

93756

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZIR BETON ÜRETİMİNDE KALİTE  
KONTROL YÖNTEMLERİ**

**İnş. Müh. F. Serdağ CANOVA**

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fevziye AKÖZ**

**Prof. Zekeriya POLAT**



**İstanbul , 2000**

**Fevziye AKÖZ**



**Prof. Dr. Hulusi ÖZGEN**  
**MİĞİML**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Beton.....	2
1.2 Hazır Beton.....	3
1.2.1 Tanım.....	3
1.2.2 Tarihçe.....	4
1.2.3 Dünyada hazır beton.....	7
1.2.4 Türkiye’de hazır beton.....	9
2. BETONDA DAYANIM VE KALİTE.....	14
2.1 Betonun Bileşenleri.....	16
2.1.1 Çimento.....	16
2.1.2 Agrega.....	18
2.1.3 Beton karma suyu.....	19
2.1.4 Beton katkı maddeleri.....	20
2.1.4.1 Mineral katkılar .....	20
2.1.4.2 Kimyasal katkılar.....	22
2.2 Betonun Özellikleri.....	24
2.2.1 Taze betonun özellikleri.....	24
2.2.1.1 Uniform olması ve stabilite.....	24
2.2.1.2 İşlenebilirlik.....	25
2.2.1.3 Pompalanabilirlik .....	27
2.2.1.4 Su ihtiyacı ve su/çimento oranı .....	28
2.2.1.5 İşlenebilirliğin değişim hızı.....	28
2.2.1.6 Taşımanın hazır betonun işlenebilirliğine etkisi.....	29
2.2.1.7 Taşımanın dayanıma ve işlenebilirliğe etkisi.....	31
2.2.1.8 Taşıma ve karıştırma süresi .....	31
2.2.1.9 Betona su katılması .....	33
2.2.1.10 En büyük agrega dane büyüklüğü .....	35
2.2.1.11 Hazır beton üretiminde taze betonun sıcaklığı .....	36
2.2.1.12 Birim hacim kütlesi .....	36

2.2.2	Sertleşmiş betonun özellikleri .....	36
2.2.2.1	Basınç dayanımı .....	36
2.2.2.2	Betonun dış ortam etkilerine dayanıklılığı "durabilite" .....	37
2.2.2.3	Permeabilite.....	38
2.2.2.4	Betonların donma-çözölmeye dayanıklılığı.....	38
2.3	Betonda Kalite .....	41
2.3.1	Türk standartlarında beton kalitesi .....	42
2.3.2	Kalite kontrolünde gerekli istatistik bilgisi .....	45
2.3.3	Uygunluk kriterleri .....	51
3.	<b>HAZIR BETON ÜRETİMİNDE KALİTE KONTROL YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>55</b>
3.1	İstatiksel Süreç Kontrolü.....	55
3.2	Hazır Beton Üretiminde Öngörölen Kalite Kontrol Süreci .....	58
3.2.1	Üretim öncesi ileriye dönük kontrol .....	59
3.2.2	Üretim sırasında anında kontrol.....	62
3.2.3	Üretim sonrasında geçmişe dönük kontrol.....	62
3.2.4	Hazır betonların tüketilmesinde kullanıcıya ait kontroller.....	64
3.2.4.1	Hazır betonun taşınması .....	64
3.2.4.2	Hazır betonun teslim alınması .....	64
3.2.4.3	Hazır betonun dökölmesi .....	65
3.3	Hazır Beton Üretiminde Kalite Güvence Sistemi .....	67
3.3.1	Kalite güvence sistemi denetim detayları .....	71
3.3.2	Bazı ölkelerdeki kalite kontrol ve kalite güvence sistemleri .....	72
3.3.2.1	Japonya .....	72
3.3.2.2	İtalya .....	73
3.3.2.3	İngiltere.....	74
3.3.2.4	Almanya .....	77
3.4	Hazır Beton Üretiminde Kullanılan Kalite Kontrol Diyagramları .....	78
3.4.1	Shewhart kalite kontrol diyagramları .....	81
3.4.1.1	Shewhart kalite kontrol diyagramlarının yorumlanması ile ilgili bazı bilgiler .....	85
3.4.2	CUSUM kalite kontrol diyagramları.....	94
3.4.2.1	Ortalama dayanımın kontrolü .....	95
3.4.2.2	Standart sapmanın izlenmesi .....	96
3.4.2.3	Trendlerin önemi.....	100
3.4.2.4	Erken dayanım sonuçlarının kullanılması.....	102
3.4.2.5	CUSUM yöntemi ile ilgili örnek.....	104
4.	<b>YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI ve SONUÇ.....</b>	<b>112</b>
	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>114</b>
	<b>EKLER.....</b>	<b>115</b>
Ek 1	Sayısal çözüm örneği.....	115
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>122</b>

## **KISALTMA LİSTESİ**

<b>BRMCA</b>	<b>İngiliz Hazır Beton Birliği</b>
<b>CUSUM</b>	<b>Kümülatif Toplamlar</b>
<b>DIN</b>	<b>Alman Sanayi Normu</b>
<b>ERMCO</b>	<b>Avrupa Hazır Beton Birliği</b>
<b>JASS</b>	<b>Japon Bina Standart Kanun ve Nizamnamesi</b>
<b>JIS</b>	<b>Japon Endüstri Standardı</b>
<b>JSCE</b>	<b>Japonya İnşaat Mühendisleri Odası</b>
<b>SUQ</b>	<b>Malzeme Kalite Kontrol Birimi, Milano</b>
<b>QSRMC</b>	<b>İngiltere Hazır Beton Kalite Şeması</b>
<b>THBB</b>	<b>Türkiye Hazır Beton Birliği</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Beton yüzeyinden olacak buharlaşma hızı üzerine beton ve hava sıcaklıkları ile rüzgar hızının etkileri (Neville, 1971).....	32
Şekil 2.2	Çökme ve su muhtevası arasındaki ilişki (Dewar, 1992).....	34
Şekil 2.3	Betona su katılmasının dayanım üzerine etkisi.....	34
Şekil 2.4.	Toplam kalite talebi- maliyet – kalite düzeyi ilişkileri ( Özturan, 1998).....	42
Şekil 2.5	Beton basınç dayanımının değişkenliği (Özturan, 1998).....	50
Şekil 2.6	Beton basınç dayanımı için normal dağılım eğrisi (Özturan, 1998).....	50
Şekil 2.7	Aritmetik ortalama ile %90 olasılıklı alt sınır ilişkisi.....	52
Şekil 2.8	Amaç dayanım-proje dayanım ilişkisi (Özturan, 1998).....	54
Şekil 3.1	Süreç kontrol prosedürü.....	55
Şekil 3.2	Kontrol diyagramı kullanılarak sürecin iyileştirilmesi.....	80
Şekil 3.4	Shewhart kontrol diyagramı örneği.....	81
Şekil 3.5	Shewhart “doğal gidişat” tip diyagramı.....	85
Şekil 3.6	Shewhart “Çevrim Tekrar ” tip diyagramı.....	86
Şekil 3.7	Shewhart “ Eğilimler ” tip diyagramı.....	87
Şekil 3.8	Shewhart “ Tekil aşırımlar ” tip diyagramı.....	87
Şekil 3.9	Shewhart “Toplanma veya gruplanma ” tip diyagramı.....	88
Şekil 3.10	Shewhart “Gidişat seviyesinde ani sıçrama ” tip diyagramı.....	89
Şekil 3.11	Shewhart “Gidişat seviyesinde tedrici değişim ” tip diyagramı.....	89
Şekil 3.12	Shewhart “Kararsızlık ” tip diyagramı.....	90
Şekil 3.13	Shewhart “Karışma ” tip diyagramı.....	91
Şekil 3.14	Shewhart “Kararlı karışma formu ” tip diyagramı.....	91
Şekil 3.15	Shewhart “Kararsız karışma formu ” tip diyagramı.....	92
Şekil 3.16	Shewhart “Tabakalanma ” tip diyagramı.....	93
Şekil 3.17	Shewhart “Sistemik değişken ” tip diyagramı.....	93
Şekil 3.18	Çizelge 3.5’deki sonuçların kümülatif toplamlar diyagramı (Dewar, 1992)..	96
Şekil 3.19	Çizelge 3.8’ deki dayanımlar için ardışık farklar CUSUM diyagramı.....	99
Şekil 3.20	İstatistik kontrol altında CUSUM diyagramı (Özturan, 1998).....	100
Şekil 3.21	İstatistik kontrol dışında CUSUM diyagramı (Özturan, 1998).....	101
Şekil 3.22	Kümülatif toplamlar diyagramının ölçekleri (Montgomery, 1991).....	102
Şekil 3.23	Ortalama dayanım için Cusum diyagramı uygulaması (Arioğlu, 1998).....	103
Şekil 3.24	Standart sapma, ortalama dayanım ve korelasyon için CUSUM Diyagramı (Dewar, 1992).....	105
Şekil 3.25	Ortalama dayanımdaki ve çimento dozajındaki değişiklik (Dewar, 1992)..	107
Şekil 3.26	Standart sapmada ve çimento dozajındaki değişiklik (Dewar, 1992).....	108
Şekil 3.27	Shewhart kontrol diyagramı (Dewar, 1992 verileri ile).....	111

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	ERMCO (Avrupa Hazır Beton Birliği) üyesi ülkelerde hazır beton üretim başlangıç yılları ve çeşitli üretim bilgileri (Hazır Beton dergisi, Eylül-Ekim 1998).....	5
Çizelge 1.2	ERMCO ülkelerinde birlik üyesi şirketlerin 1996/1997 yıllarındaki gelişimi (Hazır Beton dergisi, Eylül-Ekim, 1998).....	6
Çizelge 1.3	ERMCO üyesi bazı ülkelerde çimento tüketimi ve hazır betonda kullanım oranları (THBB yayını, 1999).....	8
Çizelge 1.4	Sektördeki gelişmeler / son üç yıl (THBB yayını, 1999).....	9
Çizelge 1.5	Makina parkında ve personel sayısındaki gelişme (THBB yayını, 1999)...	10
Çizelge 1.6a	Coğrafi bölgelere göre tesis dağılımı (THBB yayını, 1999).....	11
Çizelge 1.6b	Coğrafi bölgelere göre üretim dağılımı (THBB yayını, 1999).....	11
Çizelge 1.7	ERMCO üyesi ülkelerde en çok tercih edilen beton dayanım sınıfları (THBB yayını, 1999).....	12
Çizelge 1.8a	Türkiye’ de kullanılan beton sınıfları (THBB yayını, 1999).....	12
Çizelge 1.8b	Türkiye’ de kullanılan beton sınıflarının coğrafi bölgelere göre dağılımı (THBB yayını, 1999).....	13
Çizelge 2.1	Çimento iç satışlarının cinslerine göre dağılımı (TÇMB yayını, 1999).....	17
Çizelge 2.2	Katkılar ve etkili oldukları beton özellikleri (Özkul vd., 1999).....	21
Çizelge 2.3	Hazır beton çökme (kıvam ) değerleri.....	26
Çizelge 2.4	Hazır betonun karıştırılması ve taşınması (Dewar, 1992).....	30
Çizelge 2.5	Agrega dane büyüklüğü (TS 11222 Çizelge 2).....	35
Çizelge 2.6	Beton sınıflarına göre karakteristik basınç dayanımları (TS 11222 - Çizelge 4).....	37
Çizelge 2.7	Donma-çözülme dayanıklılığı için sınır su/çimento oranları (Akman, 1990).....	39
Çizelge 2.8	Zararlı maddelerin betone etkilerinin derecelendirilmesi (Akman, 1990)...	40
Çizelge 2.9	Beton sınıfları ve dayanımları ( TS500/Revizyon).....	44
Çizelge 2.10	Hazır betonların karakteristik basınç mukavemetleri (TS 11222/Şubat 1994).....	45
Çizelge 2.11	Normal dağılım eğrisi parametrelerinin hesaplanması (10 küp deney sonucuna göre) n=10.....	49
Çizelge 3.1	Malzeme kontrolü (TS11222).....	60
Çizelge 3.2	Teçhizat kontrolü (TS11222).....	61
Çizelge 3.3	Üretim kontrolü (TS11222).....	63
Çizelge 3.4	Kalite güvence sistemi denetim sonuçları (THBB Yayını).....	69
Çizelge 3.5	Hedef dayanım kümülatif toplamı için örnek ( Arıoğlu, 1993).....	95
Çizelge 3.6	Standart sapmanın tayini ( Arıoğlu, 1993).....	97
Çizelge 3.7	Hedef ardışık değerler farkları (Dewar, 1992).....	98
Çizelge 3.8	Kümülatif toplamın ardışık farklara uygulanması (Dewar, 1993).....	99
Çizelge 3.9	V maskesi tasarımında kullanılan parametreler (Özturan, 1998).....	102
Çizelge 3.10	Kümülatif toplam örneği (Dewar, 1992).....	109

## **ÖNSÖZ**

Bu çalışmada destek olan ve yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Hocam Doç. Dr. Fevziye AKÖZ' e, Türkiye Hazır Beton Birliği'ne ve Sn Erdem TANDIRLI'nın şahsında NUH Beton A.Ş.'ne teşekkürlerimi arz ederim.



## ÖZET

Hazır beton üretimi bir endüstriyel işlemdir. Hazır beton üretiminin sürecinin kontrolü de istatistiksel kontrol yöntemleri ile yapılmaktadır. Shewhart diyagramları ve Cusum diyagramları sürecin kontrol altında olup olmadığını kontrol etmekte kullanılırlar. Eğer süreç kontrol altında değilse gerekli müdahaleler yapılmaktadır. Shewhart kontrol diyagramlarında yatay ekseninde zaman veya numune numarası, düşey ekseninde betonun ölçülen özelliği işaretlenir. Yatay limit çizgileri diyagrama işlenir. Limit çizgileri sürecin kontrol altında olup olmadığını denetlemeye yarar. Limit çizgileri dışına taşan noktalar olursa, süreç kontrol dışında demektir ve müdahale gerekir. Limitler daha önceden elde edilen sonuçların istatistiksel analizi sonucunda belirlenir. Cusum kalite kontrol yöntemi betonun ortalama dayanımının, standart sapmasının ve diğer özelliklerinin uygunluk kriterlerine uyup uymadıklarını kontrol etmek için kullanılırlar. Cusum diyagramını çizmek için hedef değer elde edilen deney sonuçlarının değerlerinden çıkarılarak daha sonra kümülatif olarak toplanırlar. Cusum diyagramları daha az sonuçla sürecin kontrol altında olup olmadığını eğrinin eğimi ile belli eder. Cusum yöntemiyle değişimin tarihi ve büyüklüğü kolaylıkla tespit edilebilir. Cusum' un kontrol parametresi diyagramın eğimidir. Türkiye' de daha çok Shewhart kontrol diyagramları kullanılmaktadır. Ancak Cusum kontrol diyagramlarının kullanılmasının yaygınlaşmasıyla kalite kontrol denetiminde daha verimli sonuçlar elde etmek mümkündür. Çalışmada bu yöntemlerle ilgili sayısal örnek çözülmüştür.

### **Anahtar kelimeler:**

Cusum kalite kontrol diagramı, Hazır beton, hedef değer, limit çizgiler, Shewhart kalite kontrol diagramı, süreç kontrolü, uygunluk kriterleri, V-maskesi.

## **ABSTRACT**

Ready mixed concrete production is an industrial process. Statistical process control is applied to control the ready mixed concrete production process. Shewhart diagrams and Cusum diagrams check whether the process is in control or out of control. The concept of Shewhart control chart is to plot a chart versus to time or, sample number on the horizontal axis and a measured parameter as the ordinate axis. The horizontal limit lines are the control limits to check if the process is in control. If the points plotted are beyond the control limits then there is an out of control state. Action must be taken to gain in state control. The limits are provided from a statistical analysis of previous results. Cusum system for quality control is used for monitoring trends in mean strength, standart deviation and the relationship between early age and 28 day standart strengths. Test results are compared with the design target values, and checks are made to confirm whether they are consistent with the required levels for compliance. The target value is subtracted from each of the measured results, giving positive and negative difference. These differences when added together form a cumulative sum. Cusum chart uses the data more effectively, giving cost savings. It gives identification of the location and magnitude of change points in a process. The Cusum method is less known in Turkey compared to Shewhart method. The control parameter is the slope of the plot while the vertical ordinate in Shewhart. The calculations are more complex but with the use of microcomputers it is easily and successfully applied. A numerical example is solved applying two quality control methods.

### **Keywords:**

Compliance rules, Cusum quality control diagram, limit lines, process control, Ready mixed concrete, Shewhart quality control diagram, target value, V-mask.

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada hazır beton üretiminde standartların öngördüğü uygunluk şartlarını sağlayacak kaliteli beton üretilebilmesi için uygulanan kalite kontrol yöntemleri irdelenmiştir.

Şehirleşmenin hızla artması ve artan yapı ihtiyacı, büyük miktarlarda kaliteli betonun en ekonomik şekilde üretilmesini gerektirmektedir. Elle karılan beton ile bunu yerine getirmek mümkün olamamaktadır. Özellikle 1980 lerden sonra Türkiye’de artan konut talebiyle birlikte inşaat sektöründe hızlı bir gelişme kaydedilmiştir. Bunun sonucu olarak beton üretiminde fabrikasyonun gerekliliği ortaya çıkmış ve hazır beton tesisleri kurulmuştur. Hazır beton üretimi bir endüstri işlemi olarak kabul edilebilir. Ham maddelerin çimento, agregalar, su ve katkıları olan bir üründür. Hazır beton tesislerinde çağın gereklerine uygun olarak hızlı, ekonomik ve de kaliteli beton üretmek mümkündür. Her endüstri işleminde olduğu gibi hazır beton üretiminde de üretimin kontrol altında olması sağlanmalıdır. Üretim sürecinin kontrol altında olup olmadığının denetimi istatistiksel kalite kontrol diyagramları ile en iyi şekilde takip edilebilmektedir. Diyagramların analizi sonucunda kontrol dışına çıkmış olan üretim aşamalarını tekrar kontrol altına almak için gerekli müdahaleler yapılmaktadır. Hazır beton üretiminde kalite kontrol yöntemleri kullanılarak kaliteyi daha hızlı ve ekonomik üretmek mümkün olmaktadır.

Türkiye topraklarının çok büyük bir bölümü deprem kuşağındadır. Özellikle Ağustos 1999’ da yaşanan acı olay depreme karşı hiç de hazırlıklı olmadığımızı göstermiştir. Çağdaş teknoloji ve inşaat metotları ile depreme dayanıklı yapı yapmak mümkündür. Türkiye gibi deprem kuşağında olan bir ülkede kaliteli beton üretmek bir lüks değil bir mecburiyettir. Klasik yöntem ile el ile karılarak üretilen beton çağın kalite talebini karşılamaktan uzaktır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde beton ve hazır betonun tanımı yapılmış ve hazır beton endüstrisinin dünyada ve Türkiye’deki durumu çeşitli istatistiklerle anlatılmıştır.

İkinci bölümde betonun bileşenleri ve özellikleri verildikten sonra betonda kalite kavramı açıklanmıştır. Türk Standartlarında tanımlanan beton kalitesi ve uygunluk kriterleri sıralandıktan sonra kalite kontrolü için gerekli olan istatistik bilgisi özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde hazır beton üretiminde istatistiksel süreç kontrolü açıklanmış ve kalite kontrolünde kullanılan Shewhart kalite kontrol yöntemi ve Cusum kalite kontrol yöntemi anlatılmıştır. Ayrıca Cusum kalite kontrol yöntemi ile ilgili bir sayısal örnek çözülmüştür.

Dördüncü ve son bölümde üçüncü bölümde incelenen iki yöntem olumlu ve olumsuz yanları ile karşılaştırılmış ve son olarak EK 1 de sayısal örnek çözümü verilmiştir.

## **1.1 Beton**

Beton çağdaş toplumların temelini oluşturan malzemelerin en önemlilerinden biridir. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 5.5 milyar ton beton üretilmektedir. Bu miktar dünya nüfusuna bölündüğünde kişi başına 1000 kg. Beton üretildiği ortaya çıkar. Ancak, bu kadar yaygın kullanılan bir malzeme olmasına karşın, çoğunlukla betonun önemi fark edilmemektedir.

