333	13,9133333
4-6-3	3		19,4133333
Sig.		,131	,325

Çizelge EK-A. 69 Grup numarası 4 – 3 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Kompozit	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
E_Modülü	4-3-3	3	1743,0000000	450,92349684	260,34080228
	4-6-3	3	1275,6666667	520,19259254	300,33333333

Çizelge EK-A. 70 Grup numarası 4 – 3 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	,179	,694	1,176
	Equal variances not assumed			1,176
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	4	,305	467,33333333
	Equal variances not assumed	3,921	,306	467,33333333
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	397,46376495	-636,20299134	1570,869658
	Equal variances not assumed	397,46376495	-645,02632395	1579,692991

Çizelge EK-A. 71 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
Kompozit		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Elastisite_Modülü	4-7	2	3357,0000000	321,02647866	227,00000000
	4-7-AZT	4	3055,5000000	452,96394264	226,48197132
Esneme_Dayanımı	4-7	2	46,5200000	2,87085353	2,03000000
	4-7-AZT	4	55,1750000	1,85898718	,92949359
Tokluk	4-7	2	,0039500	,00007071	,00005000
	4-7-AZT	4	,0070500	,00083865	,00041932

Çizelge EK-A. 72 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	,272	,629	,821
	Equal variances not assumed			,940
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	,787	,425	-4,633
	Equal variances not assumed			-3,877
Tokluk	Equal variances assumed	1,867	,244	-4,923
	Equal variances not assumed			-7,341
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	4	,458	301,50000000
	Equal variances not assumed	2,993	,417	301,50000000
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	4	,010	-8,65500000
	Equal variances not assumed	1,442	,099	-8,65500000
Tokluk	Equal variances assumed	4	,008	-,00310000
	Equal variances not assumed	3,084	,005	-,00310000
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	367,062750	-717,62957577	1320,62957577
	Equal variances not assumed	320,660386	-720,30771065	1323,30771065
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	1,86795175	-13,84126550	-3,46873450
	Equal variances not assumed	2,23267963	-22,86981696	5,55981696
Tokluk	Equal variances assumed	,00062973	-,00484842	-,00135158
	Equal variances not assumed	,00042230	-,00442345	-,00177655

Çizelge EK-A. 73 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Esneme_Dayanımı	Between Groups	312,927	3	104,309	34,802	,000
	Within Groups	20,980	7	2,997		
	Total	333,907	10			
Tokluk	Between Groups	,000	3	,000	18,961	,001
	Within Groups	,000	7	,000		
	Total	,000	10			
Elastisite_Modülü	Between Groups	9018724,129	3	3006241,376	58,872	,000
	Within Groups	357446,417	7	51063,774		
	Total	9376170,545	10			

Çizelge EK-A. 74 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluklarının Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Esname_Dayanımı	7-2-1	7-2-2	1,62000000	1,49929507	,711	-3,3429092	6,5829092
		7-2-3	3,72666667	1,32225397	,095	-,6502079	8,1035412
		7-2-1-AZT	-11,69000000*	1,49929507	,000	-16,6529092	-6,7270908
	7-2-2	7-2-1	-1,62000000	1,49929507	,711	-6,5829092	3,3429092
		7-2-3	2,10666667	1,58039577	,573	-3,1246990	7,3380323
		7-2-1-AZT	-13,31000000*	1,73123683	,001	-19,0406740	-7,5793260
	7-2-3	7-2-1	-3,72666667	1,32225397	,095	-8,1035412	,6502079
		7-2-2	-2,10666667	1,58039577	,573	-7,3380323	3,1246990
		7-2-1-AZT	-15,41666667*	1,58039577	,000	-20,6480323	-10,1853010
	7-2-1-AZT	7-2-1	11,69000000*	1,49929507	,000	6,7270908	16,6529092
		7-2-2	13,31000000*	1,73123683	,001	7,5793260	19,0406740
		7-2-3	15,41666667*	1,58039577	,000	10,1853010	20,6480323
Tokluk	7-2-1	7-2-2	-,00137500	,00043353	,060	-,0028100	,0000600
		7-2-3	-,00284167*	,00038234	,001	-,0041073	-,0015761
		7-2-1-AZT	-,00077500	,00043353	,353	-,0022100	,0006600
	7-2-2	7-2-1	,00137500	,00043353	,060	-,0000600	,0028100
		7-2-3	-,00146667	,00045698	,057	-,0029793	,0000460
		7-2-1-AZT	,00060000	,00050059	,647	-,0010571	,0022571
	7-2-3	7-2-1	,00284167*	,00038234	,001	,0015761	,0041073
		7-2-2	,00146667	,00045698	,057	-,0000460	,0029793
		7-2-1-AZT	,00206667*	,00045698	,011	,0005540	,0035793
	7-2-1-AZT	7-2-1	,00077500	,00043353	,353	-,0006600	,0022100
		7-2-2	-,00060000	,00050059	,647	-,0022571	,0010571
		7-2-3	-,00206667*	,00045698	,011	-,0035793	-,0005540
Elastisite_Modülü	7-2-1	7-2-2	1151,250000*	195,6983147	,003	503,4569200	1799,043080
		7-2-3	1806,083333*	172,5896909	,000	1234,783536	2377,383130
		7-2-1-AZT	-541,750000	195,6983147	,101	-1189,54308	106,0430800
	7-2-2	7-2-1	-1151,250000*	195,6983147	,003	-1799,04308	-503,4569200
		7-2-3	654,8333333	206,2841362	,060	-28,0005284	1337,667195
		7-2-1-AZT	-1693,0000000*	225,9729493	,001	-2441,00702	-944,9929818
	7-2-3	7-2-1	-1806,0833333*	172,5896909	,000	-2377,38313	-1234,783536
		7-2-2	-654,8333333	206,2841362	,060	-1337,667195	28,0005284
		7-2-1-AZT	-2347,8333333*	206,2841362	,000	-3030,667195	-1664,999472
	7-2-1-AZT	7-2-1	541,7500000	195,6983147	,101	-106,04308	1189,543080
		7-2-2	1693,0000000*	225,9729493	,001	944,9929818	2441,007018
		7-2-3	2347,8333333*	206,2841362	,000	1664,999472	3030,667195
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.							