Betonun bu derece yaygın kullanılan bir malzeme olmasının çeşitli nedenleri vardır; diğer birçok yapı malzemesine göre, i) daha kolay şekil verilebilir olması, ii) ekonomik olması, iii) dayanıklı olması, iv) üretiminde daha az enerji tüketilmesi, v) her yerde üretilebilir olması ve vi) estetik özellikleri nedeniyle beton en çok kullanılan yapı malzemesidir.

Taze haldeyken plastik bir kıvama sahip olması betona istenilen herhangi bir şeklin verilmesini sağlar. Diğer bir deyişle, taze beton sertleştiğinde içine konulduğu kabın şeklini almış olur. Böylece, kirişler, kolonlar, karmaşık şekilli hiperbolik kabuklar, döşemeler, kazıklar, kütle betonları vb. yapmak mümkün olur. Beton üretiminde büyük ölçüde yerel malzemeler kullanılır. Bu husus maliyetinin diğer yapı malzemelerine oranla düşük olmasındaki en önemli noktalardan biridir. İyi bir beton dayanıklı bir yapı malzemesidir. Uygun bir şekilde tasarlanmış, üretilmiş, yerleştirilmiş, sıkıştırılmış ve bakımı yapılmışsa uzun yıllar herhangi bir bakım, onarım gerektirmeden hizmetini sürdürür. Betonu bir hazır beton santralında olduğu kadar ülkenin en ucra bir köşesinde de

–kalite kontroluna özen gösterilmek koşuluyla – üretmek mümkündür. Bir m<sup>3</sup> alüminyum, çelik ve cam üretimi için, sırasıyla, yaklaşık 360 GJ, 300 GJ ve 50 GJ enerji harcanırken, aynı miktardaki bir beton için yaklaşık 3.5 GJ enerjiye gereksinim vardır. Enerji maliyetlerindeki hızlı artış gözönünde bulundurulduğunda, betonun bu özelliğinin önemini de anlaşılır. Beton, aynı zamanda birçok estetik olanaklara sahip bir malzemedir. İstenilen şekil, renk ve yüzey özelliklerini vererek değişik görüntüler elde etmek mümkündür.

Betonun birçok olumlu özelliğinin yanısıra, elbette ki bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Ancak, bunların üstesinden gelebilmek için beton üreticiye ve kullanıcıya birçok olanak sağlar. Çelik donatı kullanılarak düşük çekme dayanımı dezavantajının azaltılması, çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanılarak çeşitli özelliklerinin daha da iyileştirilmesi bu olanaklara örnek olarak verilebilir.

Beton; çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir.

Betonun mutlak hacmini % 75 oranında agrega( kum,çakıl,mıcır), % 10 oranında çimento, % 15 oranında su oluşturur. Gerektiğinde, çimento ağırlığının % 2' sinden fazla olmamak kaydıyla, katkı malzemesi ilave edilebilir.

## **1.2 Hazır beton**

### **1.2.1 Tanım**

Hazır beton şantiye dışında hazırlanıp, karıştırılan ve inşaat yerine taze ve sertleşmemiş bir halde getirilen betondur. Hazır betonun bileşenleri olan çimento, doğal veya yapay agrega, su ve kimyasal katkı maddelerinin stoklanıp, kontrol altında karıştırılarak, hazır beton üretiminin gerçekleştirildiği ve transmikserlere dolunun yapıldığı tesislere ‘ beton santrali ‘ denmektedir. Hazır beton bileşenleri beton santralinde istenilen oranlarda bilgisayar denetiminde biraraya getirilir, daha sonra mikserde karıştırılır ve şantiyede “taze” beton olarak teslim edilir. Beton santralleri depolama şekillerine göre ikiye ayrılırlar;

- Bunkerli tip: Agregada ve kum santralini önündeki bunkerlerde stok edilip, bantlı bir sistem ile karıştırma kazanına taşınır.
- Yıldız tip: Santralın önünde yıldız şeklinde bir stoklama alanı vardır ve kova vasıtasıyla agregalar arkadaki karıştırma kazanına aktarılır.

Hazır beton üretiminde su ölçme ve karıştırma işlemlerinin santralde veya transmikserde yapılmasından dolayı iki şekli bulunmaktadır;

- \_ Yaş sistem,
- \_ Kuru sistem.

Yaş sistemde tartılan malzemeler bir büyük karıştırıcı ( mikser ) içine boşaltılır. Mikser içinde homojen bir hale gelinceye kadar çalıştırılır. Hazırlanan bu karışım, mikserin tam altına yanaşan bir transmikserin deposuna boşaltılır. Beton, hazır beton tesisinde yükleyerek şantiyeye götüren dönebilen bir depoya sahip kamyon şeklindeki araçlara transmikser denilmektedir.

Kuru sistemde ise tartılan malzemeler doğrudan transmikse yüklenmektedir. Yaş sistemden farkı, bir ana karıştırıcının (mikser) bulunmamasıdır. Bu sistemde beton transmikser içinde karıştırılmaktadır. Bu nedenle, kuru sistemde çalışan transmikserlerin, yaş sistemdekinden farklı olması, homojen bir karıştırma yapabilmesi için özel paletlerinin bulunması gerekir. Kuru sistemde, genellikle su, transmikser betonun döküleceği şantiyeye varduktan sonra, transmikserin üzerinde bulunan bir depodan katılmaktadır. Transmikserin deposuna su katıldıktan sonra, depo yüksek devirde döndürülerek iyi bir karışım sağlanır.

### 1.2.2 Tarihçe

Hazır beton, dünyada ilk kez XX. yüzyılın başında (1903) Almanya'da ortaya çıkmış, sonraki birkaç yıl içerisinde ABD' de görülmeye başlamıştır; 1914 yılında, Stephan Stephanian adında, Ermeni asıllı bir Türkiye göçmeni tarafından beton taşıma amaçlı " transmikser " aracının geliştirilmesi, hazır beton endüstrisinin Amerika' daki yaygınlığını arttırmış, özellikle savaş yıllarından sonra, bazıları bugün de faaliyette olan pek çok hazır beton firması kurulmuştur. İzleyen yıllarda hazır betonun yapıların temel inşaat malzemesi olarak benimsenip yaygınlaşmaya başlaması uzun sürmemiş, kısa zamanda pek çok ülkede

hazır beton üretilip, kullanılır olmuştur. Hazır beton kullanımı Danimarka, Fransa, İngiltere, Norveç, İsveç gibi Kuzey ve Orta Avrupa ülkelerinde 1930' lu yıllarda; Yunanistan, Portekiz, İsrail, Avusturya gibi ülkelerde ise 1960' dan sonra başlamıştır. Özellikle 20. Yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte hız kazanan kentleşme ve altyapı çalışmaları, hazır beton ve beton ürünlerinin daha çok üretilip yaygınlaşmasını sağlamış, dolayısıyla bu alanda pek çok teknolojik gelişme kaydedilmiştir. Çizelge 1.1 'de ERMCO üyesi ülkelerde hazır beton üretim başlangıç yılları ve çeşitli üretim bilgileri verilmiştir.

Çizelge 1.1 ERMCO (Avrupa Hazır Beton Birliği) üyesi ülkelerde hazır beton üretim başlangıç yılları ve çeşitli üretim bilgileri (Hazır Beton dergisi, Eylül-Ekim 1998)

ÜLKE	BAŞLANGIÇ YILI	ÜRETİM MİKTARI		ÜRETİM SİSTEMLERİ				POMPAYLA DÖKÜLEN BETON	
		milyon m3	milyon m3	Yaş sistem	Yaş sistem	Kuru sistem	Kuru sistem	%	%
		1997	1996	% 1997	% 1996	% 1997	% 1996	% 1997	% 1996
AVUSTURYA	1961	9,20	8,4	100	100	-	-	31	36
BELÇİKA	1956	6,59	6,7	97	96	3	4	24	23
ÇEKOSLAVAKYA	-	2,70	1,92	100	5	-	95	36	35
DANİMARKA	1926	1,73	1,63	100	100	-	-	15	15
FİNLANDIYA	1958	1,78	1,55	100	100	-	-	45	45
FRANSA	1933	23,60	23,38	100	100	-	-	-	0
ALMANYA	1903	41,80	44,5	100	100	-	-	43	40
İNGİLTERE	1930	20,50	20,5	20	20	80	80	20	20
MACARİSTAN	-	0,58	0,58	100	100	-	-	-	0
İRLANDA	1961	2,80	2,8	40	40	60	60	2	2
İSRAİL	1963	7,65	8,2	3	3	97	97	50	45
İTALYA	1962	31,00	30,5	3	1	97	99	36	30
HOLLANDA	1948	6,70	7,2	70	70	30	30	15	15
NORVEÇ	1930	2,22	2,14	98	90	2	10	45	45
PORTEKİZ	1966	5,82	4,81	85	85	15	15	55	55
İSPANYA	1942	30,16	26,56	32	32	68	68	7	7
İSVEÇ	1932	2,02	1,8	100	100	-	-	47	43
İSVİÇRE	1933	7,40	7,4	100	100	-	-	15	15
TÜRKİYE	1988	18,15	17,58	72	67	28	33	85	85
ABD	-	100,00	120	20	0	80	100	10	0
TOPLAM	-	322,40	338,15	-	-	-	-	-	-

Çizelge 1.2'de ERMCO ülkelerinde birlik üyesi şirketlerin 1996/1997 yıllarındaki gelişimi gösterilmiştir.

Çizelge 1.2 ERMCO ülkelerinde birlik üyesi şirketlerin 1996/1997 yıllarındaki gelişimi  
(Hazır Beton dergisi, Eylül-Ekim, 1998)

ÜLKE	ÜRETİCİ ŞİRKET SAYISI		HAZIR BETON TESİS SAYISI		ÜYE FİRMA PERSONEL SAYISI		ÜLKE PERSONEL SAYISI	
	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996
AVUSTURYA	113	110	239	229	2.180	2.274	2.500	2.400
BELÇİKA	43	46	103	108	1.575	1.590	2.150	2.170
ÇEK CUM.	11	11	99	61	1.209	821	15.000	15.000
KÜBA	1	1	11	11	600	600	600	600
DANİMARKA	19	23	72	74	775	725	925	875
FİNLANDİYA	68	68	137	130	600	550	700	650
FRANSA	210	260	1.120	1.120	5.600	5.700	6.500	6.650
ALMANYA	611	643	1.414	1.470	9.360	10.700	15.000	17.100
İNGİLTERE	17	17	1.000	1.000	8.000	8.000	10.000	10.000
MACARİSTAN	9	9	1	1	28	28	28	28
İZLANDA	-	-	-	-	-	-	150	150
İRLANDA	95	95	160	160	1.000	1.000	1.100	1.000
İSRAİL	15	17	160	173	1.300	1.250	1.850	1.600
İTALYA	220	220	900	900	8.500	8.500	18.000	18.000
HOLLANDA	88	89	142	146	1.800	1.800	2.000	2.000
NORVEÇ	94	94	154	152	960	920	1.100	1.020
PORTEKİZ	16	16	128	121	1.165	1.340	1.400	1.500
POLONYA	-	-	3	-	-	-	-	-
RUSYA	4	4	31	31	2.000	2.000	30.000	42.000
SLOVAKYA	1	1	5	2	55	25	-	-
İSPANYA	274	274	1.007	1.007	-	-	-	-
İSVEÇ	40	37	205	162	600	500	620	620
İSVİÇRE	180	190	270	280	-	-	-	-
TÜRKİYE	45	44	188	174	7.115	6.530	8.855	5.985
ABD	950	1.000	3.500	4.000	50.000	50.000	80.000	200.000
<b>TOPLAM</b>	<b>3.124</b>	<b>3.269</b>	<b>11.049</b>	<b>11.512</b>	<b>104.422</b>	<b>104.853</b>	<b>198.478</b>	<b>329.348</b>

Ülkelerin hazır beton üretim sistemlerinde iklim şartlarından doğan farklılıklar mevcuttur. Daha çok soğuk iklimin hüküm sürdüğü Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, İsveç ve İsviçre' de üretilen hazır betonun çoğu yaş sistemle üretilmektedir. İsrail, İtalya, İspanya gibi genelde sıcak iklimlerin hakim olduğu yerlerde transmikserlerde su katılarak yapılan kuru karışım şekli kullanılmaktadır. Türkiye'de ise hem yaş hem kuru sistem kullanılmaktadır. Ancak daha çok yaş sistem tercih edilmektedir. 1997 yılı verilerine göre Türkiye' de üretilen hazır betonun üçte ikisi yaş sistemle elde edilmektedir.

### **1.2.3 Dünyada hazır beton**

Günümüzde gelişmiş ülkelerde tüm betonarme inşaatlar hazır beton ile yapılmaktadır. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) verilerine göre, bugün Avrupa ülkelerinde yılda 300 milyon m<sup>3</sup>, ABD' de ise 200 milyon m<sup>3</sup> civarında hazır beton tüketilmektedir. Dünyanın ekonomik ve teknik olanakları geliştikçe, bu tüketim yeni alanlara da yayılmaktadır. Örneğin, 1970-1990 yılları arasında havayolu taşımacılığı %75 oranında artmış ve taşınan yolcu sayısı ikiye katlanmıştır. Bunun sonucunda havaalanlarına olan gereksinim artmış, yeni ve daha modern havaalanı binaları geliştirilmiş, dirençli betonlar kullanılarak yapılmıştır. Aynı şekilde, kara ulaşım araç ve olanaklarının olağanüstü boyutlarda gelişmesi de, yolların, köprülerin, tünellerin yapımı için özel betonlara olan gereksinimi arttırmış, bu da, bu konuda hazır betona dayanan yeni çözümler üretilmesini sağlamıştır.

Çizelge 1.3 'de ERMCO üyesi bazı ülkelerde çimento tüketimi ve hazır betonda kullanım oranları sıralanmıştır. Türkiye 30 milyon ton' un üzerindeki yıllık çimento tüketimiyle Avrupa' da ilk sıralarda yer almasına karşılık, hazır beton tüketim miktarı ve tüketicinin kalite talebi konularında, henüz gelişmiş ve kullanımında Avrupa ülkeleri düzeyini yakalayamamıştır.

Çizelge 1.3 ERMCO üyesi bazı ülkelerde çimento tüketimi ve hazır betonda kullanım oranları (THBB yayını, 1999)

ÜLKE	Çimento Tüketimi 1000 ton	Hazır Betonda Kullanılma oranı %
AVUSTURYA	5244	44
BELÇİKA	5582	52
ÇEK CUM.	650	52
DANİMARKA	1038	34
FİNLANDİYA	1040	48
FRANSA	19465	42
ALMANYA	36811	53
İNGİLTERE	12350	50
MACARİSTAN	2481	39
İRLANDA	1409	42
İSRAİL	4650	42
İTALYA	37357	46
HOLLANDA	4850	52
NORVEÇ	1200	66
PORTEKİZ	7506	15,2
İSPANYA	9250	37,5
İSVEÇ	1445	58
İSVİÇRE	4257	57
TÜRKİYE	32625	33
TOPLAM	189210	-

#### 1.2.4 Türkiye’de hazır beton

Ülkemizde hazır beton ilk defa 1970’ li yılların sonlarına doğru bazı inşaat şirketleri tarafından kendi inşaatlarında kullanılmak üzere üretilmeye başlanmıştır. Ancak 1980’ li yılların ikinci yarısından itibaren özellikle çimento yatırımlarının özelleşmeye başlaması ile birlikte hazır beton endüstrisinde gelişme başlamıştır. Türkiye Hazır Beton Birliği’ nin (THBB) kuruluşu da 1988 yılına rastlar. Hazır betonun Türkiye çapında yaygınlaşması 1992’ den itibaren hız kazanmaya başlamıştır. Türkiye’ de hazır betonla ilgili sağlıklı veriler 1992 yılından itibaren derlenmeye başlamıştır.

1992 yılında THBB’ ye üye olan 26 şirket ve 62 tesiste üretilen hazır beton miktarı 4.788.026 m<sup>3</sup>’ tür. Üye olan şirket sayısı 1998’ de 50 ,Türkiye’ deki birlik dışı firmaların sayısı da 113 olarak tespit edilmiştir. 1998’ de Birliğe üye olan firmaların tesis sayısı 206 , ülkedeki toplam tesis sayısı da 341 olarak belirlenmiştir.1998’ de ülke genelinde üretilen toplam hazır beton miktarı 26.542.905 m<sup>3</sup> olmuştur. Birliğe üye olan firmaların üretimleri ise 19.792.095 m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 1.4.’ de son üç yıla ait sektördeki gelişmeler özetlenmiştir. Buna göre 1998 yılında üye sayısında % 11 oranında artış kaydedilmiş, tesis sayısı ise % 9.6 oranında artmıştır. Üretim de 1998 yılında % 9.02’ lik artış kaydetmiştir.

Çizelge 1.4 Sektördeki gelişmeler / son üç yıl (THBB yayını, 1999)

YIL	VERİ	BİRLİK ÜYELERİ	TÜRKİYE GENELİ
1996	Şirket Sayısı	44	
	Tesis Sayısı	174	
	Üretim m <sup>3</sup>	17.685.154	
1997	Şirket Sayısı	45	
	Tesis Sayısı	188	
	Üretim m <sup>3</sup>	18.153.931	
1998	Şirket Sayısı	50	163
	Tesis Sayısı	206	341
	ÜRETİM (m <sup>3</sup> )	19.792.905	26.542.905

Hazır beton endüstrisinin gelişmesi ile birlikte sektöre hizmet veren yan sanayide de paralel olarak büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Tesislerde bulunan makina parkının önemli elemanları olan transmikser ve pompa sayılarında büyük artış olmuştur. 1998 yılında beton pompası sayısında önceki yıla göre % 10.6 oranında bir artış gerçekleşirken, transmikser sayısında önceki yıla göre % 19.1'lik bir artış gözlenmiştir. Birlik üyesi firmalara ait hazır beton tesislerinde görev yapan personel sayısında da, artan tesis sayısına paralel olarak bir önceki yıla göre % 7.2 oranında bir artış gerçekleşerek, 1997 yılında 7115 olan personel sayısı 1998 yılında 7632' ye ulaşmıştır. Çizelge 1.5.'te makina parkındaki ve personel sayısındaki gelişme anlatılmıştır.

Çizelge 1.5 Makina parkında ve personel sayısındaki gelişme (THBB yayını, 1999)

VERİ	YIL	BİRLİK ÜYELERİ
<b>Pompa Sayısı</b>	1996	439
	1997	489
	1998	541
<b>Transmikser Sayısı</b>	1996	1939
	1997	2188
	1998	2606
<b>Personel Sayısı</b>	1996	6530
	1997	7115
	1998	7632

Türkiye' deki coğrafi bölgelere göre tesis sayısının dağılımı Çizelge 1.6a' da ve coğrafi bölgelere göre üretim miktarının dağılımı da Çizelge 1.6b'de belirtilmiştir. Buna göre en fazla tesis sayısı 87 tesis ile Marmara Bölgesinde yer aldığı ( Çizelge 1.6a ) ve en fazla üretimin de 9.849.308 m<sup>3</sup> ile yine Marmara Bölgesinde gerçekleştiği görülmektedir ( Çizelge 1.6b ).

Çizelge 1.6a Coğrafi bölgelere göre tesis dağılımı (THBB yayını, 1999)

BÖLGE	TESİS DAĞILIMI	% ORAN
Marmara	87	%46,0
Ege	32	%17,1
Akdeniz	30	%16,0
G.doğu Anadolu	2	%1,1
İç Anadolu	31	%16,6
Karadeniz	5	%2,7

Çizelge 1.6b Coğrafi bölgelere göre üretim dağılımı (THBB yayını, 1999)

BÖLGE	ÜRETİM DAĞILIMI	% ORAN
Marmara	9849308	%54,3
Ege	2459557	%13,5
Akdeniz	2984469	%16,4
G.doğu Anadolu	173566	%1,0
İç Anadolu	2266424	%12,5
Karadeniz	420607	%2,3

Türkiye’ de kullanılan betonların yaklaşık % 40’ ı ilkel yöntemlerle elle veya betoniyerle, % 60’i ise hazır beton olarak üretilmektedir. Ayrıca, Türkiye Avrupa’da BS 20’ nin altında, yani en düşük sınıflarda beton kullanılan tek ülkedir. Çizelge 1.7’ de ERMCO üyesi ülkelerde en çok tercih edilen beton dayanım sınıfları açıklanmıştır. Gelişmiş ülkelerde en çok kullanılan beton sınıfları oldukça yüksektir ve yüksek dayanımlı beton kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Çizelge 1.7’ den de görülebileceği gibi, aynı zamanda ERMCO üyesi olan 15 ülke içerisinde BS 16-20 aralığı beton dayanım sınıfı kullanan tek ülke konumundadır. Çizelge 1.8a ve Çizelge 1.8b’ de birlik üyesi firmaların 1996 Temmuz-1998 Temmuz yılları arasında BS 14 sınıfından itibaren ürettikleri beton sınıflarını coğrafi bölgelere göre ve Türkiye genelindeki dökümleri çıkarılmıştır.

Çizelge 1.7 ERMCO üyesi ülkelerde en çok tercih edilen beton dayanım sınıfları (THBB yayını, 1999)

ÜLKE	C16 / 20	C20 / 25	C25 / 30	C28 / 35	C35 / 45
ÇEK CUM.		x			
FİNLANDIYA			X		
FRANSA			X		
ALMANYA		x			
İNGİLTERE			X		
İRLANDA				X	
İSRAİL				X	
İTALYA		x			
HOLLANDA		x			
NORVEÇ				X	
PORTEKİZ		x			
İSVEÇ			X		
SLOVAKYA		x			
TÜRKİYE	x				
ABD					x
<b>TOPLAM</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>%</b>	<b>7</b>	<b>40</b>	<b>27</b>	<b>20</b>	<b>7</b>

Diğer ülkelerin gelişmişlik düzeyi incelendiğinde ülkemizde tercih edilen beton dayanım sınıflarının düşük olduğu görülmektedir. Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren “ Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ”, deprem bölgelerinde belli sınıfların altında beton kullanımını yasaklamış bulunmaktadır. Birinci derece deprem bölgelerinde kullanılacak en düşük beton sınıfı BS 20’ dir.

Çizelge 1.8a Türkiye’ de kullanılan beton sınıfları (THBB yayını, 1999)

	BS 14 %	BS 18 %	BS 20 %	BS 25 %	(+) BS 25 %	TOPLAM
1996 TEMMUZ	37,3	52,3	6,4	3,4	0,6	100
1997 TEMMUZ	27	51,1	12	7,6	2,3	100
1998 TEMMUZ	24,4	45,4	18	8,1	4,1	100

Çizelge 1.8b Türkiye' de kullanılan beton sınıflarının coğrafi bölgelere göre dağılımı  
(THBB yayını, 1999)

BÖLGE		BS 14 %	BS 18 %	BS 20 %	BS 25 %	(+) BS 25 %	TOPLAM
MARMARA	1996 TEM.	26,0	59,9	8,3	5,0	0,8	100
	1997 TEM.	17,4	54,3	15,7	9,6	3,0	100
	1998 TEM.	14,9	45,2	24,8	11,9	3,2	100
EGE	1996 TEM.	37,0	51,0	5,0	5,8	1,2	100
	1997 TEM.	33,0	54,4	6,0	5,8	0,8	100
	1998 TEM.	28,5	58,9	11,0	0,9	0,7	100
AKDENİZ	1996 TEM.	52,4	44,0	2,0	1,3	0,3	100
	1997 TEM.	36,2	51,4	5,9	5,3	1,2	100
	1998 TEM.	35,7	44,7	11,8	7,3	0,5	100
İÇ ANADOLU	1996 TEM.	51,5	47,1	-	0,9	0,5	100
	1997 TEM.	40,6	43,8	8,6	4,5	2,5	100
	1998 TEM.	39,9	47,2	8,8	3,3	0,8	100
KARADENİZ	1996 TEM.	47,9	40,0	12,1	-	-	100
	1997 TEM.	54,4	28,4	12,9	2,0	2,3	100
	1998 TEM.	39,4	16,7	6,8	1,9	35,2	100
G.DOĞU ANADOLU	1996 TEM.	17,5	82,5	-	-	-	100
	1997 TEM.	64,4	31,4	-	1,2	3,0	100
	1998 TEM.	22,3	59,9	12,4	2,4	3,0	100

## 2. BETONDA DAYANIM VE KALİTE

Betonda, genel anlamda, aranılan iki temel özellik vardır;

- Mukavemet (Beton Dayanım Sınıfı ) ve,
- Beton Performansı ( Dayanıklılığı, Kalitesi )

Bu iki özellikten ilki, betonun mevcut yükler altındaki davranışını belirlerken, ikincisi zaman içerisindeki dayanıklılığını, yani dış etkilere ( çevresel şartlara ) karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir. Ancak, bu iki özelliğin birbirine bağımlı olduğu, yani dayanımı yüksek olan betonun dayanıklılığının da fazla olacağı yaygın olarak bilinen bir gerçektir. Şöyle ki; betonun dayanımı ( BS 14.....BS 50 )

-Basınç, çekme, eğilme ve yarıлма dayanımları ile anılmaktayken,

Beton performansı dayanımın yanısıra,

- Kullanım amacına göre;
  - Aşınmaya karşı dayanıklılık,
  - Geçirimsizlik,
  - Kimyasal ve biyolojik etkilere dayanıklılık.
- Çevresel etkilere karşı;
  - Donma- çözünmeye karşı dayanıklılık,
  - Sülfatlara karşı dayanıklılık,
  - Karbonasyona karşı dayanıklılık.

kısaca, betonun dayanıklılığı ile de ilgilidir. Yani, betonun kalitesi, dayanım sınıfının yanısıra, betonun özelliklerini muhafaza edebildiği süre ile de ilintilidir.

Dayanım sınıfı, standart kür koşulları altında muhafaza edilen betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımını belirtir, ve basınç dayanımı ile çekme, eğilme ve yarıлма dayanımları arasındaki ilişki doğru orantılı sayılabilir.

Betonu oluşturan ana malzemeler agrega, çimento ve su' dur (kimyasal ve mineral katkıları da yaygın olarak kullanılmaktadır); dolayısı ile betonun dayanımı ve dayanıklılığı, bu malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile karışımdaki oranları ( “ karışım dizaynı”, “ karışım reçetesi “) ile belirlenir. Agreganın mineralojik kökeni ve granülometrisi, çimento özellikleri, suyun kimyasal yapısı, ve su/çimento oranı bu parametrelerden öncelikli

olanlarıdır. Dış tesirlere karşı direnci daha yüksek performansa sahip malzeme ile üretilen betonun daha dayanıklı olması, özelliklerini daha uzun süre koruması, doğaldır.

Yine betondaki boşluk oranı, dayanımı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Beton içerisindeki boşluk miktarı, kullanılan agreganın granülometrik dağılımı ile karışımında kullanılan malzeme oranlarına ve betonu kalıp içerisine yerleştirme performansına bağlıdır. “ Geçirimsizlik “ ancak boşluk oranı az olan beton ile sağlanabilir. Boşluk oranının azalması ile, yapısı itibari ile veya çevresel koşullara bağlı olarak betonun dayanıklılığını azaltacak maddelerin beton içerisine nüfuzu engellenmektedir.

Görülmektedir ki, betonun dayanım ve dayanıklılığını belirleyen faktörler bir noktaya kadar benzerdir ve dolayısı ile çevresel koşullara karşı dayanıklılığı uygun olarak üretilen betonun dayanım sınıfı, betonun kalitesini de belirlemektedir.

Beton kalitesindeki değişkenlik riski donatı demirinin kalitesindeki değişkenlik riskinden daha fazladır. Betonun kalitesi, aynı zamanda, sözkonusu bir bütün içerisinde belli bir bölümünün, bütünün özelliklerini temsil yeteneği ile de ilintilidir. Örnek olarak, üretilen bir hazır beton kütesinden alınan numunelerin birim ağırlıkları, basınç dayanımları gibi özelliklerin birbirlerine yakın olması, dolayısı ile değişkenliğin az olması beton kalitesinin yüksek olduğuna dair önemli bir göstergedir.

Bu değişkenliğin, beton kalitesinin laboratuvar deneyleri ile desteklenerek yüksek teknoloji ile üretildiği hazır beton tesislerine göre, şantiyelerde elle karılan beton için çok daha fazla olduğu yadsınamaz bir gerçektir, üniversitelerde yapılan araştırma neticeleri bu sonucu vermektedir. Bu nedenle depreme dayanım riskinin en yüksek olduğu yapılar kesinlikle değişken ve düşük kaliteli beton kullanılan yapılardır. Sonuç olarak, basınç dayanımı varyasyonunun yüksek boyutta olduğu bir teknikle yüksek dayanımlı beton üretilmesi mümkün değildir. Ancak günümüzde hazır beton teknolojisi ile BS 50, BS 100 beton dayanım sınıfları kolaylıkla üretilebilmektedir.

## 2.1 Betonun Bileşenleri

Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, agrega ( kum, çakıl, kırmataş ), kimyasal katkıları ve mineral katkılarıdır. Kimyasal katkıları ( akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz,...vb gibi ) mineral katkıları ( taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı,...vb gibi ) betonun performansını istenilen yönde iyileştiren çağdaş teknolojik unsurlardır.

Çimentoyla suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılışp sertleşerek agrega tanelerini ( kum, çakıl, kırmataş ) bağlar, yapıştırır, böylece betonun mukavemet kazanmasına imkan verir. Dolayısıyla betonun mukavemeti:

- çimento hamurunun mukavemetine,
- agrega tanelerinin mukavemetine,
- agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışmanın gücüne ( aderans ) bağlıdır.

### 2.1.1 Çimento

Çimento hammaddeleri kalker ve kil olan, mineral parçalarını ( kum, çakıl, tuğla, briket, vs. ) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyacı vardır. Çimento su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Çimento üretiminin esası, ilk önce bu maddeleri belirli oranlarda karıştırmak sonra bunları fırınlarda yüksek sıcaklıkta pişirmektir. Yüksek sıcaklıkta ilkel maddeler ilk önce ayrışır. Kalkerin ayrışması sonucu (CaO), Kilin ayrışmasından silis (SiO<sub>2</sub>), alümin (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) meydana gelir. Bu maddeler daha yüksek sıcaklıklarda aralarında birleşerek çimentoya bağlayıcı özelliğini kazandıran silikatları ve alüminatları meydana getirir. Uygun miktarlarda kireç , silis, alümin, demir oksit ihtiva eden hammaddeler belirli oranlarda karıştırılarak fırınlarda 1450 °C veya 1650 °C' ye kadar pişirilirlir. Fırından çıkan gri renkteki fındık veya ceviz büyüklüğündeki malzemeye " klinker " denir. Klinker soğutulur ve daha sonra öğütülür. Bu öğütme işlemi sırasında klinkere % 3- % 5 oranlarında alçıtaşı (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) ilave edilir. Alçıtaşı ilave etmenin nedeni çimentonun priz sürelerini ayarlamaktır. Öğütülmüş ve sonuçta tanelerinin boyutları büyük oranda 90 mikronun altına düşürülmüş toz halindeki malzeme çimentodur.

Çimentonun rengi İngiltere’ de Portland bölgesindeki taşlara benzediğinden bu malzemeye Portland Çimentosu adı verilmiştir. Portland Çimentoları 28 günlük basınç dayanımlarına göre Portland Çimentosu 32.5, Portland Çimentosu 42.5 ve Portland Çimentosu 52.5 olmak üzere üç tiptir. Katkılı çimento üretiminde; klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre tek veya birkaçı bir arada olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. Katılır. En çok kullanılan çimento tipleri Portland Çimento, Katkılı Portland, Cürufllu Çimento, Beyaz Portland, Harç çimentosu, Sülfata dayanıklı çimento, Uçucu küllü çimento, Kompoze çimentolar vardır. Çok fazla kullanım alanı olmayan özel amaçlı çimentolar da vardır. Çizelge 2.1.’de çimento iç satışlarının cinslerine göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.1 Çimento iç satışlarının cinslerine göre dağılımı (TÇMB yayını, 1999)

Çimento Cinsi	1997 ton	1996 ton	1995 ton	1994 ton
<b>PÇ 32.5</b>	355.162	2.158.170	2.493.345	2.354.068
<b>PÇ 42.5</b>	4.507.544	3.434.090	1.740.296	1.061.132
<b>PÇ 52.5</b>			435	
<b>KÇ 32.5</b>	11.924.629	13.831.948	13.507.039	12.633.119
<b>TÇ 32.5</b>	11.318.041	10.758.736	11.719.334	10.350.648
<b>BPÇ 32.5</b>	87.388	99.533	78.234	
<b>BPÇ 42.5</b>	208.828	195.187	202.534	236.587
<b>CÇ 32.5</b>	1.426.733	1.194.413	227.366	266
<b>CÇ 42.5</b>	755.530	161.748		
<b>SDÇ 32.5</b>	158.845	225.494	103.697	45.224
<b>EYÇ 52.5</b>	15.392	24.097	11.506	
<b>HÇ</b>			1.261	
<b>PKÇ 32.5</b>	1.789.661			
<b>PKÇ 42.5</b>	29.577			
<b>PZÇ</b>	44.265			
<b>KZÇ 32.5</b>	6.316			

### 2.1.2 Agrega

Beton üretiminde kullanılan mineral kökenli, 100 mm' ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan kum, çakıl veya kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak % 60 - % 75 civarında yer işgal eden agrega önemli bir bileşendir. Agregalar elde edilmiş şekline bağlı olarak iki grupta toplanabilir (TS 706).

- Doğal agrega ( doğal taş agregası ) : Doğal agrega; nehirlerden, denizlerden, çöllerden, eski göl, dere yataklarından ve taş ocaklarından kırılmamış veya kırılmış olarak elde edilen agregadır.
- Yapay agrega ( sanayi ürünü agregası ) : Yapay agrega; yüksek fırın cürufu taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cürufu kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmamış veya kırılmış agregadır.

Öte yandan agregalar tane boyutlarına göre aşağıda gösterildiği gibi sınıflandırılırlar.

- İnce agregalar: Taneleri 4 mm kare gözlü elekten geçen agregadır.
  - Kum : Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.
  - Kırma Kum : Kırılmış tanelerden oluşan ince agregadır.
  - Yapay Kum : Sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış ince agregadır.
- İri agregalar : Taneleri 4 mm kare gözlü elek üzerinde kalan agregadır.
  - Çakıl : Kırılmamış doğal durumdaki tanelerden oluşan iri agregadır.
  - Kırmataş ( Mıdır ) : Kırılmış tanelerden oluşan iri agregadır.
  - Yapay Taş : Sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış iri agregadır.
- Taşunu ( Filler ) : Taşunu, 0.25 mm kare gözlü elekten geçen ince malzemedir. Filler, özellikle taze betonun ayrışmasını önleyen yani kohezyonu yüksek beton üretimine olanak veren bir malzeme çeşididir.

İyi nitelikli bir agregası temiz, sert ve sağlam olmalı, bunların yanında suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentoların bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir. Agreganın kirli ( kil, silt, mil, toz,...) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da arttırmaktadır.

Beton agregalarında elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite takip edilmelidir. Betonda kullanılacak agregalar TS 706'ya uygun olmalıdır.

### 2.1.3 Beton karma suyu

Beton karışım sularının genel olarak “ içilebilir “ nitelikte olması aranır. Ancak, içme suyu standartlarına uygun olmayan bazı suları da kullanarak iyi beton üretmek mümkündür. Uygun olmayan bir suyun karışımda kullanılması beton kalitesini olumsuz etkileyebilir. Çoğunlukla, zaman içinde, betonda dayanım gelişmesi en öncelikli dikkat edilecek husus olmakla birlikte, karışım suyunun zararlı kimyasal içermesi priz süresini, rötreyi, dayanıklılığı da olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, fazla miktarda askıda katı madde, erimiş tuzlar veya diğer katılar ve organik madde içeren sular karışım suyu olarak kullanılmamalıdır.

Deniz suyunun beton karışım suyu olarak kullanılabilir olup olmadığı konusu hakkında geçmişte çok tartışmalar yapılmıştır. İçerdiği tuzlar nedeniyle (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, vb.) deniz suyu betonun priz süresini kısaltıcı ve erken dayanımını bir miktar yükseltici bir etki gösterebilir. Ancak, deniz suyunda bulunan sülfat iyonları (MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>) dayanıklılığı ve 28 günden sonraki dayanımları olumsuz etkiler. Bunlardan daha önemli bir husus da deniz suyunun betonarme donatılarının paslanmasına neden olmasıdır. Ayrıca, betonda çiçeklenmeye neden olarak çirkin bir görüntü oluşturabilir. Dolayısıyla, deniz suyunun beton karışım suyu olarak kullanılması, gereken önlemlerin mutlaka alındığı kaçınılmaz durumlar dışında, önerilmemektedir.

Çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarı çimento ağırlığının yaklaşık % 25' i civarındadır. Oysa, betonda kullanılan karışım suyu miktarı çoğunlukla bunun üstündedir. Betonda kullanılacak su miktarı arzu edilen işlenebilmeyi sağlamak için gerekli olan en az miktar olmalıdır. Aksi halde, betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri olumsuz etkilenir.

Beton karışımında kullanılacak bir suyun uygun olup olmadığının belirlenmesi için sözkonusu su ve kontrol maksadıyla saf su kullanılarak hazırlanacak betonların priz süresi, dayanım ( ve varsa aranılan diğer özellikler ) bakımından karşılaştırmasını yapmak en iyi yöntemdir. Örneğin, İngiltere' de şüpheli su ile üretilen betonun priz süresinin kontrol betonununkinden en fazla 30 dakika daha uzun olmasına ve dayanım açısından da en fazla % 20 daha az olmasına izin verilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri' nde kullanılan birçok şartnamede ise içme suyu ile yapılan kontrol betonlarına göre şüpheli suyla yapılan betonların 7 ve 28 günlük dayanımlarının kontrol betonunkinin en az % 90' ı kadar olması istenmektedir.

#### **2.1.4 Beton katkı maddeleri**

Katkılar, çimento, agrega ve suyun dışında, betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini istenen şekilde değiştirmek üzere, karıştırma işleminden hemen önce veya karıştırma işlemi sırasında betona katılan malzemelerin genel adıdır. Katkılar, kimyasal katkılar, hava katkıları ve mineral katkılar olmak üzere, üç ana gruba ayrılırlar. Ayrıca, bunların dışında, özel beton üretiminde kullanılan diğer bazı katkılar da bulunur. Bu üç ana grupta çok sayıda değişik katkılar toplanmıştır. Katkı çeşitlerinin çok olmasının arkasında yatan gerçek, betonun hemen hemen tüm özelliklerinin, değişik ölçeklerde, bu katkılar tarafından değiştirilebilmesidir. Genel katkı tipleri ve etkili oldukları beton özellikleri Çizelge 2.2' de verilmiştir.

##### **2.1.4.1 Mineral katkılar**

Betonda kullanılan en yaygın mineral katkılar puzolanik malzemelerdir. Puzolanik malzemeler kendi başlarına bağlayıcı özelliği bulunmayan, ancak ince öğütülmüş halde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli-alüminli malzemelerdir. Bims, çeşitli volkanik küller ve tüfler doğal puzolanlardır. Termik santrallerin atıklarından olan ve elektrofiltrelerde toplanarak daha sonra santral dışına atılan uçucu küller ; silikon metal ve alaşım endüstrisi atığı olan silis dumanı ise yapay puzolanlara örnek olarak gösterilebilir. Puzolanik malzemelerin betonda kullanımı, esas itibarıyla, çimentonun hidratasyonu sonucunda

önemli miktarlarda ortaya çıkan ve gerek dayanım gerekse dayanıklılık açısından betona herhangi bir olumlu etkisi söz konusu olmayan, kalsiyum hidroksit bu malzemelerle reaksiyona girerek daha fazla miktarda bağlayıcı özellik gösteren bileşenler oluşturması temeline dayanır.