Çizelge EK-A. 75 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Esneme_Dayanımı			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
7-2-3	3	35,6333333	
7-2-2	2	37,7400000	
7-2-1	4	39,3600000	
7-2-1-AZT	2		51,0500000
Sig.		,160	1,000
Tokluk			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
7-2-1	4	,0032250	
7-2-1-AZT	2	,0040000	
7-2-2	2	,0046000	,0046000
7-2-3	3		,0060667
Sig.		,067	,051
E_Modülü			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
7-2-3	3	1384,6666667	
7-2-2	2	2039,5000000	
7-2-1	4		3190,7500000
7-2-1-AZT	2		3732,5000000
Sig.		,054	,112

Çizelge EK-A. 76 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Esname_Dayanımı	Between Groups	440,698	2	220,349	251,621	,000
	Within Groups	3,503	4	,876		
	Total	444,201	6			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	38,112	,002
	Within Groups	,000	4	,000		
	Total	,000	6			

Çizelge EK-A. 77 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Esname_Dayanımı	9-2-1	9-2-2	-18,87333333*	,85426219	,000	-21,9179144	-15,8287522
		9-2-3	-14,37000000*	,93579734	,000	-17,7051715	-11,0348285
	9-2-2	9-2-1	18,87333333*	,85426219	,000	15,8287522	21,9179144
		9-2-3	4,50333333*	,85426219	,014	1,4587522	7,5479144
	9-2-3	9-2-1	14,37000000*	,93579734	,000	11,0348285	17,7051715
		9-2-2	-4,50333333*	,85426219	,014	-7,5479144	-1,4587522
Tokluk	9-2-1	9-2-2	-,00316667*	,00036276	,002	-,0044596	-,0018738
		9-2-3	-,00195000*	,00039739	,017	-,0033663	-,0005337
	9-2-2	9-2-1	,00316667*	,00036276	,002	,0018738	,0044596
		9-2-3	,00121667	,00036276	,060	-,0000762	,0025096
	9-2-3	9-2-1	,00195000*	,00039739	,017	,0005337	,0033663
		9-2-2	-,00121667	,00036276	,060	-,0025096	,0000762

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge EK-A. 78 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Esneme_Dayanımı				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
9-2-1	2	11,5000000		
9-2-3	2		25,8700000	
9-2-2	3			30,3733333
Sig.		1,000	1,000	1,000
Tokluk				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
9-2-1	2	,0015000		
9-2-3	2		,0034500	
9-2-2	3		,0046667	
Sig.		1,000	,066	

Çizelge EK-A. 79 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi

Group Statistics					
Kompozit		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Elastisite_Modülü	9-2-2	3	1802,667	68,369	39,473
	9-2-3	2	1526,500	184,555	130,500

Çizelge EK-A. 80 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin T-testi

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	18,899	,022	2,515
	Equal variances not assumed			2,026
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	3	,087	276,17
	Equal variances not assumed	1,186	,260	276,17
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	109,81	-73,30	625,63
	Equal variances not assumed	136,34	-928,67	1481,01

Çizelge EK-A. 81 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	665316,000	2	332658,000	1,481	,357
	Within Groups	673812,000	3	224604,000		
	Total	1339128,000	5			
Esneme_Dayanımı	Between Groups	31,069	2	15,535	1,286	,395
	Within Groups	36,226	3	12,075		
	Total	67,295	5			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	1,199	,414
	Within Groups	,000	3	,000		
	Total	,000	5			

Çizelge EK-A. 82 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Kompozit	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Elastisite_Modülü	9-2-1	0 ^a	.	.	.
	9-3-1	2	1085,0000000	248,90158698	176,00000000
Esneme_Dayanımı	9-2-1	2	11,5000000	1,42835570	1,01000000
	9-3-1	2	25,3700000	5,38815367	3,81000000
Tokluk	9-2-1	2	,0015000	,00042426	,00030000
	9-3-1	2	,0041500	,00162635	,00115000
a. t cannot be computed because at least one of the groups is empty.					

Çizelge EK-A. 83 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	.	.	-3,519
	Equal variances not assumed	.	.	-3,519
Tokluk	Equal variances assumed	.	.	-2,230
	Equal variances not assumed	.	.	-2,230
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	2	,072	-13,87000000
	Equal variances not assumed	1,140	,152	-13,87000000
Tokluk	Equal variances assumed	2	,156	-,00265000
	Equal variances not assumed	1,135	,244	-,00265000
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	3,94159866	-30,82933024	3,08933024
	Equal variances not assumed	3,94159866	-51,52988350	23,78988350
Tokluk	Equal variances assumed	,00118849	-,00776364	,00246364
	Equal variances not assumed	,00118849	-,01409337	,00879337

Çizelge EK-A. 84 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Kompozit	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Elastisite_Modülü	9-2-2	3	1802,6666667	68,36909633	39,47291617
	9-3-2	2	1718,0000000	456,79098065	323,00000000
Esneme_Dayanımı	9-2-2	3	30,3733333	,73921129	,42678384
	9-3-2	2	24,9350000	1,32228968	,93500000
Tokluk	9-2-2	3	,0046667	,00040415	,00023333
	9-3-2	2	,0031000	,00127279	,00090000