Çizelge 2.2 Katkılar ve etkili oldukları beton özellikleri (Özkul vd., 1999)

Beton Özelliği	Katkı Tipi	Katkı Grubu
<b>İşlenebilme</b>	Karışım suyunu azaltıcı katkılar	Kimyasal
	Hava sürükleyici katkılar	Hava Sürükleyici
	Atıl, toz haldeki mineral katkılar	Mineral
	Puzolanlar	Mineral
<b>Priz süresi</b>	Hızlandırıcı katkılar	Kimyasal
	Geciktirici katkılar	Kimyasal
<b>Dayanım</b>	Karışım Suyunu azaltıcı katkılar	Kimyasal
	Puzolanlar	Mineral
	Polimer lateksler	Diğer
	Geciktirici katkılar	Kimyasal
	Hızlandırıcı katkılar	Kimyasal
<b>Dayanıklılık</b>	Hava sürükleyici katkılar	Hava sürükleyici
	Puzolanlar	Mineral
	Karışım Suyunu azaltıcı katkılar	Kimyasal
	Korozyon inhibitörleri	Diğer
	Su itici katkılar	Diğer
<b>Özel Betonlar</b>	Polimer lateksler	Diğer
	Cüruflar	Mineral
	Genleştirici katkılar	Diğer
	Renk katkıları	Diğer
	Gaz kabarcıkları oluşturan katkılar	Diğer

### 2.1.4.1 Kimyasal katkılar

Kimyasal katkılar genel grubu priz süresini ayarlayan ve karışım suyunu azaltan kimyasal katkılar ile hava sürükleyici katkılardan oluşur.

\* **Priz Süresini Hızlandırıcı Katkıları:** Sonlama, kalıp sökme gibi işlemlerinin daha kısa sürede gerçekleştirilmesi; erken yüksek dayanım elde edilmesi ve soğuk havalarda beton dökülmesi gibi amaçlarla kullanılırlar. Hızlandırıcı etkilerini çimentoların ana bileşenlerinden olan C3S ' in hidrasyon hızını artırarak gösterirler.

Hızlandırıcı katkıları kullanıldığında betonun taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma gibi işlemleri için gereken sürenin de kısalmaması unutulmamalıdır. Dolayısıyla söz konusu işlemler için iyi bir zaman programlaması gerekir.

\* **Priz Süresini Geciktirici Katkıları :** Sıcak havalarda beton dökülmesi; beton karıştırma ve yerleştirme işlemleri arasındaki sürenin uzun olduğu durumlarda ; kütle betonlarında peşpeşe iki döküm arasında soğuk derz oluşmasını önlemek amacıyla ve döşemelerde kalıp deformasyonlarından meydana gelebilecek beton çatlaklarını önlemek gibi maksatlarla kullanılırlar. Geciktirici etkilerini çimentoların ana bileşenlerinden olan C3S'in hidrasyon hızını azaltarak gösterirler. Geciktirici etkileri kullanılan katkı miktarıyla doğrudan ilişkilidir.

\* **Karışım Suyunu Azaltıcı Katkıları:** Bu katkıları belirli bir işlenebilirlik değeri için betona gerekli olan karışım suyu miktarını azaltırlar. Bu özellikleriyle çeşitli avantajları sağlarlar: İstenilen beton çökme daha az miktarda suyla elde ederek, sabit bir çimento miktarı için, su/çimento oranını (S/Ç) düşürürler. Böylece, dayanımın artmasını, geçirimsizliğin azalmasını ve dayanıklılığın artmasını sağlarlar. Öte yandan, S/Ç oranını sabit tutarak, kullanılan çimento miktarını azaltmak suretiyle, sabit bir işlenebilirlik elde edilebilir. Betondaki çimento miktarının azaltılması ekonomik gerekçelerle yapılabileceği gibi, hidrasyon ısıısının azaltılması gibi teknik gerekçelerle de yapılabilir. Son olarak, taze betonun yerleştirilmesini kolaylaştırmak için, hem S/Ç oranı hem de çimento miktarı sabit tutularak daha yüksek çökme değeri elde edilebilir.

Karışım suyunu azaltıcı katkılar, aynı zamanda, akışkanlaştırıcı ve süperakışkanlaştırıcı katkılar olarak da adlandırılırlar. Akışkanlaştırıcı katkılar ( AH, AG ) beton karışım suyunu % 5-10 civarında, Süperakışkanlaştırıcı katkılar ( YA, YAG ) ise %12 ve daha fazla oranda azaltırlar.

\* Hava Sürükleyici Katkılar: Betonun suya doymun olduğu veya doymunluk derecesine yakın olduğu durumlarda tekrarlı donma-çözülme altında önemli bir dezavantajı ortaya çıkar. Böyle bir ortamda beton kısa bir sürede dağılıbilir. Dolayısıyla, donma-çözülme etkisi, gerekli önlem alınmadığı takdirde betonun yol kaplamaları, barajlar, temeller gibi yerlerde kullanılmasını güçleştirir.

Su donduğunda hacimce genişir. Betonda gözeneklerde ve kılcal boşluklarda bulunan su da donduğunda genişerek bu boşlukların ve gözeneklerin duvarlarına gerilmeler uygular ve mikroçatlaklar oluşmasına neden olur. Hava sürükleyici katkılar kullanıldığında betonda meydana gelen, birbirinden bağımsız hava kabarcıkları bu içsel gerilmelere karşı bir tür yastık vazifesi görür. Su hava kabarcıklarına doğru hareket ederek bunların bir kısmını doldurur ve genişleme sırasında dolu olmadığından içsel gerilmeler meydana gelmez.

Hava sürükleyici katkılar karışım işlemi sırasında betonda yaklaşık 0.2 mm boyutlarında birbirinden bağımsız hava kabarcıkları oluştururlar. Bu hava kabarcıkları priz tamamlandıktan sonra da beton içinde kararlı bir yapıda kalır. Betonun donma-çözülme direncini arttırmak için hacimce % 4-8 hava içermesi önerilir.

\* Antifrizler: Suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilir.

\* Su Geçirimsizlik Katkıları: Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır. Ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

## 2.2 Betonun Özellikleri

### 2.2.1 Taze betonun özellikleri

Çimento-su-kum ve iri taneli agregalardan oluşan karışıma **beton** denir. İri tanelar yükü birbirine aktararak taşıyıcı bir iskelet oluştururlar. Betonun taşıyıcı malzeme sayılmasında bu iri tanelerin fonksiyonu önemlidir. Çimento,agrega ve su ilk karıldığında kolayca şekli verilebilen (plastik) bir malzemedir. Bu durumdaki betona **TAZE BETON** adı verilir. Birkaç saat içinde beton katı hale geçer ve günlerce süren bir süreç sonunda sertliği artar, mukavemet kazanır. Yeterince mukavemet kazanmış betona **SERTLEŞMİŞ BETON** denmektedir.

Hazır beton üreticileri ve kullanıcıları açısından taze betonda aranan özellikler şunlardır; uniform olması, stabilite, işlenebilirlik, pompalanabilirlik, su/çimento oranı, su ihtiyacı, işlenebilirliğin değişme hızı ve yüzey düzgünlüğü.

#### 2.2.1.1 Üniform olması ve stabilite

Karışım hesabı ve karışım işlemi doğru bir biçimde yapılmış taze beton üniform olacaktır. Karışım işleminden sonra gelen işlemler boyunca da üniform kalması beklenir. Taze betonun şantiyeye ulaştırılması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzey düzgünlüğünün sağlanmasından sonra hidrasyon sürecinin başlamasına kadar üniform olmalıdır. Betonun oluşumunda kullanılan malzemelerin yoğunluklarının (birim hacim ağırlıklarının) çok farklı oluşu (örneğin suyun 1 iken çimentonun birim hacim ağırlığı 3 kg/cm<sup>3</sup> ten fazladır) segregasyon olma ihtimalinin her zaman var olduğunu gösterir. Taze beton kohezyon sebebiyle içindeki iri agrega tanelerinin karışma, taşınma ve yerleşme sırasında kütlede ayrılp, sıçramalarına izin vermez. İri tanelerin bu ayrılma durumuna segregasyon denilir. Segregasyon yapan bir beton üniform olamaz. İri agregalar bir yanda, harç bir yanda birikir ve betondaki mukavemet dağılımı çok farklılık gösterir. Bir taze betonun kohezyonu basit olarak, avuç içinde top şeklinde bir küre yaparak gözlenebilir, küçük beton küresi kendi kendinin tutabilmelidir. Kohezyonla paralellik gösteren bir diğer özellik taze betonun karalılığıdır (stabilitesi) . Stabil bir betonda agrega segregasyonu dışında suda ayrışmaz. Suyun kütlede ayrışmasına terleme-su kuma denmektedir. Terlemenin nedenlerinden biri

segregasyondur. İri taneler dibe çökünce su yüzeye çıkar. Terleme özellikle yerine yerleştirilmiş taze betonda önemlidir. Beton dökülüp üstü masterlandıktan (kadronla düzeltilip, mala ile pürüzleri giderildikten sonra) hemen sonra terleme hemen başlar ve bir saat içinde yüzeydeki su kaybolur. Yüzeye yakın kısımda daha sulu ve ince taneli beton oluşması sonucu mukavemet yönünden tabakalaşma meydana gelir; yüzeye yakın beton tabakası düşük mukavemetli olur. Taze betonda kohezyonu ve kararlılığı etkileyen birleşim parametreleri su/çimento oranı, agrega/çimento oranı ve su miktarıdır. Bu parametrelerin her biri için optimum değerler mevcuttur. Agrega içinde çok ince tanelerin bulunmaması (0,05 mm, 0,25 mm gibi ) bu özellikleri kötü yönde etkiler. Bunun çözümü için betona %5 oranında silt katılması tercih edilir. Diğer bir çözüm yolu çimento dozajını arttırmak ve daha ince öğütülmüş çimento kullanmaktır.

Beton santralinde veya transmikserinden teslim edilen hazır betonun homojen kabul edilmesi için, betonun ilk %15 ile son %15 'inden alınan numuneler üzerinde yapılan karşılaştırmalı 4 deneyden 3'ü arasındaki fark her deney için verilen sınır değerden küçük olmalıdır (TS11222 Tablo-3). Homojenliği koruyabilmek için ulaşım sırasında agitation yapmak ve beton dökümünden önce transmikser içinde tekrar karıştırmak gerekmektedir.

### **2.2.1.2 İşlenebilirlik**

Beton üretimde amaç kalıbına dökülmüş halde kompasitenin büyük bir değer alması ve mukavemetinin de yüksek olmasıdır. Betonun kompasitesi denildiğinde 1 m<sup>3</sup> betonda katı cisimlerin yani çimento, kum ve iri agreganın işgal ettikleri m<sup>3</sup> cinsinden gerçek hacimlerin toplamı kastedilmektedir. Beton hazır beton santralinde hazırlandıktan sonra transmikserlerle döküleceği kalıbın olduğu yere taşınır. Beton kalıba dökülünce vibratörle kalıp içinde hareket ettirilir ve sıkıştırılır. Beton karışımı santrali terkettikten sonra önemli mekanik işlemlere maruz kalmaktadır. Bu işlemler sonunda santral mikserinden çıktığı andaki homojenliğini ve kompasitesini ve dolayısı ile kısmen mukavemetini kaybetmesi mümkündür. Böyle bir kaybın olmaması için betonu işlenebilme özelliğine sahip olması gerekmektedir.

Betonyerden çıkan taze betonun taşınma ve kalıbına yerleştirme sırasında kohezyonunu ve homojenliğini kaybetmemesi ve kalıplarda kolaylıkla yayılarak mümkün olduğunca az boşluk bırakarak bunları doldurma özelliklerinin tümü, işlenebilme özelliğine ait nitelikleridir.

İşlenebilme özelliği su miktarından başka betonun granülometri bileşimine, agrega tanelerinin boyutuna ve biçimine, çimento miktarı gibi çok daha değişik faktörlerin etkisi altındadır. İşlenebilme özelliği ile betonun kıvamı karıştırılmamalıdır. Betonu kıvamı betonun akıcılığı ile veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti ile ilgilidir. Bu özelliği en çok etkileyen ise su miktarıdır. Kuru kıvamlı betonda az miktarda su vardır. Böyle bir betonun akıcılığı yani kalıp içinde hiç bir kuvvete maruz kalmadan hareket etme yeteneği çok düşüktür. Diğer taraftan akıcı kıvama sahip betonlarda fazla miktarda su bulunur ve bunun sonucunda akıcılığı fazladır. Kıvam ile işlenebilme özelliği birbiri ile ilgilidir. Ancak bu iki özellik pekçok defa karıştırılmıştır. Kıvam işlenebilme özelliği olarak kabul edilmiştir. Aynı sebeple işlenebilme özelliğini ölçmek için ileri sürülen deney metotlarının büyük bir kısmı betonun işlenebilme özelliğini değil ancak kıvamını belirtmektedir.

İşlenebilme özelliğinin ölçülebilmesi için pek çok deney metotları geliştirilmiştir. Bu metodlar işlenebilme özelliğini tam olarak belirtmemekle beraber bazı karakteristikler hakkında bilgi vermektedir.

Çizelge 2.3 Hazır beton çökme (kıvam ) değerleri

<u>Çökme (cm)</u>	<u>KIVAM</u>
0 – 4	Kuru
5 – 9	Plastik
10 – 15	Akıcı
16	Çok Akıcı

Çökme deneyine Abrams konisi deneyi de denilmektedir. TS 2871 'de çökme hunusu metodu olarak ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Bu deneyde kullanılan kesik koni kalıbın içi beton ile doldurulduktan sonra yukarı çekilir, beton kendi ağırlığı ile bir miktar çöker, çökme miktarı ölçülür. Bulunan değere göre betonun kıvamı değerlendirilir. Çökme deneyi değerleri TS11222'de Tablo1'de belirtilenlere uygun olmalıdır (Çizelge 2.3) .

Betonda aranılan işlenebilme özelliği yapı cinsine veya o betonla yapılacak yapı elemanının karakteristiklerine bağlıdır. Eğer beton dar ve içinde bol miktarda donatı bulunan kalıplara dökülecek ise işlenebilme özelliğinin çok iyi durumda olması gerekir. Bu şartlara uymayan bir beton kalıbını, kendi yapısı içinde boşluklar bırakarak, donatıları devamlı bir şekilde kaplamadan ve her tarafa yayılmadan, doldurur, dar ve bol donatılı kalıpları dolduracak betonların çökme değeri yüksek olmalıdır. İçinde çok az donatı bulunan veya hiç bulunmayan kalıpları doluduracaksa işlenebilme özelliğinin yüksek olmasına gerek yoktur çünkü beton kalıp içindeki hareketini engelleyen büyük dış sürtünme kuvvetleri ile karşılaşmamaktadır. Bu amaçla kullanılacak betonun çökmesinin az olmasının sakıncası yoktur.

### **2.2.1.3 Pompalanabilirlik**

Betonun pompalanabilme kabiliyeti; aşağıda sıralanan maddelerin kombinasyonuna bağlıdır;

- Betonun özellikleri,
- Boru çapı ve pompa kapasitesi,
- İnşaatın yeri-pompalanacak yerin yüksekliği, pompanın hızı ve süresi, pompa borusundaki açılı ve dönemeçlerin sayısı.

Beton açısından esas özellikler de şöyle sıralanabilir;

- Enbüyük agrega dane çapının pompa boru çapına oranı,
- İşlenebilirlik,
- Stabilitate (kararlılık).

Genel olarak aşağıdakiler uygulandığı takdirde betonun pompalanabilirliği yeterli olacaktır:

- Çimento miktarı 300 kg/m<sup>3</sup>'ten yüksek veya 300 mikronun altındaki ince agregaya ile çimentonun ağırlığı toplamı 1,75 x serbest su miktarından fazla ise,
- Çökme 50 mm'den (tercihen hedef 75 mm) yüksek ise,
- En büyük agregaya dane çapı büyüklüğü pompa borusu çapını 5'te 1'inden fazla ise (Örneğin 100 mm lik boru için 20 mm. maksimum dane çapı),
- İnce daneli agregaya miktarı normal bir beton karışımından %5 fazla ise.

#### 2.2.1.4 Su ihtiyacı ve su/çimento oranı

Betonun su ihtiyacı şunlara bağlıdır;

- çimento oranı ve karakteristiği,
- Agregaların özellikleri,
- Agregaya nem oranı,
- Gerekli işlenebilirlik (hazır betonun transferi sırasında kaybolacak bir miktar işlenebilirlik önceden hesaba katılmalıdır).

Orta işlenebilirlikte bir beton için ortalama serbest su gereksinimi 150-200 litre/m<sup>3</sup>'tür.

#### 2.2.1.5 İşlenebilirliğin değişim hızı

Bütün betonlar zaman içinde işlenebilirliklerini çeşitli nedenlerden dolayı kaybedebilirler. Hidratasyonun etkileri, hidratasyon dolayısı ile sıcaklık yükselmesi, buharlaşma gibi nedenlerden işlenebilirlik azalabilir.

Uygulamada betonun çabuk sertleşmesine neden olan durumlardan bazıları şunlardır:

- Çok sıcak ve kuru hava,
- Kışın karma suyu olarak çok sıcak su kullanmak,
- Priz hızlandırıcı miktarının fazla olması ( özellikle kalsiyum kloritin yapı betonunda kullanılması yasaklanmıştır),
- Kuru agregaya kullanımı ( özellikle hafif ve emici agregaya),
- Çabuk sertleşen çimento kullanımı,

- Ani priz yapan çimentolar kullanılması,
- Yalancı priz yapan çimentolar kullanılması.

Bunlardan ani priz onarılamayacak bir durum yaratır. Priz süratle başlar ve süratle biter. Beton yerleştirilmeden taş kesilir. Yalancı priz durumunda ise biraz bekleyerek ve betonu uzun süre karıştırarak tekrar yumuşama sağlanır. Doğal olarak inşaat sırasında yalancı priz sıkıcı ve üzücü bir olaydır.

#### **2.2.1.6 Taşımanın hazır betonun işlenebilirliğine etkisi**

Hazır beton sadece zamandan değil taşıma ile ilgili tüm faktörlerden etkilenir. Taşımanın etkileri betonun transmikser içinde döndürülerek ulaştırılması ve dökülmeden önce tekrar karıştırılarak kalıba yerleştirilmesine bağlı olacaktır. Çizelge 2.4' de hazır betonun taşınması ve karıştırılması için uygulanabilecek metotlar verilmiştir. Metot 1'de işlenebilirlik ve su miktarı bir tek tecrübeli operatör tarafından kontrol edilmektedir. Metot 2'de ise, sevkiyat sırasında transmikser sürücüsü tarafından işlenebilirlik ve su miktarı ayarlanır. Metot 3 kuru sistemler için geçerlidir. (3b) ise düşük işlenebilirlikli beton siparişi verildiği zaman gerçekleştirilir.

Taşıma sırasında karıştırılmayan beton çöker, sıkışır ve segregasyona uğrar. Bu şekildeki betonun homojenliğini tekrar sağlayarak işlenebilir hale getirmek için tekrar karıştırma işlemi sırasında taşıma esnasında karıştırılan betona nazaran daha çok enerji harcanır. Taşıma esnasında transmikserde döndürmek hava akımını arttırarak buharlaşmaya sebep olur bu da, işlenebilirliğin azalmasına neden olur. Döndürme sırasında oluşan sürtünme sebebiyle malzemeler öğütülür ve bu da su ihtiyacını arttırır. Sonuç olarak işlenebilirliği azaltır.

Çizelge 2.4 Hazır betonun karıştırılması ve taşınması (Dewar, 1992)

<b>METOT</b>	<b>Santralde Karıştırma</b>	<b>Taşıyıcı Araçta</b>	<b>Şantiyede Karıştırma</b>
<b>1.</b>	Tamamen santralde veya Transmikserde karıştırma	Transmikser taşıma Sırasında döndürülür	Dökümden önce sadece kısa bir süre için karıştırılır
<b>2.</b>	Suyun bir kısmı kullanılarak Santralde karıştırma	Transmikserde döndürülmeden Taşıma	kalan su eklenir ve uzun süre karıştırılır
<b>3a.</b>	Tamamen karıştırılır	Transmikserde döndürülmeden Taşıma	kısa bir süre için karıştırılır
<b>3b.</b>	Tamamen karıştırılır	Damperli kamyonla taşıma	-

İşlenebilirliği etkileyen dört ana sebep buharlaşma, hidrasyon, su emme, öğütme diye sıralanabilir. Bunlardan buharlaşma ve hidrasyon çevre koşullarına da bağlı olarak zamanla hızlanır. Su emme ve öğütme ise kuru ve su emici agregalar kullanıldığı takdirde belirgin etkileri gözlenebilir.

İşlenebilirliği azaltan esas faktörlerin etkileri üç ayrı yoldan değerlendirilebilir. Bunlar betonun ihtiva ettiği su miktarı ile ilintilidir;

- Artan incelikle artan su ihtiyacı,
- Buharlaşma veya su emme yolu ile çimento şerbetinden su ayrılması etkili bir durum yaratır ve su/çimento oranını düşürür,
- Su/çimento oranı değiştirilmeden, hidrasyon sebebiyle işlenebilirlik için gerekli olan beton harcındaki suyun azalması.

Çeşitli sebeplere bağlı olarak işlenebilirlikteki azalma zamanla artar. Ancak etkisi ilk karıştırmadan uzun süre sonra fark edilmeye başlanır. İşlenebilirliğin azalma hızı içsel ve dışsal durumlara bağlı olarak değişir.

- Çimento miktarı: Çimento miktarı az olan karışımlar işlenebilirliklerini daha yavaş kaybederler. Çünkü sıcaklık artma hızı daha azdır ve hidrasyon için daha az su kullanılır.
- Agreganın öğütülmesi: Özellikle kireç taşı ince agregalar gibi agregalar kullanıldığında döndürme sırasında öğütülme gerçekleşmektedir. Öğütülme sonucu agrega daha da ince daneli hale gelir ve su ihtiyacı artar.

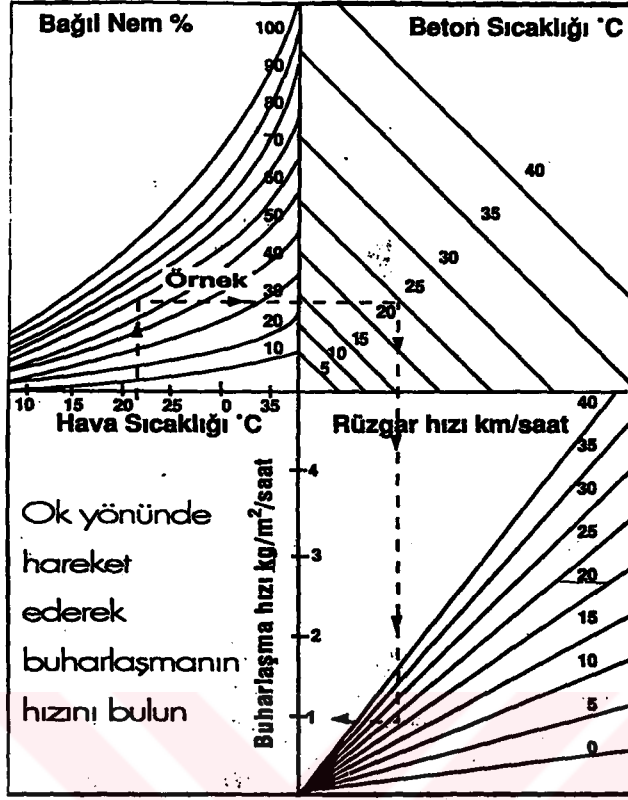
#### **2.2.1.7 Taşımanın dayanıma ve işlenebilirliğe etkisi**

Betonun karıştırılma süresince her saat %5 oranında dayanımında zamanla birlikte artış olduğu tespit edilmiştir. Nemli agrega kullanıldığında mukavemet buharlaşma yoluyla artmaktadır. Belirli bir karışım için mukavemet ve işlenebilirlik arasındaki ilişki döndürme süresine bağlı olarak değişir. Bu etki özellikle uzun süreli karışımlarda, düşük işlenebilirlikli betonlarda ve sıcak kuru havalarda kendini gösterir.

#### **2.2.1.8 Taşıma ve karıştırma süresi**

TS11222’de hazır betonun taşıma süreleri yaş karışımı hazır beton ve kuru karışımı hazır beton için ayrı ayrı belirtilmiştir.

Yaş karışım, beton santralinin cebri karıştırıcısında bütün katı malzemeler ve karma suyu katılarak karıştırılır. Karıştırma süresi bütün katı malzemelerin ve karma suyunun yarısının harmana katılması ile başlar ve boşaltma kapağının açılması ile biter. Paletli cebri karıştırıcılarda en az karıştırma süresi, 1 metreküp ve daha düşük hacimli betonlar için 45 saniyedir. İlave her yarım metreküp için karıştırma süresi 15 saniye arttırılmalıdır. Yaş karışımların karıştırma süresi, taşıma süresinde transmikserde ek karıştırma işlemi dikkate alınarak en çok yarıya kadar azaltılabilir.



Şekil 2.1 Beton yüzeyinden olacak buharlaşma hızı üzerine beton ve hava sıcaklıkları ile rüzgar hızının etkileri (Neville, 1971)

Yaş karışimli hazır beton transmikserlerle (kamyonu yüklenmiş betonyer) taşınır. Taşıma sırasında transmikserin betonyeri taşıma devrinde ( yaklaşık 1-4 devir /dakika) çevrilir. Hazır betonun taşıma süresi en çok iki saat veya toplam 300 devirdir ( bunlardan hangisi daha küçükse ) . Bu süre üretici ile alıcı arasında anlaşma sonucu priz geciktirici katkı ve benzeri önlem alınarak uzatılabilir veya başka sınırlamalar dikkate alınarak kısaltılabilir.

Özellikle sıcak havada uzak mesafelere taşımada buharlaşarak kaybolan karma suyu sonucu azalan işlenebilirliği düzeltmek için teslim yerinde transmikserde su ve/veya akışkanlaştırıcı katkı katılabilir. İlave su ve/veya katkı verildikten sonra transmikserin betonyeri karıştırma devrinde 5 dakika çevrilir, beton sonra boşaltılır.

Kuru karışımların karıştırma süresi transmikserlerin karıştırma devrinde (en az 10 dakika/devir) en az 5 dakika olmalıdır. Karıştırma süresi toplam devir sayısı en az 70 olacak şekilde ayarlanmalıdır. Kuru karışimli hazır beton, özel transmikseri ile teslim

yerine kadar karıştırılmadan taşınabilir. Teslimden önce suyu ve varsa katkıları ilave edilerek karıştırılır. Kuru karışımların taşımam süresi üç saati geçmemelidir.

BS 5328'e göre hazır beton taşıma sırasında transmikserde karıştırılmadıysa taşıma süresi 1 saati aşmamalıdır. Taşıma sırasında transmikserde karıştırıldıysa da en geç 2 saat içerisinde teslim yerine ulaştırılmalıdır.

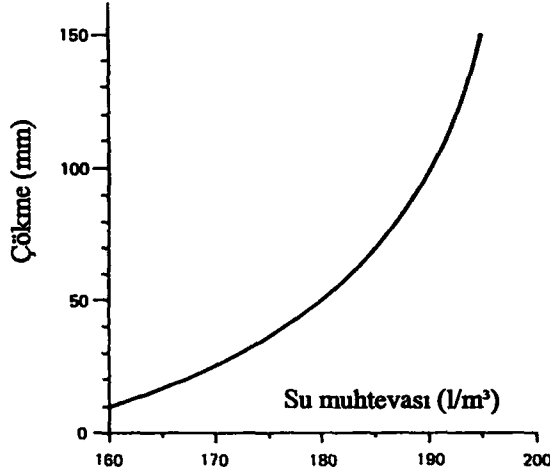
### **2.2.1.9 Betona su katılması**

Hazır betona ilk karıştırma anından daha sonraki bir anda su katıldığında, uygun bir şekilde karıştırıldığı temin edildiği takdirde, su sanki ilk anda katılmış gibi davranarak betonun mukavemetinde bir azalmaya yol açmaz. Teslim yerinde betonun düşük işlenebilirliğe sahip olduğu gözleniyorsa, bunun sebepleri şunlar olabilir;

- a) İlk andaki karıştırma suyu miktarı yetersiz kalmış olabilir,
- b) Buharlaşma tahmin edilenden yüksek hızla gerçekleşmiş olabilir,
- c) Hidratasyon hızı beklenenden yüksek olmuş olabilir.

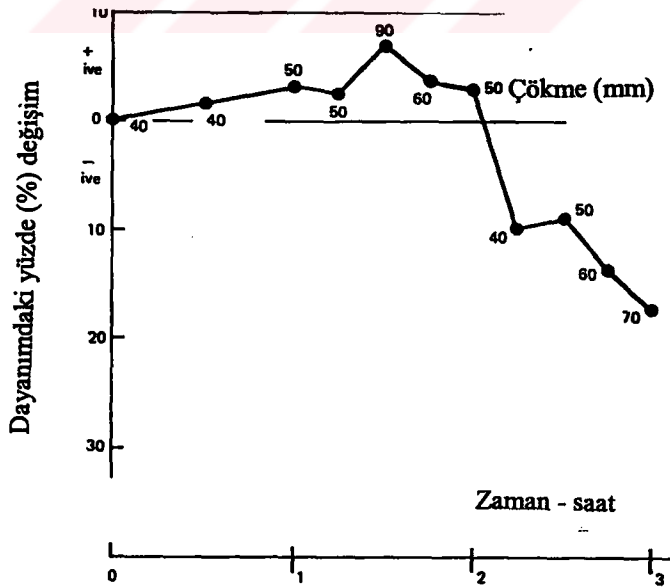
Eğer teslim alınan betondaki düşük işlenebilirliğin sebepleri (a) ve (b) 'de tarif edilen sebepler ise ozaman hazır betona su katmak beklenenden daha düşük bir beton dayanımı elde edilmesine yol açmaz. Ancak (c)'de anlatılan sebebe karşılık su katıldığında daha düşük bir dayanım elde edilmesine neden olur. Teslim anında şantiyede (a), (b) ve (c) şıklarındaki hangi sebepten dolayı düşük işlenebilirlik söz konusudur diye yorum yapabilmek mümkün değildir. Genel olarak TS11222'de de belirtilen maksimum 2 saatlik taşıma süresi içinde olmak kaydı ile betona su katma yoluna gitmek kabul edilebilir. Ekstra önlemler olarak sonradan katılan suyun miktarının sınırlandırılması önerilebilir. Toplam karıştırma suyu ihtiyacının aşağı yukarı %3'ü kadar m<sup>3</sup> başına 6 litrelik maksimum su katılmasıyla dayanımda oluşacak maksimum azalma 2 N/mm<sup>2</sup> seviyesinde olacaktır.

Örneğin Şekil 2.2'den anlaşılacağı gibi m<sup>3</sup> başına 6 litre su katılan 25 mm çökme değeri olan bir hazır betonun çökmesi 35-40 mm'e kadar yükselmektedir.



Şekil 2.2 Çökme ve su muhtevası arasındaki ilişki (Dewar, 1992)

Şekil 2.3'de ortalama 50 mm çökme değeri olan bir betona 3 saate kadar su katılması yoluyla dayanımdaki etkisi gösterilmektedir. Buna göre 2 saate kadar katılan su miktarı çökme değerini istenen seviyede tutmuş (50 mm) ve de bu da dayanımda bir düşüğe sebep olmamıştır. Ancak 2 saaten sonarki su katmalarda (3 saate kadar) çökme değeri istenen seviyede olmasına rağmen dayanımda önemli ölçüde azalmalar kaydedilmiştir.



Şekil 2.3 Betona su katılmasının dayanım üzerine etkisi

### 2.2.1.10 En büyük agrega dane büyüklüğü

Beton bileşimini saptarken; çimento değerinin belirli bir değeri için, yeterli olacak derecede işlenebilirliğe sahip olacak şekilde dane çapı büyüklüğü mümkün olan ve mümkün olduğunca fazla miktarda iri agrega ve mümkün olduğu kadar da az miktarda kum kullanılarak kompasiteleri yüksek olacak şekilde üretilmesi düşünülerek bileşim oranları belirlenmektedir. Beton buna göre üretildiğinde;

- İşlenebilme özelliğine sahip olduğundan beton kalıbına gayet iyi koşullar altında yerleştirilecektir,
- Dane çapı (D)'si büyük ve iri agrega miktarı fazla olduğundan beton büyük bir kompasiteye sahip olacaktır.
- İri agrega fazla miktarda ince agrega az miktarda olduğundan beton için gerekli karma suyu miktarı az olacaktır.

Tüm bu nedenlerin sonucu olarak da kalıbına dökülmüş betonun mukavemeti arzulanan amaç değerinin üstünde olacaktır. TS 11222 'de hazır betonda kullanılacak en büyük agrega dane büyüklüğü verilmektedir. Beton içinde kullanılacak en iri agrega dane büyüklüğünün en dar kalıp boyutu, döşeme derinliği, paspayı, en sık donatı aralığı gibi unsurlarla uyumlu biçimde seçilmesi gerekir. Hazır beton üzerine TS 11222 madde 2.3.2. 'de belirtilen ıslak eleme deneyi uygulandığında elek üstünde kalan malzeme kütlesinin toplam taze beton kütlesine oranı %5 ' i geçmemek şartıyla bulunacak en büyük agrega dane büyüklüğü Çizelge 2.5'de belirtilen değerlere uygun olmalıdır (TS 11222 Çizelge 2).

Çizelge 2.5 Agrega dane büyüklüğü (TS 11222 Çizelge 2)

<u>Hazır Beton Türü</u>	<u>D (mm)</u>
1 nolu agregalı	8 – 10
2 nolu agregalı	16 – 20
3 nolu agregalı	25 – 32
4 nolu agregalı	63

### 2.2.1.11 Hazır beton üretiminde taze betonun sıcaklığı

Taze betonun teslim yerinde teslim vaktindeki sıcaklığı TS 1248'e uygun olarak tayin edilir. Hazır taze betonun sıcaklığı teslim sırasında + 5° C'den az, + 32° C'den fazla olmamalıdır.

### 2.2.1.12 Birim hacim kütlesi

Taze betonun birim hacim kütlesi TS 2941'e uygun olarak ayin edilir. TS 2941'e göre tayin edildiğinde  $\pm 2^\circ \text{C} \%2$  toleransla önceden beyan edilen değere uygun olmalıdır.

Birim ağırlık yoluyla metraj sorunları çözümlenebilmekte, tramiser boş ve dolu tartılarak beton ağırlığı ve hacmi belirlenebilmektedir.

## 2.2.2 Sertleşmiş betonun özellikleri

### 2.2.2.1 Basınç dayanımı

Betonun mekanik dayanımları arasında en çok inceleneni, bir anlamda da en önemlisi basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri şöyle sıralabilir:

- Beton gevrek bir malzemedir. Basit mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basınç, en düşük olanı çekmedir. Çekme mukavemeti basınç mukavemetinin %8 ile %14 'ü kadardır. Uygulamada betonun hiç çekme gerilmesi almadığı, hemen çatladığı varsayılarak beton sadece basınca çalıştırılır.
- Basınç dayanımı betonun tüm pozitif nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır, aşınmaz Basınç dayanımını saptamakla betonun niteliği hakkında genel bir değerlendirme yapılabilir.
- Beton basınç dayanımı deneyi diğer denetleme deneylerine oranla en kolay olanıdır. Betonun basınç dayanımı standart kür koşullarında saklanmış (20 °C  $\pm$  2 °C kirece doymun su içerisinde), 28 günlük silindir ( 15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küp (15 cm kenarlı) numeneler üzerinde TS500 'de tarif edilen şekilde uygulanır. Dayanım değeri 28. günde ölçülen değerdir.

Hazır beton TS 11222’de basınç mukavemetlerine göre 10 sınıfa ayrılır. Beton sınıfları ve bunlara karşılık gelen karakteristik basınç mukavemetleri aşağıda Çizelge 2.6’ da belirtilmiştir ( TS 11222 – Çizelge 4)

Çizelge 2.6 Beton sınıflarına göre karakteristik basınç dayanımları (TS 11222 - Çizelge 4)

Beton Sınıfı (Silindir)	Karakteristik Basınç Mukavemeti	
	$f_{ck}$ , en az	
	Silindir N/mm <sup>2</sup> 28 gün	Küp kg/cm <sup>2</sup> 28 gün
BS14	14	160
BS16	16	200
BS18	18	225
BS20	20	250
BS25	25	300
BS30	30	370
BS35	35	450
BS40	40	500
BS45	45	550
BS50	50	600

NOT: Zorunlu hallerde hazır betonların basınç mukavemetlerinin 28 gün beklenilmeden 7 günlük deney numunesinde tayin edilmesi halinde bulunacak değerler 28 günlük basınç mukavemet değerinin en az %70 'i olmalıdır.

#### 2.2.2.2 Betonun dış ortam etkilerine dayanıklılığı “durabilite”

Dış ortam sertleşmiş betonu fiziksel ve kimyasal yönden hasara uğratar. Fiziksel etkenler arasında donma-çözülme, ard arda oluşan ıslanma ve kuruma, trafik araçlarının, kum fırtınalarının, deniz, göl ve ırmaklarda meydana gelen dalgaların yaptığı aşınmalar sayılabilir. Beton iç yapısında mevcut olan ve zamanla ortaya çıkan kimyasal etkenler arasında asitli, sülfatlı, klorlu suların ve atmosferlerin, varlığı sayılabilir. Beton iç yapısında mevcut olan ve zamanla ortaya çıkan kimyasal ögeler betona zarar vermektedir.

Buna örnek olarak alkali-agrega reaksiyonudur. Betonun zarara uğratan nedenlerden bazıları da biyolojik kökenlidir, betona zarar veren aerobik, anaerobik bakteriler, yosunlar da mevcuttur.

### **2.2.2.3 Permeabilite**

Bütün dürabilite problemlerinde ilk çare boşluk oranı düşük dolu bir beton üretebilmektir. Dolu bir beton mekanik yönden yüksek mukavemetli ve aynı zamanda geçirimsizdir. Sertleşmiş beton içindeki sürekli ağ biçimindeki kılcal boşluk sistemi su geçirimsizliğine neden olmaktadır. Bu boşluklar beton üretimi sırasında rötre nedeni ile meydana gelen çatlaklar sonucudur. Geçirimsizlik üzerine pek çok faktör etki etmektedir. Çimento dozajı bunlardan biridir. Dozajın 300 kg/m<sup>3</sup> üstünde kalması geçirimsizlik açısından bir güvencedir. Diğer bir faktör su/çimento oranıdır. Bu oran fazla düşükse iyi yerleşemeyen betonda büyük ve birbirini ile bağıntılı boşluklar oluşur, geçirimsizlik artar. Su/çimento oranı yüksekse, çimento hamuru buharlaşan fazla karma suyu nedeniyle kılcal boşluklar içerir, geçirimsizlik artar Optimum oran mukavemet için gereken orandan bir miktar yüksektir.

Agrega gronülometrisi de çok önemlidir. Tek düze granülometreler daima boşluklu harç ve betonlara yol açarlar. Sürekli gronülometreler, özellikle ince bölümü bir miktar fazla olan gronülometreler tercih edilirler.

Kapiler (kılcal) su geçirimsizliğinden su yerçekimine rağmen ince kılcal boşlukların içinde yükselir. Geçirimsizliğin sağlanmasında katkı maddelerinden yararlanılabilir. Basınç geçirimsizlik için plastifiyan denilen çok yüksek özgül alana sahip tozlar kullanılır.