Çizelge EK-A. 85 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	226,146	,001	,344
	Equal variances not assumed			,260
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	2,697	,199	6,121
	Equal variances not assumed			5,291
Tokluk	Equal variances assumed	17,621	,025	2,131
	Equal variances not assumed			1,685
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	3	,754	84,66666667
	Equal variances not assumed	1,030	,837	84,66666667
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	3	,009	5,43833333
	Equal variances not assumed	1,429	,066	5,43833333
Tokluk	Equal variances assumed	3	,123	,00156667
	Equal variances not assumed	1,136	,318	,00156667
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	246,0841470	-698,48291776	867,81625109
	Equal variances not assumed	325,4029980	-3776,1644028	3945,49773617
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	,88840004	2,61104791	8,26561876
	Equal variances not assumed	1,02779835	-1,19413637	12,07080303
Tokluk	Equal variances assumed	,00073535	-,00077355	,00390688
	Equal variances not assumed	,00092976	-,00737121	,01050454

Çizelge EK-A. 86 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Kompozit	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Elastisite_Modülü	9-2-3	2	1526,5000000	184,55486989	130,50000000
	9-3-3	2	956,0000000	634,98188951	449,00000000
Esneme_Dayanımı	9-2-3	2	25,8700000	,60811183	,43000000
	9-3-3	2	20,3400000	2,33345238	1,65000000
Tokluk	9-2-3	2	,0034500	,00035355	,00025000
	9-3-3	2	,0022000	,00070711	,00050000

Çizelge EK-A. 87 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	.	.	1,220
	Equal variances not assumed			1,220
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	.	.	3,243
	Equal variances not assumed			3,243
Tokluk	Equal variances assumed	.	.	2,236
	Equal variances not assumed			2,236
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	2	,347	570,50000000
	Equal variances not assumed	1,168	,414	570,50000000
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	2	,083	5,53000000
	Equal variances not assumed	1,135	,166	5,53000000
Tokluk	Equal variances assumed	2	,155	,00125000
	Equal variances not assumed	1,471	,199	,00125000
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	467,5802070	-1441,3352541	2582,33525413
	Equal variances not assumed	467,5802070	-3689,1047026	4830,10470263
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	1,70510997	-1,80649605	12,86649605
	Equal variances not assumed	1,70510997	-10,89558447	21,95558447
Tokluk	Equal variances assumed	,00055902	-,00115526	,00365526
	Equal variances not assumed	,00055902	-,00220926	,00470926

Çizelge EK-A. 88 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
	Kompozit	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Elastisite_Modülü	4-7	2	3357,0000000	321,02647866	227,00000000
	7-1	2	1221,5000000	136,47160877	96,50000000
Esneme_Dayanımı	4-7	2	46,5200000	2,87085353	2,03000000
	7-1	3	26,2766667	1,43318992	,82745258
Tokluk	4-7	2	,0039500	,00007071	,00005000
	7-1	3	,0025667	,00066583	,00038442

Çizelge EK-A. 89 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	.	.	8,658
	Equal variances not assumed			8,658
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	3,560	,156	10,930
	Equal variances not assumed			9,234
Tokluk	Equal variances assumed	7,434	,072	2,780
	Equal variances not assumed			3,568
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	2	,013	2135,50000000
	Equal variances not assumed	1,350	,038	2135,50000000
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	3	,002	20,24333333
	Equal variances not assumed	1,341	,035	20,24333333
Tokluk	Equal variances assumed	3	,069	,00138333
	Equal variances not assumed	2,067	,067	,00138333
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
Elastisite_Modülü	Equal variances assumed	246,66019136	1074,20685434	3196,79314566
	Equal variances not assumed	246,66019136	396,99731437	3874,00268563
Esneme_Dayanımı	Equal variances assumed	1,85216590	14,34891481	26,13775186
	Equal variances not assumed	2,19216281	4,63196373	35,85470294
Tokluk	Equal variances assumed	,00049768	-,00020051	,00296717
	Equal variances not assumed	,00038766	-,00023382	,00300049

Çizelge EK-A. 90 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	6259526,125	2	3129763,063	34,760	,001
	Within Groups	450192,750	5	90038,550		
	Total	6709718,875	7			
Esneme_Dayanımı	Between Groups	303,520	2	151,760	11,385	,014
	Within Groups	66,651	5	13,330		
	Total	370,172	7			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	5,490	,055
	Within Groups	,000	5	,000		
	Total	,000	7			

Çizelge EK-A. 91 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü ve esneme dayanımı değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Elastisite_Modülü	9-3-1	4-6-1	-1885,00000000*	300,06424312	,003	-2861,382589	-908,6174106
		7-2-1	-2105,75000000*	259,86325731	,001	-2951,322126	-1260,177874
	4-6-1	9-3-1	1885,00000000*	300,06424312	,003	908,6174106	2861,3825894
		7-2-1	-220,75000000	259,86325731	,692	-1066,322126	624,8221262
	7-2-1	9-3-1	2105,75000000*	259,86325731	,001	1260,177873	2951,3221262
		4-6-1	220,75000000	259,86325731	,692	-624,8221262	1066,3221262
Esneme_Dayanımı	9-3-1	4-6-1	-4,00000000	3,65106560	,557	-15,8802455	7,8802455
		7-2-1	-13,99000000*	3,16191556	,016	-24,2785944	-3,7014056
	4-6-1	9-3-1	4,00000000	3,65106560	,557	-7,8802455	15,8802455
		7-2-1	-9,99000000	3,16191556	,055	-20,2785944	,2985944
	7-2-1	9-3-1	13,99000000*	3,16191556	,016	3,7014056	24,2785944
		4-6-1	9,99000000	3,16191556	,055	-,2985944	20,2785944

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge EK-A. 92 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin elastisite modülü ve esneme dayanımı değerlerinin Tukey HSD analizi

Elastisite_Modülü			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
9-3-1	2	1085,0000000	
4-6-1	2		2970,0000000
7-2-1	4		3190,7500000
Sig.		1,000	,716
Esneme_Dayanımı			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
9-3-1	2	25,3700000	
4-6-1	2	29,3700000	29,3700000
7-2-1	4		39,3600000
Sig.		,503	,066