### **2.2.2.4 Betonların donma-çözölmeye dayanıklılığı**

Çimento hamurundaki kılcal boşluk sisteminin çap ve şekilleri karışımın su-çimento oranına, hidrasyon dercesine, çimento cinsine ve katkı maddelerine göre değişen ve suyun donması sırasında asıl zararı meydana getiren boşluk sistemidir. Su-çimento oranının değeri, hamur içindeki boşlukların şekli, miktar ve çaplarını tayin ederek donmaya dayanıklılığı etkilemektedir. Standartlarda iklim şartlarına ve yapı tiplerine göre donmaya dayanıklılığı sağlayacak su-çimento oranı değerlerinin üst sınırları verilmiştir.

Çizelge 2.7 Donma-çözülme dayanıklılığı için sınır su/çimento oranları (Akman, 1990)

YAPI TİPİ	Sert İklim			Ilman İklim		
	Havada	Suda		Havada	Suda	
		Tatlı	Tuzlu		Tatlı	Tuzlu
<b>Paspayı 2.5 cm'den İnce elemanlar</b>	0,49	0,44	0.40	0,53	0,49	0.40
<b>Orta kalınlıktaki Elemanlar</b>	0,53	0,49	0,44	-	0,53	0,44
<b>Kütle betonlarının dış kısımları</b>	0,58	0,48	0,44	-	0,53	0,44

Agregalarda donmaya dayanıklılık agreganın dane çapına, kılcal boşlukların çapına ve betona gömülü durumda suya doygun hale gelip gelmemesi haline bağlıdır. Doygun hale gelebilmesi, agrega danelerinin yüzeye yakın olmalarına ve üzerlerini örten çimento hamurunun geçirimli olmasına bağlıdır.

Betonların kimyasal etkilere dayanıklılığını iki grupta ele almak gerekir:

- 1) Dış etkiler: Betonun çevreleyen ortamın oluşturduğu zararlı etkiler,
- 2) İç etkiler: Beton içindeki bileşenlerin, agrega-çimento, su gibi karşılıklı etkileşimi sonucu ortaya çıkan zararlı etkiler.

Betonların kimyasal yönden zarar görmesinde esas neden, çimento hamurunun fazında ve/veya çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın bozulmasıdır. Betonda kimyasal hasar oluşturan iç etkiler şöylece sıralanabilir:

- Çimento hamurunun hacim sabitliğini bozan kimyasal ögeler. Bunlar çimento içinde mevcut olan serbest kireç (max. %2) serbest magnezi MgO (max %5), serbest SO<sub>3</sub> (max %3) 'tür.
- Beton karma suyunun oluşturduğu ve ileri yaşlarda oluşturacağı etkiler.
- Alkali-agrega reaktivitesi.

Sertleşmiş beton üzerindeki çevrenin oluşturduğu dış etkiler genellikle betonla temasta bulunan zemin, ırmak ve deniz sularının ve endüstri gazları ile kirlenmiş havanın etkileri şeklinde ortaya çıkar. Betona tüm asitli sular zararlıdır. Karbonik asitli, sülfatlı doğal suların, ion değişimi ile çimento jellerini tahrip eden tuzların zararı büyüktür. Beton açısından bu etkileri zarar derecelerine göre sıralamak buna göre önlemler almak gereklidir. Çizelge 2.8’ de bu değerler özet halde verilmiştir. Beton ile temas eden sudan alınan örneklerin kimya laboratuvarında analiz yapılır. Eğer etki derecesi zayıfsa geçirimsiz bir beton üretmekle ve çimento miktarını bir miktar yüksek tutmak ile sorun çözülebilir. Geçirimsiz bir betonda su/çimento oranını %60 ’ ı aşmaması, dozajın 300 kg/m<sup>3</sup> altına düşmemesi gereklidir. Eğer etki kuvvetli ise geçirimsizlik yanında, sülfata dayanıklı çimento kullanılmalı, hidrasyon sırasında oluşan serbest Ca(OH)<sub>2</sub> ‘yi puzolanla tespit etmek, geçirimsizliği katkı ile arttırmak gibi ek önlemler alınmalıdır.

Çizelge 2.8 Zararlı maddelerin betone etkilerinin derecelendirilmesi (Akman, 1990)

ZARARLI MADDE	Etki Derecesi		
	Zayıf	Kuvvetli	Çok Kuvvetli
Ph derecesi	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	4,5
CO <sup>2</sup> mg/lt	15 - 30	30 – 60	60
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/lt	15 - 30	30 – 60	60
Mg <sup>++</sup> mg/lt	100 - 300	300 – 1500	1500
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> mg/lt	200 - 600	600 – 3000	3000

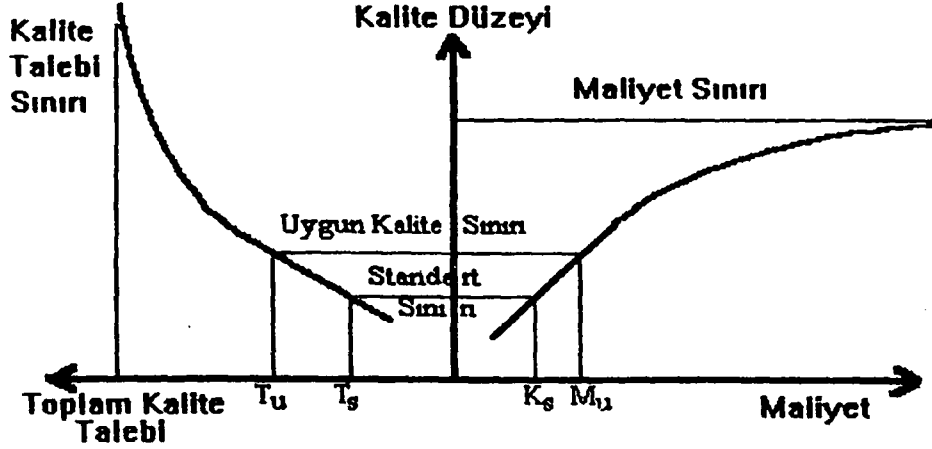
### 2.3. Betonda Kalite

Bir üründe son kullanıcının gereksinmelerini karşılayacak tüm özelliklerin ve karakteristiklerin bileşimi “kalite” olarak nitelendirilmektedir. Kullanıcılar bir ürüne yönelik gereksinimlerini daha çok soyut değerlerle ifade ederlerken, mühendisler ve teknik uzmanlar ürüne yönelik gereksinimleri ölçülebilir özellikler yoluyla belirlemeye çalışırlar. Örneğin; beton için “sağlam olsun” gibi soyut bir belirleme yerine, sayısal olarak ifade edilen “basınç dayanımı” özelliği kullanılarak; örneğin “karakteristik dayanımı 30 MPa olsun” şeklinde bir sınır değer kullanılarak üretilen betonda kalitenin göstergesi belirlenir. Bu tür kabul edilebilir kalite sınırlarını belirtmesi standardizasyonla mümkün olmaktadır. Bu tür sınırların standartlarda belirlenmesinde sadece işin teknik yönü değil, onun yanısıra bazı toplumsal ilke ve yaklaşımlarda etkili olmaktadır. Toplumun bir üründen beklediği en düşük “kalite düzeyi”;

- toplumun ödeyebileceği bedel,
- kullanıcıların örgütlenme düzeyi,
- üreticilerin ve onların kullandıkları işçilik ve hammadde gibi girdilerin kalitesi ve üretim koşulları düzeyi gibi faktörlere bağlı olmaktadır.

Kalite ile kalite düzeyi farklı kavramlardır. Bir ürün değişik kalite düzeylerinde üretilebilir. Örneğin beton üretiminde BS25 ile BS30 farklı kalite düzeylerinde üretilmesi gereken betonlardır, çünkü kullanıcının bu betonlar ile ilgili gereksinimleri farklıdır. BS25 kalite düzeyinde üretilmesi amaçlanmış ve karakteristik dayanımı 28 MPa olan bir beton kaliteli bir BS25 betonu olarak tanımlanır. Aynı beton 30 MPa kalite düzeyinde üretilmesi amaçlanmış olsaydı elde edilen 28 MPa basınç dayanımlı beton kalitesiz bir BS30 betonu olacaktır. Kalite mühendisliğinde kalite düzeyi kavramı “tasarım kalitesi” olarak tanımlanmaktadır. Tasarım kalitesi yükseldikçe üründen beklenen özelliklerin sınır değerleri de yükselmektedir. Dolayısı ile ürünün maliyeti de artırmaktadır. Bu sebeple, örneğin BS30 betonunun BS18 betonundan daha pahalı olması doğaldır çünkü BS30 betonun üretilmesi için daha çok çimento, katkı maddesi ve özen gerektirmektedir. Diğer yandan kalite kavramı daha çok “üretim kalitesi” ile ilişkilendirilmektedir. Üretimin her aşamasında uygulanacak iyi bir kalite kontrol sistemiyle kaliteli denebilecek bir ürünü çok daha ucuza mal etmek mümkün olmaktadır.

Kalite sınırlarının gerekçesi ölçüler içinde belirlenebilmesi için yapılacak çalışmalarda göz önünde bulundurulacak olan “toplam kalite talebi” ve “kalite düzeyi” faktörlerinin “maliyet” faktörleri ilişkisi Şekil 2.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Toplam kalite talebi- maliyet – kalite düzeyi ilişkileri ( Özturan, 1998)

Kalite düzeyi-kalite talebi ilişkisi doğrusala yakın bir kısımdan sonra toplumun hiç bir zaman daha fazlasını talep etmeyeceği bir kalite değerine asimtotik olmaktadır. Maliyet-kalite düzeyi ilişkisinde yine doğrusal bir kısımdan sonra hangi bedel ödenirse ödensin daha yükseği sağlanamayacak bir kalite düzeyine asimtotiktir. Bu sınırlar ülkeden ülkeye ve zaman içerisinde değişiklik gösterirler. Standartlar Şekil 2.4’ de görüldüğü gibi bu sınırlarında altında, grafiklerin doğrusala yakın oldukları bölgenin içinde bir kalite düzeyinin benimserler.

### 2.3.1 Türk standartlarında beton kalitesi

Beton kalitesini belirlemek amacıyla, betonu kullanılacağı yer ve amaca göre değişik beton özellikleri ayrı ayrı veya birkaçı bir arada kullanılırlar. Bu özellikleri şöyle sıralayabiliriz;

- Basınç dayanımı,
- Çekme dayanımı (eğilmede çekme, yarma dayanımı, vb.)
- Aşınma dayanımı,
- Boşluk oranı ve su emme miktarı,
- Su veya gazlara karşı geçirimsizlik,
- Donma-çözölmeye karşı dayanıklılık,

- Kimyasal etkilere dayanıklılık,
- Isı ve ses yalıtkanlığı
- Birim ağırlık

Beton standartlarında taşıyıcı betonlar için beton kalitesinin belirleyici özelliklik olarak basınç dayanımı kabul edilmiştir. Betonun tanımlanması ve sınıflandırılması basınç dayanımına göre yapılır. TS500/Revizyon'a (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları) göre betonun basınç dayanımı, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan standart deney silindirlerinin, 20° C ± 2° C sıcaklıkta su küründen sonra 28 gün sonunda, TS3068'e uygun biçimde denenmesi ile elde edilir. Ayrıca basınç dayanımının betonun birçok başka özelliği gibi istatistiksel değişim gösteren bir özellik olması dolayısı ile "karakteristik basınç dayanımı" diye adlandırılan bir değer kullanılarak betonlar kalite düzeylerine göre sınıflandırılırlar.

Karakteristik basınç dayanımı, belirli bir olasılıkla aşılacak minimum basınç dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Sonuçları belirli bir istatistik dağılıma uyan yeterli sayıda beton numunesinde yapılan basınç deneyi sonuçlarının ancak belirli bir yüzdesinin bu minimum sınır değerinin altında kalabileceğine izin verilmektedir.

TS500/Revizyon'a (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları) göre, beton karakteristik basınç dayanımı  $f_{ck}$ ; denenecek silindirlere elde edilecek basınç dayanımlarının bu değerden düşük olma olasılığı %10 olan değerdir. Zorunlu durumlarda basınç dayanımı küp deneylerinde de elde edilebilir. Böyle durumlarda, karakteristik basınç dayanımı  $f_{ck}$ ; geçerliliği deneylerle kanıtlanmış katsayılarla dönüştürülür. Bu amaçla boyutları 200 mm olan küp için  $f_{ck}$  değerleri Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9 Beton sınıfları ve dayanımları ( TS500/Revizyon)

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı $f_{ck}$ MPa	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı, MPa	Karakteristik Eksnel Çekme Dayanımı, $f_{ctk}$ MPa	28 Günlük Elastisite Modülü $E_c$ MPa
C16	16	20	1,4	27 000
C20	20	25	1,6	28 500
C25	25	30	1,8	30 250
C30	30	35	1,9	31 800
C35	35	40	2,1	33 200
C40	40	45	2,2	34 550
C45	45	50	2,3	35 800
C50	50	55	2,5	36 950

NOT : C50 den daha yukarısı yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanmış olup bu standart kapsamı dışında bırakılmıştır.

Avrupa standartlar komitesi tarafından hazırlanmış olan EN206 Beton Standardında betonlar 150 mm çaplı ve 300 mm yüksekliğinde silindir veya 150 mm boyutlu küp numunelerden elde edilen karakteristik dayanımlara göre şu dokuz sınıfa ayrılmıştır. C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60. Ancak standartlarda beton kalitesini belirleyici unsur olarak kabul edilen karakteristik basınç dayanımı değeri Türk Standartları ile Avrupa Beton Standardında farklı güvenlik seviyelerindeki alt sınırlara karşı gelmektedir.

Hazır betonların 28 günlük karakteristik basınç mukavemeti  $f_{ck}$  Çizelge 2.10'da belirtilen değerlerden az olmamalıdır. Bu sınıflar için 150 mm boyutlu küp numunelerin kullanılması durumunda eşdeğer küp basınç dayanımları da aynı çizelgede verilmiştir (TS11222/Şubat 1994 -Hazır Beton Standardı ).

Çizelge 2.10 Hazır betonların karakteristik basınç mukavemetleri (TS 11222/Şubat 1994)

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Mukavemeti $f_{ck}$ N/mm <sup>2</sup> , en az	
	Silindir 28 gün	Küp 15x15x15 28 gün
BS14	14	16
BS16	16	20
BS18	18	22,5
BS20	20	25
BS25	25	30
BS30	30	37
BS35	35	45
BS40	40	50
BS45	45	55
BS50	50	60

NOT: Zorunlu hallerde hazır betonların basınç mukavemetlerinin 28 gün beklenilmeden 7 günlük deney numunesinde tayin edilmesi halinde bulunacak değerler 28 günlük basınç mukavemet değerinin en az %70'i olmalıdır.

### 2.3.2. Kalite kontrolünde gerekli istatistik bilgisi

Hazır beton üretiminde kalite kontrol yöntemleri uygulanırken istatistik biliminden yararlanılmaktadır. Kalite kontrol diyagramlarının çizilmesinde ve de kalite kontrolün takibinde kullanılan istatistik kuralları ve terimleri istatistik biliminin rahatlıkla kavranabilecek kavramlardır. Bu bölümde hazır beton üretiminde uygulanan kalite kontrol yöntemlerine geçmeden gerekli istatistik terimlerin tanıtımı yapılacaktır.

İstatistik biliminde belli bir özelliği inceleyebilmek için, tümü temsil edecek şekilde seçilmiş örnek gruplar üzerinde araştırma yapmak yoluna gidilmektedir. Bu örnek grupların üzerinde yapılan araştırmaların sonucundan yola çıkılarak bütünüün özellikleri hakkında belli bir olasılıkla tahminde bulunmak imkanı doğmaktadır.

Bu nedenle büyük miktarlardaki beton üretiminin kalitesi hakkında bir yargıya varabilmek için belirli sayıdaki numune üzerinde elde edilen basınç dayanımları (gerekirse taze ve sertleşmiş betonda aranan diğer özellikler) sonuçlarına bakmak ve bunların istatistiksel olarak yorumlamak en uygun yöntemdir. Kullanılan numune sayısı arttıkça yapılan tahminlerin güvenilirliği de artacaktır. Kullanılan numunelerin üretilen büyük miktardaki betonu temsil edebilmesi için numune alımında dikkat edilecek hususlar vardır. Numune alınabilmesi için öncelikle üretim birimleri tanımlanır. Hazır beton üretiminde bir üretim birimi aynı çimento, agrega, su ve katkı maddeleri ile aynı dayanımı elde etmek amacıyla üretilen beton kalmıdır Aynı gün imal edilen ve muayeneye sunulan aynı sınıf, tip ve türdeki hazır beton bir parti sayılır.

TS 11222/Şubat 1994 'te BS20 ve daha düşük sınıf betonlarda günlük imalatın her 150 m<sup>3</sup> 'ü, BS25 (dahil) ve daha yüksek sınıf betonlarda günlük imalatın her 75 m<sup>3</sup>'ü bir parti olarak dikkate alınarak numune takımı oluşturulur. Numune takımı sayısı BS20 ve düşük sınıflar için 4, BS25 (dahil) 'den yüksek sınıflar için 10'dan fazla olmalıdır. Numuneler, yaş karışımı hazır betonlarda santral çıkışından veya transmiksör oluşunun ağzından boşaltılan betonun; kuru karışımı hazır betonlarda teslim yerinde, su ve/veya katkı ilavesi yapıp karıştırıldıktan sonra transmiksör oluşundan boşaltılan betonun ilk %15'inden sonra ve son %15'inden önce alınmalıdır. Alınacak numune miktarı en az 50 dm<sup>3</sup> olmalıdır.

Pratikte uygulamalarda karşılaşılan rastgele değişkenlerin büyük bir çoğunluğu normal dağılım (Gauss dağılımı) adı ile bilinen dağılıma uyar.

Beton üretiminde, basınç dayanımını, üretimin her aşamasında aynı değerde tutmak mümkün değildir. Betonun oluşturan malzemelerin niteliklerinde ve üretim yöntemlerindeki değişimler basınç dayanımını hemen etkiler. Beton basınç dayanımını üretim süreci içinde değişir ve niteliğin ölçütü olan değerler üretimin aritmetik ortalamasının etrafında simetrik bir çan eğrisi şeklinde dağılır. Söz konusu dağılım belli bir istatistik dağılım kuralına uymaktadır. Deney sonuçları bir merkezi değer etrafında yığılırken, bu merkezi değerden daha düşük ve daha yüksek deney sonuçları da elde edilir. Hazır betonda deney sonuçlarını

gösterdiği değişim simetrik bir dağılım olarak kabul edilmekte ve Gauss normal dağılım yasasına uygunluğu nedeniyle Gauss normal dağılım eğrisi kullanılmaktadır. Gauss normal dağılım eğrisi simetriktir, eğrinin maksimum noktası ortadadır. Normal dağılım simetrik olduğundan çarpıklık katsayısı sıfırdır. Bu maksimum noktanın sağında ve solunda aynı sayıda deney sonucu dağılmıştır. Normal dağılım eğrisinin çizilebilmesi için bu eğriye ait iki parametrenin hesaplanması gerekir.

Bu iki parametrenin hesaplanması için bir kaç temel tarifi yapılması gerekmektedir.

$X_i$  (bir deney sonucu) : Bir beton karışımından alınan örnek beton ile hazırlanıp aynı yaşta deneye tabi tutulan beton örnek elemanların dayanımlarının aritmetik ortalamasıdır.

$$X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N} \quad (2.1)$$

$N$  = Örnek eleman sayısı

$X_i$  = Örnek eleman basınç dayanımı

Üretim dağılımlarını belirleyen tespit parametreleri;

$(\bar{X})$  (Aritmetik ortalama) = Deney sonuçlarının aritmetik ortalamasıdır

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2.2)$$

$n$  = Deney sayısı

$x_i$  = Deney sonucu

$\sigma$  (Standart sapma) : Üretimin aritmetik ortalama etrafındaki dağılımını karakterize eden dağılım parametresidir.

$$\sigma = \sqrt{\left[ \left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right) / (n-1) \right]} \quad (2.3)$$

$x_i$  = deney sonucu

$\bar{x}$  = aritmetik ortalama

$n$  = Deney sayısı

Paydada  $(n-1)$  yazılması standart sapma değeri hesaplanırken daha güvenli tarafta kalmak açısından alınmış bir önlemdir.