Çizelge EK-A. 93 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	522698,262	2	261349,131	,861	,489
	Within Groups	1213481,167	4	303370,292		
	Total	1736179,429	6			
Esneme_Dayanımı	Between Groups	319,253	2	159,626	2,870	,169
	Within Groups	222,474	4	55,618		
	Total	541,727	6			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	5,665	,068
	Within Groups	,000	4	,000		
	Total	,000	6			

Çizelge EK-A. 94 Grup numarası 4 – 6 – 3, 7 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin elastisite modülü, esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Elastisite_Modülü	Between Groups	227822,542	2	113911,271	,562	,603
	Within Groups	1014187,333	5	202837,467		
	Total	1242009,875	7			
Esneme_Dayanımı	Between Groups	472,033	2	236,017	38,379	,001
	Within Groups	30,748	5	6,150		
	Total	502,781	7			
Tokluk	Between Groups	,000	2	,000	38,695	,001
	Within Groups	,000	5	,000		
	Total	,000	7			

Çizelge EK-A. 95 Grup numarası 4 – 6 – 3, 7 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Esneme_Dayanımı	9-3-3	4-6-3	,92666667	2,26376285	,913	-6,4394180	8,2927514
		7-2-3	-15,29333333*	2,26376285	,003	-22,6594180	-7,9272486
	4-6-3	9-3-3	-,92666667	2,26376285	,913	-8,2927514	6,4394180
		7-2-3	-16,22000000*	2,02477104	,001	-22,8084264	-9,6315736
	7-2-3	9-3-3	15,29333333*	2,26376285	,003	7,9272486	22,6594180
		4-6-3	16,22000000*	2,02477104	,001	9,6315736	22,8084264
Tokluk	9-3-3	4-6-3	,00076667	,00062093	,486	-,0012538	,0027871
		7-2-3	-,00386667*	,00062093	,004	-,0058871	-,0018462
	4-6-3	9-3-3	-,00076667	,00062093	,486	-,0027871	,0012538
		7-2-3	-,00463333*	,00055538	,001	-,0064405	-,0028262
	7-2-3	9-3-3	,00386667*	,00062093	,004	,0018462	,0058871
		4-6-3	,00463333*	,00055538	,001	,0028262	,0064405

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge EK-A. 96 Grup numarası 4 – 6 – 3, 7 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin esneme dayanımı ve tokluk değerlerinin Tukey HSD analizi

Esneme_Dayanımı			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-6-3	3	19,4133333	
9-3-3	2	20,3400000	
7-2-3	3		35,6333333
Sig.		,908	1,000
Tokluk			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-6-3	3	,0014333	
9-3-3	2	,0022000	
7-2-3	3		,0060667
Sig.		,464	1,000

A-3 Su Testi Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Çizelge EK-A. 97 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	3,566	2	1,783	23,705	,001
	Within Groups	,451	6	,075		
	Total	4,017	8			
% Çözünürlük	Between Groups	10,639	2	5,319	13,135	,006
	Within Groups	2,430	6	,405		
	Total	13,069	8			

Çizelge EK-A. 98 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
% Su Absorpsiyonu	4-1	4-2	-1,53992*	,22393	,001	-2,2270	-,8528
		4-7	-,70302*	,22393	,046	-1,3901	-,0159
	4-2	4-1	1,53992*	,22393	,001	,8528	2,2270
		4-7	,83690*	,22393	,023	,1498	1,5240
	4-7	4-1	,70302*	,22393	,046	,0159	1,3901
		4-2	-,83690*	,22393	,023	-1,5240	-,1498
% Çözünürlük	4-1	4-2	-2,63845*	,51960	,005	-4,2327	-1,0442
		4-7	-1,00559	,51960	,209	-2,5999	,5887
	4-2	4-1	2,63845*	,51960	,005	1,0442	4,2327
		4-7	1,63285*	,51960	,046	,0386	3,2271
	4-7	4-1	1,00559	,51960	,209	-,5887	2,5999
		4-2	-1,63285*	,51960	,046	-3,2271	-,0386

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge EK-A. 99 Grup numarası 4 – 1, 4 – 2 ve 4 – 7 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

% Su Absorpsiyonu				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4-1	3	6,1904		
4-7	3		6,8934	
4-2	3			7,7303
Sig.		1,000	1,000	1,000
% Çözünürlük				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
4-1	3	2,8804		
4-7	3	3,8860		
4-2	3			5,5189
Sig.		,209		1,000

Çizelge EK-A. 100 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	2,850	2	1,425	11,032	,010
	Within Groups	,775	6	,129		
	Total	3,625	8			
% Çözünürlük	Between Groups	,037	2	,018	,209	,817
	Within Groups	,530	6	,088		
	Total	,567	8			

Çizelge EK-A. 101 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: % Su Absorpsiyonu						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-3-1	4-3-2	,05672	,29345	,980	-,8437	,9571
	4-3-3	-1,16433 *	,29345	,017	-2,0647	-,2640
4-3-2	4-3-1	-,05672	,29345	,980	-,9571	,8437
	4-3-3	-1,22105 *	,29345	,014	-2,1214	-,3207
4-3-3	4-3-1	1,16433 *	,29345	,017	,2640	2,0647
	4-3-2	1,22105 *	,29345	,014	,3207	2,1214
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 102 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 3 – 2 ve 4 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu değerlerinin Tukey HSD analizi

% Su Absorpsiyonu			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-3-2	3	7,1404	
4-3-1	3	7,1971	
4-3-3	3		8,3614
Sig.		,980	1,000

Çizelge EK-A. 103 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,452	2	,226	14,302	,005
	Within Groups	,095	6	,016		
	Total	,547	8			
% Çözünürlük	Between Groups	1,633	2	,817	248,627	,000
	Within Groups	,020	6	,003		
	Total	1,653	8			

Çizelge EK-A. 104 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
% Su Absorpsiyonu	4-4-1	4-4-2	-,12580	,10269	,483	-,4409	,1893
		4-4-3	-,52587*	,10269	,005	-,8409	-,2108
	4-4-2	4-4-1	,12580	,10269	,483	-,1893	,4409
		4-4-3	-,40007*	,10269	,019	-,7151	-,0850
	4-4-3	4-4-1	,52587*	,10269	,005	,2108	,8409
		4-4-2	,40007*	,10269	,019	,0850	,7151
% Çözünürlük	4-4-1	4-4-2	,67968*	,04680	,000	,5361	,8233
		4-4-3	1,02556*	,04680	,000	,8820	1,1691
	4-4-2	4-4-1	-,67968*	,04680	,000	-,8233	-,5361
		4-4-3	,34588*	,04680	,001	,2023	,4895
	4-4-3	4-4-1	-1,02556*	,04680	,000	-1,1691	-,8820
		4-4-2	-,34588*	,04680	,001	-,4895	-,2023
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.							

Çizelge EK-A. 105 Grup numarası 4 – 4 – 1, 4 – 4 – 2 ve 4 – 4 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

% Su Absorpsiyonu				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
4-4-1	3	7,2864		
4-4-2	3	7,4122		
4-4-3	3		7,8123	
Sig.		,483	1,000	
% Çözünürlük				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
4-4-3	3	3,2469		
4-4-2	3		3,5927	
4-4-1	3			4,2724
Sig.		1,000	1,000	1,000

Çizelge EK-A. 106 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	1,465	2	,733	30,877	,001
	Within Groups	,142	6	,024		
	Total	1,608	8			
% Çözünürlük	Between Groups	,640	2	,320	22,668	,002
	Within Groups	,085	6	,014		
	Total	,724	8			

Çizelge EK-A. 107 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
% Su Absorpsiyonu	4-5-1	4-5-2	-,58110*	,12578	,009	-,9670	-,1952
		4-5-3	-,98297*	,12578	,001	-1,3689	-,5970
	4-5-2	4-5-1	,58110*	,12578	,009	,1952	,9670
		4-5-3	-,40187*	,12578	,043	-,7878	-,0160
	4-5-3	4-5-1	,98297*	,12578	,001	,5970	1,3689
		4-5-2	,40187*	,12578	,043	,0160	,7878
% Çözünürlük	4-5-1	4-5-2	-,60564*	,09697	,002	-,9032	-,3081
		4-5-3	-,51413*	,09697	,004	-,8117	-,2166
	4-5-2	4-5-1	,60564*	,09697	,002	,3081	,9032
		4-5-3	,09151	,09697	,635	-,2060	,3891
	4-5-3	4-5-1	,51413*	,09697	,004	,2166	,8117
		4-5-2	-,09151	,09697	,635	-,3891	,2060

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Çizelge EK-A. 108 Grup numarası 4 – 5 – 1, 4 – 5 – 2 ve 4 – 5 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

% Su Absorpsiyonu				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4-5-1	3	7,0442		
4-5-2	3		7,6252	
4-5-3	3			8,0271
Sig.		1,000	1,000	1,000
% Çözünürlük				
Tukey HSD ^{a,b}				
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	
4-5-1	3	3,7628		
4-5-3	3			4,2769
4-5-2	3			4,3684
Sig.		1,000		,635

Çizelge EK-A. 109 Grup numarası 4 – 6 – 1, 4 – 6 – 2 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,542	2	,271	1,977	,219
	Within Groups	,823	6	,137		
	Total	1,365	8			
% Çözünürlük	Between Groups	2,549	2	1,275	1,383	,321
	Within Groups	5,528	6	,921		
	Total	8,078	8			

Çizelge EK-A. 110 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,110	3	,037	2,395	,144
	Within Groups	,123	8	,015		
	Total	,233	11			
% Çözünürlük	Between Groups	4,245	3	1,415	7,237	,011
	Within Groups	1,564	8	,196		
	Total	5,809	11			

Çizelge EK-A. 111 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: % Çözünürlük						
Tukey HSD						
(I) Grup_No	(J) Grup_No	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4-3-1	4-4-1	,19320	,36103	,948	-,9629	1,3493
	4-5-1	,70282	,36103	,283	-,4533	1,8590
	4-6-1	1,53764*	,36103	,012	,3815	2,6938
4-4-1	4-3-1	-,19320	,36103	,948	-1,3493	,9629
	4-5-1	,50962	,36103	,527	-,6465	1,6658
	4-6-1	1,34444*	,36103	,024	,1883	2,5006
4-5-1	4-3-1	-,70282	,36103	,283	-1,8590	,4533
	4-4-1	-,50962	,36103	,527	-1,6658	,6465
	4-6-1	,83482	,36103	,174	-,3213	1,9910
4-6-1	4-3-1	-1,53764*	,36103	,012	-2,6938	-,3815
	4-4-1	-1,34444*	,36103	,024	-2,5006	-,1883
	4-5-1	-,83482	,36103	,174	-1,9910	,3213
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

Çizelge EK-A. 112 Grup numarası 4 – 3 – 1, 4 – 4 – 1, 4 – 5 – 1 ve 4 – 6 – 1 olan kompozitlerin % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

% Çözünürlük			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4-6-1	3	2,9280	
4-5-1	3	3,7628	3,7628
4-4-1	3		4,2724
4-3-1	3		4,4656
Sig.		,174	,283

Çizelge EK-A. 113 Grup numarası 4 – 3 – 2, 4 – 4 – 2, 4 – 5 – 2 ve 4 – 6 – 2 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,383	3	,128	3,532	,068
	Within Groups	,290	8	,036		
	Total	,673	11			
% Çözünürlük	Between Groups	1,154	3	,385	1,857	,215
	Within Groups	1,656	8	,207		
	Total	2,810	11			

Çizelge EK-A. 114 Grup numarası 4 – 3 – 3, 4 – 4 – 3, 4 – 5 – 3 ve 4 – 6 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,811	3	,270	1,521	,282
	Within Groups	1,422	8	,178		
	Total	2,234	11			
% Çözünürlük	Between Groups	2,480	3	,827	2,247	,160
	Within Groups	2,943	8	,368		
	Total	5,423	11			