Standart sapma denklemlerinde eğer numune sayısı 25 'ten büyükse paydaya  $n$ , aksi takdirde  $(n-1)$  konur.

Aritmetik ortalama ve standart sapma hesaplandıktan sonra varyasyon katsayısı denilen bir parametre aşağıdaki şekilde hesaplanır :

(V) değişkenlik (varyasyon) katsayısı: Standart sapmanın aritmetik ortalamaya oranıdır.

$$V = \left( \frac{\sigma}{\bar{X}} \right) * 100 \quad (2.4)$$

Aritmetik ortalama ve standart sapma değerlerinin boyutu basınç dayanımı boyutunda ifade edilir. Varyasyon katsayısı yüzde cinsinden belirlenir.

R (dağılım aralığı) : Bir deney grubunda maksimum değerdeki deney sonucu ile minimum değerdeki deney sonucu arasındaki farktır.

$$R = X_{\max} - X_{\min} = X_n - X_1 \quad (2.5)$$

$n$  adet deney sonucu  $X_1 < X_2 < \dots < X_n$

Merkezde yığılımı belirlemek için aritmetik ortalama yeterli olurken, dağılımın büyüklüğünü belirlemek için standart sapma çoğu zaman tek başına yeterli olmaya bilir. Özellikle aritmetik ortalamanın yüksek olması durumlarında (BS 25 sınıf üstü betonlarında) aritmetik ortalama ve standart sapmanın birlikte değerlendirildiği varyasyon katsayısını kullanmak daha doğru olmaktadır. Aritmetik ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı ve dağılım aralığının bulunmasına ait bir örnek aşağıda hesaplanmıştır.

Çizelge 2.11 Normal dağılım eğrisi parametrelerinin hesaplanması  
(10 küp deney sonucuna göre) n=10

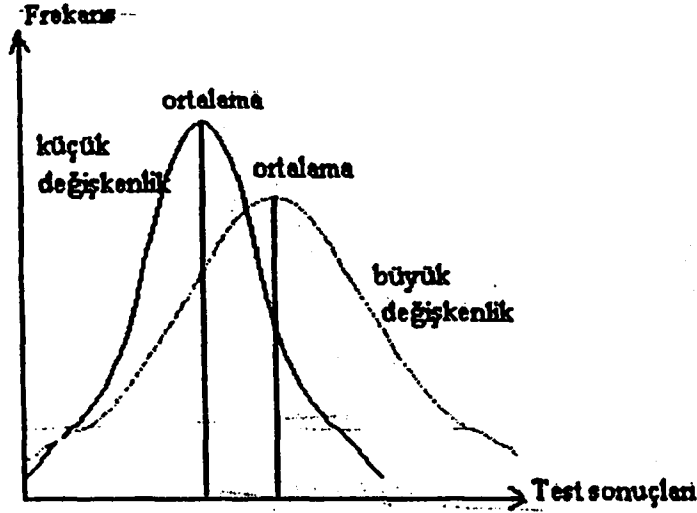
28 Günlük Dayanım N/mm <sup>2</sup> (X <sub>i</sub> )	(X - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
40,5	30,25
36	1
33	4
38	9
42	49
32,5	6,25
29	36
37	4
28	49
36	1
$\Sigma (X_i) = 352$ n = 10	$\Sigma (X - \bar{X})^2 = 189,5$

Aritmetik ortalama  $\bar{X} = \Sigma (X_i) / n = 352 / 10 = 35,2 \text{ N/mm}^2 \approx 35 \text{ N/mm}^2$

Standart sapma  $\sigma = \sqrt{(189,5 / 9)} = \sqrt{21,06} = 4,59 \text{ N/mm}^2 \approx 4,5 \text{ N/mm}^2$

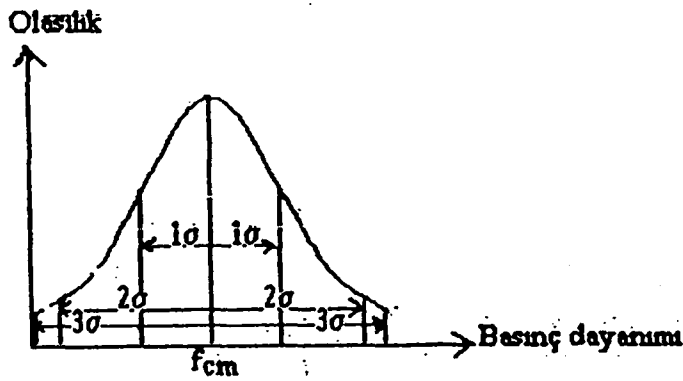
Varyasyon katsayısı  $V = (\sigma / \bar{X}) * 100 = (4,5 / 35) * 100 = \% 12,8 \approx \% 13$

Dağılım aralığı  $R = X_{\max} - X_{\min} = 42 - 28 = 14 \text{ N/mm}^2$



Şekil 2.5 Beton basınç dayanımının değişkenliği (Özturan, 1998)

Aritmetik ortalama ve standart sapma belirlendiği zaman beton basınç dayanımına ait normal dağılım eğrisi belirlenmiş olur. Şekil 2.5 de görüldüğü gibi normal dağılım eğrisi dar veya yayvan bir şekilde olabilir. Dar eğri deney sonuçları arasındaki değişkenliğin küçük olduğunu, yayvan eğri ise deney sonuçları arasındaki değişkenliğin büyük olduğunu gösterir. Aslında arzulanan değişkenliğin küçük olmasıdır. Böylece en düşük deney sonucu ile en yüksek deney sonucu arasındaki fark da küçük çıkmış demektir. Şekil 2.6 da beton basınç dayanımı için belirlenen istatistik parametrelerine göre çizilmiş bir normal dağılım eğrisi yer almaktadır.



Şekil 2.6 Beton basınç dayanımı için normal dağılım eğrisi (Özturan, 1998)

Normal dağılım eğrisi altında kalan alan yapılan bütün deney sonuçlarını kapsamaktadır. Deney sonuçları eğrinin simetri ekseninin, yani basınç dayanımının ortalama değerinin, her iki tarafında eşit olarak dağılmaktadır. Elde edilen deney sonuçlarının ortalamanın her iki tarafında birer, ikişer ve üçer standart sapma genişlikteki aralıklar içinde kalması olasılıkları sırasıyla % 68.3, % 95.5 ve %99.75 (yaklaşık olarak %100) 'dür. Pratik olarak tüm deney sonuçları aritmetik ortalamanın  $\pm 3\sigma$  aralığında bulunmaktadır. Bu aralığın dışına düşebilecek çok yüksek veya çok düşük bir değer bu deney gurubuna ait olamayacağı ve büyük bir olasılık ile deney sırasında büyük bir hata yapıldığı sonucuna varılabilir.

### 2.3.3 Uygunluk kriterleri

Genel olarak beton, yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılır. Taşıyıcı elemanlarda kullanılacak betonlar basınç dayanımlarına göre sınıflandırılırlar. Taşıyıcı sistemi betonarme olan yapı projelerinde bütün hesaplar kabul edilen bir sınıf dayanımına göre yapılır. Yapı için üretilen betonun basınç dayanımında projesinde belirlenen dayanıma uymak zorunluluğundadır. Aksi halde emniyetli bir yapı inşaa edilemez.

Dayanım yönünden emniyetli bir yapı inşaa etmek için dağılımın varlığı kabul edilerek, betonlar için tarif edilen sınıf dayanımları aritmetik ortalamanın altındaki değerlerden seçilirler. Bu seçimde yapısal emniyet, hesap yöntemleri ve yapıyı zorlayan etkilerin değişimlerini de göz önünde tutan istatistiksel bir mühendislik yaklaşımı vardır. Bu yaklaşım ülkenin milli yönetmeliklerinde ülke ekonomisi gözetilerek yapılır

Ülke yönetmelikleri beton üretiminde sınıf dayanımı ile ortalama basınç dayanımı arasında olması gereken farkı saptarlar. Üretilcek betonlar bu şartlara göre tasarlanır ve üretilirler (Arioğlu, 1993) .

Üretilen betonun müşterisi tarafından kabul edilmesi veya reddedilmesi kararı üretilen betonun standartlarda belirtilen uygunluk kriterlerinin sağlayıp sağlamadığının araştırılması ile ortaya çıkar. Beton üreticisi açısından ise standartlardaki uygunluk kriterlerini sağlayacak betonu üretmek beton basınç dayanımındaki değişkenliğin

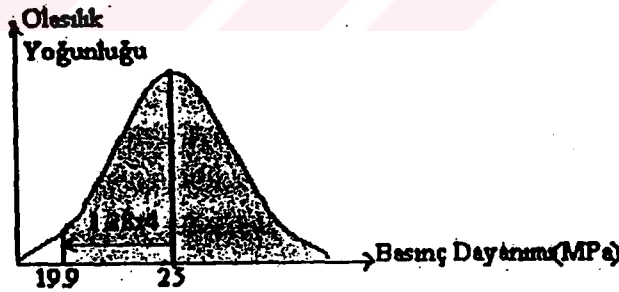
istatistiksel karakterini göz önüne alarak üretim ve kalite kontrol çalışmalarına istatistiksel kavramları uygulamak yolundan geçmektedir.

Beton basınç dayanımdaki değişkenliğin normal dağılım yasasına (hataların tamamen rastgele olduğu anlamına gelir ) uyduğu kabul edildiğinde, aritmetik ortalaması  $f_{cm}$  ve standart sapması  $\sigma$  olan bir üretimi belirli olasılıklara karşı gelen basınç dayanımı değerleri  $f_c$  şöyle hesaplanabilir.

$$f_c = f_{cm} \pm t * \sigma \quad (2.6)$$

Burada t değeri normal dağılım tablolarından belirli olasılıklar için elde edilebilecek bir olasılık parametresidir. Bu olasılık değeri belirli bir basınç dayanımı değerinin aşılma olasılığı değeridir. Örnek olarak, % 80 olasılık için  $t = 0,85$ , % 90 olasılık için  $t=1.28$  ve % 95 olasılık için  $t=1.65$  olmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere aritmetik ortalaması 25 MPa ve standart sapması 4 MPa olan bir üretim biriminde numunelerin basınç dayanımları % 90 olasılıkla;

$f_c = 25 - 1.28 * 4 = 19.9$  MPa 'dan büyüktürler (Şekil 2.6).



Şekil 2.7 Aritmetik ortalama ile %90 olasılıklı alt sınır ilişkisi

Beton standartlarında beton kalitesini belirlemek üzere oluşturulan beton sınıfları belirli bir olasılığa karşılık gelen alt sınırlar belirlenerek oluşturulmuştur. TS 500 –Revizyon ve TS 11222 Beton-Hazır Beton standartları bu alt sınırı % 90 olasılıklı değer olarak almaktadır. EN 206 ( Avrupa Beton Standardı ) alt sınırı % 95 olasılıklı değer olarak kabul etmiştir.

Bu değerler standartlarda karakteristik basınç dayanım değerleri olarak belirlenmektedir. Türk Standartlarında karakteristik basınç dayanımı % 90 olasılıkla aşılan minimum dayanım değeri olarak kabul edilmiştir.

Hazır beton üreticisi proje dayanımı  $f_{cp}$  beton sınıfı olarak belirlenmiş olan betonu standartlara uygun şekilde üretebilmek için öncelikle amaç basınç dayanımını  $f_{ca}$  belirlemelidir. Bunu belirleyebilmek için hazır beton tesisinin daha önceden tespit edilmiş standart sapma değeri kullanılarak amaç basınç dayanımı değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$f_{ca} = f_{cp} + 1.28 * \sigma \quad (2.7)$$

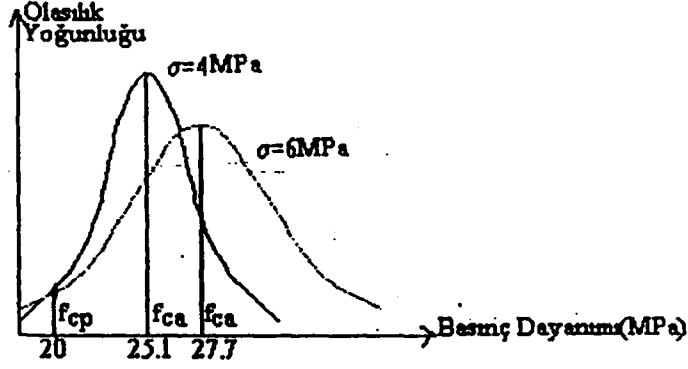
$f_{ca}$ : Amaç basınç dayanımı

$f_{cp}$ : proje basınç dayanımı

Örneğin Şekil 2.7'de görüldüğü gibi standart sapması 4 MPa olan bir hazır beton tesisinde BS20 betonu üretebilmek için amaçlanması gereken ortalama basınç değeri;

$f_{ca} = 20 + 1.28 * 4 = 25.1$  MPa olur. Standart sapması 6 MPa olan bir başka hazır beton tesisinde aynı kalitede beton üretebilmek için amaçlanan dayanım;

$f_{ca} = 20 + 1.28 * 6 = 27.7$  MPa olmaktadır. Bu aynı kalite düzeyindeki betonu aynı kıvamda üretebilmek için daha fazla çimento veya katkı maddesi kullanılmasına sebep olmaktadır bu da maliyeti arttırmaktadır. Özet olarak amaç basınç dayanımı öyle tasarlanmalıdır ki bu dayanım proje dayanımından büyük olmalıdır. Böylelikle dağılım olsa bile minimum değer proje dayanımının altına düşmemelidir.



Şekil 2.8 Amaç dayanım-proje dayanım ilişkisi (Özturan, 1998)

Hazır beton alıcısı betonu kabul etmek veya reddetmek için yapacağı kontrolde karakteristik basınç dayanımı kavramına dayanmakta ve bir üretim biriminin kabulü için karakteristik basınç dayanımının  $f_{ck}$  öngörülen proje dayanımından büyük olması şartını aramaktadır.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1.28 * \sigma \geq f_{cp} \quad (2.8)$$

$f_{cm}$  : Örnek beton numunelerinin basınç deneyi sonuçlarının aritmetik ortalaması

$\sigma$  : Standart sapma

Örnek beton numunelerinin sayısının az olması durumunda ( $n=3-6$ ) standartlarda kabul ve red kriteri olarak daha çabuk karar vermeyi sağlayacak uygunluk kriterleri önerilmektedir. Bu durumlarda betonun kabulü için aşağıdaki uygunluk şartlarını belirlemişlerdir (TS11222/Şubat 1994).

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 3.0 \text{ MPa} \quad \text{Her bir üretim birimi ortalaması} \quad (2.9)$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - 3.0 \text{ MPa} \quad \text{Her bir üretim biriminin en küçük grup ortalaması} \quad (2.10)$$

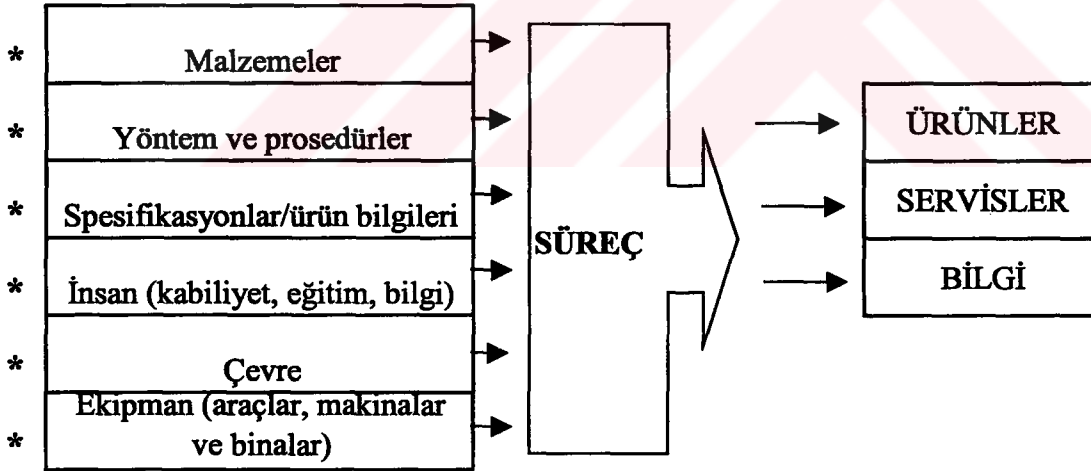
Bir üretim birimi BS 18 betonundan üç numune alınarak kalite kontrolün yapılması durumunda, bu değerlerin ortalamasının 21 MPa'ın üstünde olması ve deney sonucu elde edilen en düşük basınç dayanımı 15 MPa'dan büyük olması gerekmektedir. Bu kriterler betonun standarda uygunluğu ve kabulü için yeterli kriterlerdir.

### 3. HAZIR BETON ÜRETİMİNDE KALİTE KONTROL YÖNTEMLERİ

#### 3.1 İstatiksel Süreç Kontrolü

İstatiksel süreç kontrolü kapsamındaki süreç, üründe hedeflenen kaliteye ulaşabilmek üzere planlanan ve üretimde kullanılan makina, takım, donanım, alet, malzeme, metot, çevre, ve insan gücü faktörlerinden oluşan uygun bir birleşim olarak tanımlanmaktadır. Bu bileşenlerdeki herhangi birinin farklılaşması, sürecinde farklılaşması anlamına gelir. Bir başka deyiş ile süreç; tanımlanmış bir takım kalite özelliklerine sahip bir ürünün ortaya çıkarılması için birlikte işleve giren bir dizi hareketi ve işlevi kapsar.

Süreç kontrolü ise bir kalite özelliğini ölçüp, o özelliğin standart değeriyle karşılaştırmayı da yaparak, arada mevcut olabilecek farkı ortaya çıkartan ve varsa söz konusu farkların giderilmesini sağlayan geri beslemeli bir çevrimdir. Süreç kontrolünde amaç; üretim ve hizmet faaliyetlerinin iyi işlenmesini sağlamak, kısacası süreçlere hakim olmaktır.



GİRDİLER – SÜREÇ – ÇIKTILAR

Şekil 3.1 Süreç kontrol prosedürü

İstatistiksel süreç kontrolü süreçteki her bir aşamanın veya alt sürecin değişkenliğini ölçme, analiz etme, değerlendirme amacıyla istatistik bilmi ve tekniğinin uygulanmasıdır. Uygulamalı süreç kontrolü, süreci etkileyen aşama veya faktörlerin belirli bir performans düzeyi çerçevesinde kalmasının sağlanması yoluyla yapılır. Buradaki temel yaklaşım, söz konusu süreçteki temel sorunlar ile değişkenlik kaynaklarını incelemek ve anlamak, ardından bunlar arasında istenmeyen değişiklikleri önlemek yoluyla süreci sürekli gözetim altında tutmaktır. Bunu uygulamak amacıyla kullanılan araçlar son derece temel ve kolay anlaşılabilen istatistiksel teknik ve yöntemlerdir.

İstatistiksel süreç kontrolü, genel olarak izlenen bir süreçten alınmış ölçümlere ve bunların analiz edilmesi için geliştirilmiş grafiksel yöntemlere dayanır. Bu temel yöntemlere uygulanarak, toplanan verilerden sağlıklı anlamlar çıkarılması mümkün olur. Karar verilme aşamasında da oluşabilecek yanlışlar en aza indirgenmiş olur.

İstatistiksel süreç kontrolünün en önemli amacı, başlamakta olan bir problemi çok kısa bir sürede teşhis etmek ya da karşılaşılan bir sorunun bir daha tekrar etmemesini sağlamaktır. Bunun sağlanabilmesi için verilerin güvenilir ölçü alet ve donanımları ile doğru olarak toplanması gerekmektedir. Toplanan verilerin istatistiksel süreç kontrolü teknikleriyle incelenmesi ve bunlar hakkında yorum yapılabilmesinde, insan faktörü ve onun mesleki bilgi ve deneyimleri çok önemli bir rol oynamaktadır. İstatistiksel süreç kontrolü, genel olarak bir sorunun ne olduğunu açıklayamaz. Problemin ne olduğunu anlamak ve gerekli önlemleri almak bu teknikleri kullanan görevliler tarafından gerçekleştirilir.