Çizelge EK-A. 115 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi sonuçları

Group Statistics					
Kompozit		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
% Su Absorpsiyonu	4-7	3	6,8934	,40854	,23587
	4-7-AZT	3	6,5645	,64754	,37386
% Çözünürlük	4-7	3	3,8860	1,08993	,62927
	4-7-AZT	3	2,4689	,94207	,54390

Çizelge EK-A. 116 Grup numarası 4 – 7 ve 4 – 7 – AZT olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi sonuçları

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	1,312	,316	,744
	Equal variances not assumed			,744
% Çözünürlük	Equal variances assumed	,104	,763	1,704
	Equal variances not assumed			1,704
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	4	,498	,32894
	Equal variances not assumed	3,374	,505	,32894
% Çözünürlük	Equal variances assumed	4	,164	1,41713
	Equal variances not assumed	3,918	,165	1,41713
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	,44205	-,89838	1,55626
	Equal variances not assumed	,44205	-,99354	1,65142
% Çözünürlük	Equal variances assumed	,83175	-,89219	3,72645
	Equal variances not assumed	,83175	-,91140	3,74566

Çizelge EK-A. 117 Grup numarası 7 – 2 – 1, 7 – 2 – 2, 7 – 2 – 3 ve 7 – 2 – AZT – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,130	3	,043	,074	,972
	Within Groups	4,687	8	,586		
	Total	4,816	11			
% Çözünürlük	Between Groups	1,953	3	,651	1,391	,314
	Within Groups	3,745	8	,468		
	Total	5,698	11			

Çizelge EK-A. 118 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2, 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	3,019	2	1,510	93,150	,000
	Within Groups	,097	6	,016		
	Total	3,117	8			
% Çözünürlük	Between Groups	3,279	2	1,639	60,335	,000
	Within Groups	,163	6	,027		
	Total	3,442	8			

Çizelge EK-A. 119 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2, 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
Dependent Variable	(I) Kompozit	(J) Kompozit	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
% Su Absorpsiyonu	9-2-1	9-2-2	1,33733 [*]	,10395	,000	1,0184	1,6563
		9-2-3	1,07900 [*]	,10395	,000	,7601	1,3979
	9-2-2	9-2-1	-1,33733 [*]	,10395	,000	-1,6563	-1,0184
		9-2-3	-,25833	,10395	,104	-,5773	,0606
	9-2-3	9-2-1	-1,07900 [*]	,10395	,000	-1,3979	-,7601
		9-2-2	,25833	,10395	,104	-,0606	,5773
% Çözünürlük	9-2-1	9-2-2	1,21814 [*]	,13459	,000	,8052	1,6311
		9-2-3	1,33461 [*]	,13459	,000	,9217	1,7476
	9-2-2	9-2-1	-1,21814 [*]	,13459	,000	-1,6311	-,8052
		9-2-3	,11647	,13459	,680	-,2965	,5294
	9-2-3	9-2-1	-1,33461 [*]	,13459	,000	-1,7476	-,9217
		9-2-2	-,11647	,13459	,680	-,5294	,2965
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.							

Çizelge EK-A. 120 Grup numarası 9 – 2 – 1, 9 – 2 – 2, 9 – 2 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin Tukey HSD analizi

% Su Absorpsiyonu			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
9-2-2	3	8,4649	
9-2-3	3	8,7233	
9-2-1	3		9,8023
Sig.		,104	1,000
% Çözünürlük			
Tukey HSD ^{a,b}			
Kompozit	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
9-2-3	3	5,8290	
9-2-2	3	5,9454	
9-2-1	3		7,1636
Sig.		,680	1,000

Çizelge EK-A. 121 Grup numarası 9 – 3 – 1, 9 – 3 – 2, 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,020	2	,010	,095	,911
	Within Groups	,648	6	,108		
	Total	,669	8			
% Çözünürlük	Between Groups	2,976	2	1,488	3,765	,087
	Within Groups	2,371	6	,395		
	Total	5,346	8			

Çizelge EK-A. 122 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi

Group Statistics					
Kompozit		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
% Su Absorpsiyonu	9-2-1	3	9,8023	,19419	,11212
	9-3-1	3	7,8462	,14176	,08185
% Çözünürlük	9-2-1	3	7,1636	,17602	,10162
	9-3-1	3	3,5276	,29734	,17167

Çizelge EK-A. 123 Grup numarası 9 – 2 – 1 ve 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	,750	,435	14,092
	Equal variances not assumed			14,092
% Çözünürlük	Equal variances assumed	1,847	,246	18,226
	Equal variances not assumed			18,226
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	4	,000	1,95612
	Equal variances not assumed	3,660	,000	1,95612
% Çözünürlük	Equal variances assumed	4	,000	3,63602
	Equal variances not assumed	3,248	,000	3,63602
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	,13881	1,57072	2,34153
	Equal variances not assumed	,13881	1,55619	2,35606
% Çözünürlük	Equal variances assumed	,19950	3,08213	4,18991
	Equal variances not assumed	,19950	3,02773	4,24430

Çizelge EK-A. 124 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi

Group Statistics					
Kompozit		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
% Su Absorpsiyonu	9-2-2	3	8,4649	,09780	,05646
	9-3-2	3	7,7874	,31488	,18180
% Çözünürlük	9-2-2	3	5,9454	,12715	,07341
	9-3-2	3	4,6756	,34215	,19754

Çizelge EK-A. 125 Grup numarası 9 – 2 – 2 ve 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	2,590	,183	3,559
	Equal variances not assumed			3,559
% Çözünürlük	Equal variances assumed	5,360	,082	6,026
	Equal variances not assumed			6,026
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	4	,024	,67758
	Equal variances not assumed	2,382	,054	,67758
% Çözünürlük	Equal variances assumed	4	,004	1,26980
	Equal variances not assumed	2,542	,014	1,26980
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	,19036	,14905	1,20611
	Equal variances not assumed	,19036	-,02757	1,38273
% Çözünürlük	Equal variances assumed	,21074	,68471	1,85490
	Equal variances not assumed	,21074	,52533	2,01427

Çizelge EK-A. 126 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi

Group Statistics					
Kompozit		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
% Su Absorpsiyonu	9-2-3	3	8,7233	,03671	,02120
	9-3-3	3	7,9041	,45273	,26138
% Çözünürlük	9-2-3	3	5,8290	,18537	,10702
	9-3-3	3	4,8082	,98991	,57153

Çizelge EK-A. 127 Grup numarası 9 – 2 – 3 ve 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	11,927	,026	3,124
	Equal variances not assumed			3,124
% Çözünürlük	Equal variances assumed	10,195	,033	1,756
	Equal variances not assumed			1,756
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	4	,035	,81914
	Equal variances not assumed	2,026	,088	,81914
% Çözünürlük	Equal variances assumed	4	,154	1,02078
	Equal variances not assumed	2,140	,213	1,02078
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	,26224	,09105	1,54723
	Equal variances not assumed	,26224	-,29527	1,93354
% Çözünürlük	Equal variances assumed	,58146	-,59362	2,63517
	Equal variances not assumed	,58146	-1,33048	3,37203

Çizelge EK-A. 128 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi

Group Statistics					
Kompozit		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
% Su Absorpsiyonu	4-7	3	6,8934	,40854	,23587
	7-1	3	11,9295	1,38444	,79931
% Çözünürlük	4-7	3	3,8860	1,08993	,62927
	7-1	3	6,4536	,33877	,19559

Çizelge EK-A. 129 Grup numarası 4 – 7 ve 7 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin T-testi

Independent Samples Test				
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	6,474	,064	-6,043
	Equal variances not assumed			-6,043
% Çözünürlük	Equal variances assumed	4,928	,091	-3,896
	Equal variances not assumed			-3,896
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	4	,004	-5,03607
	Equal variances not assumed	2,346	,018	-5,03607
% Çözünürlük	Equal variances assumed	4	,018	-2,56758
	Equal variances not assumed	2,383	,045	-2,56758
Independent Samples Test				
		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
% Su Absorpsiyonu	Equal variances assumed	,83338	-7,34991	-2,72223
	Equal variances not assumed	,83338	-8,16012	-1,91203
% Çözünürlük	Equal variances assumed	,65897	-4,39717	-,73799
	Equal variances not assumed	,65897	-5,00812	-,12704

Çizelge EK-A. 130 Grup numarası 4 – 6 – 1, 7 – 2 – 1, 9 – 3 – 1 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,954	2	,477	1,034	,411
	Within Groups	2,767	6	,461		
	Total	3,720	8			
% Çözünürlük	Between Groups	,966	2	,483	1,153	,377
	Within Groups	2,513	6	,419		
	Total	3,480	8			

Çizelge EK-A. 131 Grup numarası 4 – 6 – 2, 7 – 2 – 2, 9 – 3 – 2 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,396	2	,198	1,858	,235
	Within Groups	,640	6	,107		
	Total	1,036	8			
% Çözünürlük	Between Groups	3,075	2	1,538	3,021	,124
	Within Groups	3,054	6	,509		
	Total	6,130	8			

Çizelge EK-A. 132 Grup numarası 4 – 6 – 3, 7 – 2 – 3, 9 – 3 – 3 olan kompozitlerin % su absorpsiyonu ve % çözünürlük değerlerinin ANOVA analizi

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
% Su Absorpsiyonu	Between Groups	,116	2	,058	,328	,733
	Within Groups	1,064	6	,177		
	Total	1,181	8			
% Çözünürlük	Between Groups	2,487	2	1,244	1,338	,331
	Within Groups	5,576	6	,929		
	Total	8,063	8			

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yeliz ELALMIŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.07.1981 / Kardjali-Bulgaristan
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yelizbasaran@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Biyomühendislik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lisans	Kimya	Balıkesir Üniversitesi	2004
Lise	Fen	Orhan Cemal Fersoy Lisesi	2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Altikatoglu M., Basaran-Elalmis Y., Protective effect of dextrans on glucose oxidase denaturation and inactivation, *Artificial Cells Blood Substitutes and Biotechnology*, 40(4), 261-265, (2012).
2. Altikatoglu M., Basaran-Elalmis Y., Additive Effect of Dextrans on the Stability of Horseradish Peroxidase, *Protein Journal*, 30(2), 84-90, (2011).
3. Altikatoglu M., Basaran Y., Arioz C., Ogan A., Kuzu H., Glucose Oxidase-dextran Conjugates with Enhanced Stabilities Against Temperature and pH, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 160(8), 2187-2197, (2010).
4. Altikatoglu M., Arioz C., Basaran Y., Kuzu H., Stabilization of horseradish peroxidase by covalent conjugation with dextran aldehyde against temperature and pH changes, *Central European Journal of Chemistry*, 7(3), 423-428, (2009).
5. Basaran-Elalmis Y., Yucel S., Aydin İ., Tekerek B. S., Amorphous Silica from Rice Hull Ash as a Filler Material for Dental Composites, *Advanced Science Letters*, 19(12), 3647-3651, (2013).
6. Erdagi A. N., Attar A., Basaran-Elalmis Y., Yucel S., Birbir, M., Production of α -Amylase from *Haloarcula hispanica* 2TK2 Strain: Optimization of the Parameters That Effecting Activity, *Advanced Science Letters*, 19(12), 3551-3555, (2013).
7. Altıkatoğlu M., Başaran Y., Arıöz C., Kuzu H., Horseradish Peroksidazın Dekstran ile Kovalent Konjugasyon Sonucu Termal Stabilizasyonu, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 24(4), 216-225, (2009).

1. Temel T.M., Yücel S., Elalmış Y., Karakuzu B., Production and Characterization of Silica Aerogels from Rice Hull Ash Silica, Chemical Engineering and Chemical Technologies Conference (CHEMTECH'14), Istanbul, Turkey, 23-25 October, 2014.
2. Terzioğlu P., Elalmis B.Y., Yücel S., Karakuzu B., Metin M., Cereal Wastes as An Alternative Low Cost Adsorbents, EURASIA 2014 Waste Management Symposium, Istanbul, Turkey, 28-30 April, 2014.
3. Elalmış B.Y., Yücel S., Aydın İ., Biogenic Silica Materials with Different Surface Area from Rice Husk Ash as Inorganic Filler for Dental Composites, International Porous and Powder Materials Symposium and Exhibition (PPM 2013), Çeşme-İzmir, Turkey, 3-6 September, 2013.
4. Altıkatoğlu M., Basaran Y., Kuzu H., Characterization of water-soluble conjugates of enzymes with dextran, 35th FEBS Congress, Gothenburg, Sweden, 26 June - 1 July, 2010.
5. Basaran Y., Kuzu H., A Study for Determining the Direct Effect of Myeloperoxidase Enzyme On Doxorubicin, 33rd FEBS Congress, Athens, Greece, 28 June - 3 July, 2008.
6. Başaran Y., Özdemir Z. Ö., Kuzu H, A Study For Determining The Direct Effect Of Myeloperoxidase Enzyme On Doxorubicin in the Presence of Free Radical Trap (5,5- Dimethyl -1-Pyrroline N-Oxide), 14th International Biomedical Science and Technology Symposium (BIOMED), Marmaris-Muğla, Turkey, 3-7 May, 2008.
7. Altıkatoğlu M., Başaran Y., Arıöz C., Kuzu H., Synthesis and Activity Results of Glucose Oxidase-Dextran Conjugates, 4th European Symposium on Biopolymers, Kusadasi, Turkey, 2-4 October, 2007.

8. Altıkatoğlu M., Arioş C., Başaran Y., Kuzu H., Enzyme-Water Soluble Polymer Conjugate Systems and Their Thermal Resistance, 4th European Symposium on Biopolymers, Kusadasi, Turkey, 2-4 October, 2007.
9. Başaran Y., Altıkatoğlu M., Arioş C., Kuzu H., Activity determination of HRP-Dextran conjugates in different pH values, 32nd FEBS Congress, Vienna, Austria, 7-12 July, 2007.
10. Altıkatoğlu M., Arioş C., Başaran Y., Kuzu H., Thermal stability of HRP-dextran conjugates, 32nd FEBS Congress, Vienna, Austria, 7-12 July, 2007.
11. Altıkatoğlu M., Oztolan O., Arslan A., Çelebi M., Arioş C., Başaran Y., Kuzu H., Mustafaev M., Dextran- Enzyme Conjugates and Their Characteristics, 3rd International Congress on Biocatalysis (Biocat2006), Hamburg, Germany, 3-7 September, 2006.
12. Kuzu H., Altıkatoğlu M., Oztolan O., Arslan A., Çelebi M., Arioş C., Başaran Y., The complexes of enzymes with water soluble polymers, 31st FEBS Congress, İstanbul, Turkey, 24-29 June, 2006.
13. Başaran Y., Kuzu H., Miyeloperoksidazın Kemoterapide Kullanılan Doksorubisine Etkisinin İncelenmesi, XXII. Ulusal Kimya Kongresi, Gazi Magusa / KKTC, 6-10 Ekim, 2008.
14. Altıkatoğlu M., Başaran Y., Arioş C., Kuzu H., Glukoz Oksidaz-Dekstran Konjugatlarının Sentezi ve Stabilite Yönünden Değerlendirilmesi, 21. Ulusal Kimya Kongresi, Malatya, Türkiye, 23-27 Ağustos, 2007.
15. Arioş C., Altıkatoğlu M., Başaran Y., Kuzu H., Enzimlerin Farklı Boyutlarda Dekstran Türevleri ile Modifikasyonu, 21. Ulusal Kimya

Kongresi, Malatya, Türkiye, 23-27 Ağustos, 2007.

16. Altıkatoğlu M., Arıöz C., Başaran Y., Topuzoğulları M., Budama Battal Y., Kuzu H., Horseradish Peroksidaz (HRP)-Dekstran Sülfat Konjugatları ve Karakterizasyonu, XX. Ulusal Kimya Kongresi, Kayseri, Türkiye, 4-8 Eylül, 2006.

Proje

1. Pirinç Kabuğu Külünden Elde Edilen Silikadan Mg, Al, Sr İlaveli Biyoaktif Camların Üretimi Ve Osteosit Hücreleri Üzerine Etkisi, YTÜ BAP, 2013-07-04-KAP06, 2013-2015, (Araştırmacı).
2. Bis-GMA Esaslı Dental Kompozitlerin Fotopolimerizasyonu Esnasında Oluşan Yapısal Değişikliklerin Matematiksel Modellenmesi, YTÜ BAP, 2012-07-04-KAP03, 2012-2014, (Araştırmacı).
3. Dental Kompozitlerde Pirinç Kabuğu Külünden Üretilen Silika Tozlarının Kullanılması, YTÜ BAP, 2012-07-04-DOP01, 2012-2015, (Araştırmacı).
4. Arkeal Kaynaklı α -Amilaz ve Selülaz Enzimlerinin Üretimi ve Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi, YTÜ BAP, 2011-07-04-KAP04, 2011-2013, (Araştırmacı).
5. Tıbbi biyosensör üretimi, YTÜ BAP, 27-07-04-01, 2007-2010, (Araştırmacı).
6. Biyomedikal Malzemeler ve Yapay Dokular, Devlet Planlama Teşkilatı, 25-DPT-07-04-01, 2005-2010, (Araştırmacı).