İstatistiksel süreç kontrolü, ürünlerin sadece kalite kontrol çalışmaları ile izlenmesi ve kallite kontrolün kusurlu ürünleri ayıklamak olarak anlaşılmasına tepki olarak doğmuştur. Önemli olan kusurlu ürünler üretildikten sonra bunların ayıklanması değildir. Ürünlerin hatalı olmasına neden olan faktörler, süreçte gizlidir. Yapılması gereken, sürecin tüm ayrıntılarıyla her aşamada kontrolü, olabilecek sapmaların ve sorunların anında müdahalelerle en az düzeye indirmek ile kararlılık içerisinde süreci sürekli geliştirmeye çalışmak olmalıdır. Süreç kontrolünü geliştirmek kaliteyi geliştirmek demektir.

Özetle kaliteyi geliştirmek;

- İlk defasında iyi yapmak,
- Kalite elde etmenin maliyetini düşürmek,
- Sürece egemen olmak demektir.

Süreç kontrol sistemi; işlemlerin en iyi yürüdüğüün sanıldığı veya ifade edildiğı zamanlarda bile, süreçle ilgili pek çok anlamlı bilgiyi derlemeyi, ölçmeyi değerlendirmeyi, gereken durum ve zamanlarda bu bilgilerden yararlanmayı sağlar. Ancak yeterli gayret ve işine bağı ve iyi eğitilmiş personel aracılığı ile uygulanan istatistiksel süreç kontrolü teknikleri, beklenen kalite gelişmesini ve verimlilik artışını sağlayabilecektir.

Toplam kalite kontrolü bir işletmenin iç ve dış tüm ilişkilerinde kalitenin temini olarak ifade edilirse, işletmenin kendi içinde veya dışında başka bir birime aktardığı her ürün veya hizmetin kaliteli olması gereklidir. Burada kalite, müşterinin, yani alıcının arzu ettiği, yeterli gördüğü kalitedir.

İstatistiksel süreç kontrolünde kullanılan istatistiksel metotlar, süreçte söz konusu olabilecek sapmalara ve ürün üzerinde ortaya çıkabilecek hatalara işaret ederek, bunların ortaya çıkartılmasına olanak sağlar. İstatistiksel süreç kontrolü ile ortaya çıkartılan hat kaynakları, belirli bir zaman içinde birer birer ortadan kaldırılabilecektir. Toplam kalite yöntemini amaçlayan İstatistiksel süreç kontrolü verilerin istatistiksel diyagram, şema veya grafiklerle sunulması ve buralarda bir takım normal dışı noktaların belirlenmesinin yanısıra analiz ve değerlendirmeyi de kapsamaktadır.

İstatistiksel süreç kontrolü ürün yada üretimin planlandığı şekilde sürdürülmesi, işlemlerin değişik aşamalarındaki sorunların, eksik yada hataların ortaya çıkarılması, bu konularda düzeltici önlemlerin alınması sırasında önemli rol oynamaktadır. Her alanda verimliliğın artması, gereksiz stokların önlenmesi, ıskartaların azaltılması, makina arızalarının önlenmesi, girdi kullanımının minimize edilmesi, hızın artırılması, müşteri şikayetlerin önlenmesi vb gibi hedeflere etkin bir istatistiksel süreç kontrolü ile ulaşmak mümkündür.

### 3.2 Hazır Beton Üretiminde Öngörülen Kalite Kontrol Süreci

Beton üretiminde kalite kontrol sadece basınç dayanımı tayinile kalite düzeyinin belirlenmesinden ibaret değildir. Üretimin tüm aşamalarını kapsayan bir kalite kontrol sistemi oluşturulmalıdır. Aslında “kalite kontrol” terimi pekçok kişiye farklı farklı anlamlar ifade etmektedir. Kavram kargaşasına engel olmak için kalite ile ilgili üç kavram aşağıda tanımlanmaktadır.

**Kalite Güvence:** Müşteriye güvence verebilecek şekilde kontrolün bütün üretim süreci boyunca her alanda ve her aşamada siparişten teslimate kadar müşteri ile daha önceden anlaşılmiş olan özelliklere uygun olarak ürünün üretilmesi için gerçekleştirilen sistemler bütünüdür. Kalite güvence tüm yönetici kadronun ekibi ile birlikte bağımsız denetimini içermektedir.

**Kalite Kontrol:** Seçilen düzeyde ürün kalitesini sağlayabilmek için gerçekleştirilen prosedürlerin tamamıdır. Kalite kontrol teknik yönetimin, ürün yönetiminin ve genel idarenin alacağı kararları ve buna göre yapacakları müdahaleleri kapsar.

**Ürün Kontrol:** Üretimin ilgili personeli tarafından üretim sırasında yapılan kalite kontroldür.

**Kalitenin İzlenmesi:** Üretimde seçilen düzeyde kalitenin sağlanması için gerekli değişikliklerin tespit edilmesi, kalitenin ölçülmesi ve teknik personel ve üretim personeli tarafından gerektiği durumlarda öneriler geliştirilmesini kapsar. Bu işlem hammadde, üretim sürecinde ve ürün üzerinde gerçekleştirilir.

Hazır betonun kalite kontrolü üç bölümde ele alınabilir:

- Üretim öncesi ileriye dönük kontrol,
- Üretim sırasında anında kontrol,
- Üretim sonrasında geçmişe dönük kontrol.

Oluşturulacak kalite kontrol sistemi malzeme temini, stoklanması, kullanılması, tesis ve ekipman bakım ve kullanımı, üretim yöntemleri ve personel kullanımı ve eğitimi ile

üretileen betonun özelliklerinin tayini gibi üretimin çok çeşitli aşamalarında kalite kontrol prensiplerini uygulamayay dayanmaktadır. Böylelik ile sadece üretileen betonun kaliteli olmasına değil, tüm sürecin kaliteli olmasına yönelik toplam kalite anlayışı ile kalite temini yoluna gidilmesi amaçlanır. Bu da ISO9000 serisi standartların öngördüğü sistemdir.

### 3.2.1 Üretim öncesi ileriye dönük kontrol

Üretim öncesi ileriye dönük kontrol ve düzeltmeye yönelik müdahaleler kalite kontrolün önemli aşamalarıdır. İleriye dönük kontrolde;

i.Malzemelerin stoklanması:

- Güvenilir malzeme temin ve iletim sistemleri,
- Agregaların drenajı,
- Kirliliğin önlenmesi,
- Donmanın önlenmesi,

ii.Malzemelerin kalitelerinin denetlenmesi:

- Gözle kontrol ( kabul etme / geri çevirme ),
- Numune alma,
- Test etme,
- Malzemelerin temin edildiği satıcılardan sertifika alınması,
- Malzemelerin temin edildiği satıcılardan bilgi alınması,

iii.Üretim Aşamasında gerektiği durumlarda karışım hesaplarının kontrolü ve iyileştirilmesi.

iv.Hazır beton tesisinin bakımı.

v.İletim ve tartım aletlerinin kontrolü:

- Kontrolü akışın sağlanması,
- Kalibrasyonu yapılmış tartı aletlerinin kullanılması,
- Çimentonun ayrı olarak tartılması,
- Katkı maddesini tartan ve ileten sistemin kalibrasyonu.

vi.Hazır beton tesis mikserlerinin ve transmikserlerin kontrolü:

- Mikser içindeki bıçağın durumunun kontrolü,
- Mikser gücünün kontrolü,
- Mikser ve transmikserlerin bakımı.

Çizelge 3.1 Malzeme kontrolü (TS11222)

	Malzemeler	İnceleme / Test	Amaç	Minimum Sıklık
1	Çimento	Sevk belgesi kontrolü	Doğru sipariş mi?	Her sevkiyatta
2	Agrega	Sevk belgesi kontrolü	Doğru sipariş mi?	Her sevkiyatta
3	Agrega	Siparişin incelenmesi	Granülometri, şekil, Gayrisafılık açısından Görünüş kontrolü	Her sevkiyatta
4	Agrega	Elek analizi testi	Granülometrinin Standartlara Uygunluğu	Farklı kaynak ve kuşkulu durumda
5	Agrega	Gayri safılık testi	Gayrisafılıkların miktarının tespiti	Farklı kaynak ve kuşkulu durumda
6	Hafif ve Ağır Agrega	ISO 6782 'ye göre	Birim ağırlık tayini	Farklı kaynak ve kuşkulu durumda
7	Kimyasal katkı	Sevk belgesi kontrolü	Doğru sipariş mi?	Her sevkiyatta
8	Kimyasal katkı	Katkının kontrolü	Görünüş kontrolü	Her sevkiyatta ve kullanımda
9	Kimyasal katkı	Yoğunluk testi	Nominal değerle Karşılaştırma	Kuşkulu durumda
10	Mineral katkı	Sevk belgesi kontrolü	Doğru sipariş mi?	Her sevkiyatta
11	Sulandırılmış Mineral katkı	Sevk belgesi kontrolü	Doğru sipariş mi?	Her sevkiyatta
12	Sulandırılmış Mineral katkı	Yoğunluk testi	Uniformluğu sağlamak için	Her sevkiyatta
13	Su	Kimyasal analiz	Zararlı madde Kontrolü	Şebeke dışı veya yeni kaynak ve kuşkulu durumda
14	Su	ISO 2736 'ya göre harç ve beton üretimi	Bilinen bir su ile yapılmış numunelerin priz ve dayanımları ile karşılaştırma	Şebeke dışı veya yeni kaynak ve kuşkulu durumda

Üretime geçmeden önce yapılması gereken bu kontrollerde hangi testlerin, hangi amaçlarla ve ne sıklıkla yapılacağı standartlarda belirtilmiştir. Hazır betonun bileşenleri üzerinde yapılması gerekli kontroller Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

Bu tablo oluşturulurken malzemelerin temin edildiği satıcıları tarafından da yeteri kalite kontrolüne tutuldukları kabul edilmiştir. Eğer böyle bir durum geçerli değil ise ayrıca malzemelerin standartlara uygunluğunun kontrol edilmesi de gereklidir.

Beton üretimi, taşınması, yerleştirilmesi ve test edilmesi ile ilgili teçhizatın kontrolü, bu aletlerin iyi ve çalışır durumda olduklarını ve standartlara uygunluklarını belirlemek için yapılmaktadır. Kontrol sıklıkları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Teçhizat kontrolü (TS11222)

	Teçhizat	İnceleme / Test	Amaç	Minimum Sıklık
1	Depo yerleri	Gözle inceleme	Özelliklerini koruyor mu?	Haftada bir
2	Tartı aletleri	Gözle inceleme	Düzgün çalışıyor mu?	Hergün
3	Tartı aletleri	Tartı kontrol	Tartı hassasiyeti uygun mu?	Montajda, ayda bir
4	Katkı vericiler	Gözle inceleme	Çalışır durumda temiz mi?	Hergün ilk karışımında
5	Katkı vericiler	Hassasiyet denemesi	Hatalı miktarları önlemek	Ayda bir, kuşku durumunda
6	Su sayacı	Okuma-gerçek değer karşılaştırması	Ölçüm hassasiyeti uygun mu?	Ayda bir, kuşku durumunda
7	Agrega nem ölçer	Okuma-gerçek değer karşılaştırması	Ölçüm hassasiyeti uygun mu?	Ayda bir, kuşku durumunda
8	Karıştırma sistemi	Bileşen gerçek ağırlığı ile olması gereken ağırlığın karşılaştırılması	Karışım hassasiyeti uygun mu?	Ayda bir, kuşku durumunda
9	Karıştırıcılar	Gözle inceleme	Düzgün çalışıyor mu?	Hergün
10	Deney aletleri	İlgili standart	Hatasız çalışıyor mu?	Ençok iki yılda bir
11	Mikserler	Gözle inceleme	Karıştırma donanımını kontrolü	Ayda bir

### 3.2.2 Üretim sırasında anında kontrol

Üretilen betonun üretim aşamasında veya taşınması sırasında kalitesinin kontrolü için yapılan anında müdahaleler anında kontrol kapsamına girmektedir. Maddeler halinde sıralamak gerekirse:

- i. Tartım işleminin kontrolü,
- ii. Betonun üretim, taşınma, numune alımı ve taze betonun test edilmesi sırasında göz ile izlenmesi (homojenliğin sağlanması, kohezyon, işlenebilirlik, su oranının ayarlanması),
- iii. Agregaların ( özellikle ince agregaların ) nem oranlarını ölçen alletin kullanımı ve betonun işlenebilirliğinin ölçümü,
- iv. Malzemelerin veya betonun kalitesinde gözlenen, ölçülen veya rapor edilen değişikliklere bakılarak santralde otomatik olarak veya manuel olarak karışıma katılan malzeme miktarlarının ayarlanması,
- v. Homojenliğin ve işlenebilirliğin transmikser sürücüsü ve müşteri tarafından teslim sırasında denetlenmesi firma prensipleri dahilinde işlenebilirliğin şantiyede ayarlanması.

Üretim sırasında anında kontrol sayesinde beton üretiminin uygunluğu ve doğru yapıldığı ile üretilen betonun standartlarda belirtilen kriterlere uygunluğu Çizelge 3.3' de belirtildiği şekilde ve sıklıkta kontrol edilmelidir.

### 3.2.3 Üretim sonrasında geçmişe dönük kontrol

Geçmişe dönük kontrol:

- i. Betondan numune alınması; test edilmesi, sonuçların değerlendirilmesi,
- ii. Dolu ve boş iken araç ağırlıklarının ağırlık köprüsü kontrollerinin yapılması,
- iii. Malzemelerin stok kontrolü,
- iv. Müşteri şikayetleri sonucunda tespit edilen hataların teşhisi ve düzeltilmesi bu tip kontrol kapsamına girmektedir.

Çizelge 3.3 Üretim kontrolü (TS11222)

	Kontrol Cinsi	İnceleme / Deney	Amaç	Minimum Sıklık
1	Karışım Oranı	Seri ön deneyler	İstenen özellikler Sağlanıyor mu?	Denenmiş karışımdan Önce
2	Klorür muhtevası	Hesapla ön kontrol	Klorür muhtevası Aşılıyor mu?	Bileşen klorürü Değiştirilince
3	İri agrege nem oranı	Kuruma deneyi Veya eşdeğeri	İlave su miktarını Tayini	Sürekli veya her gün
4	İnce agrege nem oranı	Sürekli ölçüm, kuruma Deneyi veya eşdeğeri	İlave su miktarını Tayin	Sürekli veya her gün
5	Taze Beton Kıvamı	Gözle inceleme	Normal görünüm ile karşılaştırma	Her karışım veya Boşaltmada
6	Taze Beton Kıvamı	TS2871	Beton tipinin Kontrolü	Basınç deneyi İçin gerektiğinde
7	Taze beton Birim Hacim Kütleli	TS2941	Karışım kontrolü	Basınç deneyi İçin gerektiğinde
8	Basınç Deneyi	TS3114	Basınç dayanımı Tayini	TS11222 gereği kadar
9	Sertleşmiş beton Birim Hacim Kütleli	TS3624	Beklenen değeri Sağlayabilmek	Basınç deneyi ile birlikte
10	İlave Su Miktarı	İlave su kayıtları	Su/Çimento oranı İçin bilgi sağlamak	Her harmanda
11	Çimento dozajı	Katılan çimento kaydı	Dozaj kontrolü, S/Ç İçin bilgi	Her harmanda
12	Katkı miktarı	Katılan katkı kaydı	Katkı miktarını Kontrol	Her harmanda
13	Su/Çimento Oranı	(3+4+10) /11	Gerekli S/Ç oranını Sağlamak	Her gün veya daha Sık
14	Taze betonda hava miktarı	TS 3261	Öngörülen hava Miktarını sağlamak	Her gün ilk harmanda Veya daha sık
15	Üniformluk	Harmanın değişik Yerlerinden numune Alarak	Karışımın üniformluğu Sağlamak	Kuşkulu durumda
16	Geçirgenlik	TS 3455	İstenen geçirimsizliği Sağlamak	Siparişte belirtildiği Sıklıkta
17	Diğer Özellikler	İlgili standartlara göre	İstenen özellikleri Sağlamak	İstenen hallerde

### **3.2.4 Hazır betonların tüketilmesinde kullanıcıya ait kontroller**

#### **3.2.4.1 Hazır betonun taşınması**

Hazır beton, çabuk kullanılması gereken bir üründür. Üretimden itibaren yaklaşık 2 saat içerisinde, müşteri tarafından teslim alınması ve kalıba yerleştirme işlemine başlanması gerekir. Bu süre, bulunulan ortamın koşullarına, çimento ve betonun cinsine ve kimyasal katkıların türlerine bağlı olarak değişebilir. Hazır beton bu özelliği nedeniyle “transmikser” adı verilen özel araçlarla taşınır ve teslimata kadar homojenliğini koruması için transmikserde karıştırılır. Bu karıştırma, beton sınıfına bağlı olarak farklı devirlerde yapılır.

Taşıma işlemi, tesisin işletme bölümünün sevkiyat programına göre gerçekleştirilir; transmikser operatörü ve gerektiğinde beton pompası operatörü taşıma ve teslim işleminin diğer sorumlularıdır. Transmikser operatörü betonu müşterinin şantiyesine taşır, pompa operatörü de betonu istenilen noktaya, kalıba aktarır.( Pompa mobil veya sabit olabilir)

#### **3.2.4.2 Hazır betonun teslim alınması**

Hazır beton kullanılan yapı şantiyelerinde beton dökümü başladığında:

- Her transmikser irsaliyesi betonu basmaya başlamadan önce mutlaka teslim edilmeli, siparişe uygun olduğu ve taşıma süresinin geçmediğinden emin olunmalıdır,
- Kıvamı gözlenmelidir ve gerekirse çökme deneyiyle kontrol edilmelidir. Siparişten daha yüksek kıvamlı beton geri çevrilmelidir. Daha kuru kıvamlı gelen beton için beton firmasıyla irtibat kurulmalıdır,
- Soğuk veya sıcak havalarda taze betonun sıcaklığı ölçülmelidir,
- Teslim edilen betondan, tercihen her biri ayrı transmikserden olmak üzere, 6 adet küp veya silindir numune alınmalıdır. Numuneler alınırken, saklanırken, test edilirken ilgili standartlara uyulmalıdır,
- Basınç deneyi sonuçları TS 11222' ye göre yorumlanmalıdır,
- Deney sonuçlarının raporları hazırlanmalı ve saklanmalıdır,

### 3.2.4.3 Hazır betonun dökülmesi

Betonun ürün nitelikleri korunarak, müşterinin şantiyesine transmikserle teslim edildikten sonra, pompa veya diğer araç gereçle istenilen noktadaki kalıba yerleştirilmesi işlemine “ beton dökümü” denir. Beton dökümünden yüksek verim elde edilmesinin bazı noktalara dikkat edilmesi gerekir.

- Dökümden önce dikkat edilecek noktalar:
- Kalıpların sağlam ve sızdırmaz olduğu; temizliği, yağlanıp yağlanmadığı, yüzeylerinin uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir,
- Donatıların gereğince döşenip, kontrolünün yapıp yapılmadığına bakılmalıdır,
- Yeterli miktarda ve uygun boşaltma aracı olup olmadığı;betonu işlemek için uygun sayı ve nitelikte eleman ve araç gereç bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir.(Yeni Deprem Yönetmeliği’ ne göre vibratör kullanımı zorunlu hale getirilmiştir,
- Taze betonun bakımı için gerekli önlemler alınmalıdır ( su hortumları, örtüler vb.),
- Pompa ve transmikserlerin çalışma alanları hazırlanmalıdır,
- Yer betonu dökülecekse, zemin döküme uygun hale getirilmelidir.

- Betonun dökümü ve yerleştirilmesi sırasında dikkat edilecek noktalar:

Betonun yerleştirilmesi pompalı ve pompasız olarak ikiye ayrılmaktadır. Yerleştirme yöntemi betonun kıvamını etkiler. Pompalanacak betonun, mikserden direkt olarak kalıba dökülen betona kıyasla daha akıcı ve kolay işlenebilir olması aranır. İçine beton yerleştirilecek kalıbın ve yerleştirme işçiliğinin sertleşmiş beton kalitesi üzerine hem mukavemet hem de görünüş açısından önemli etkiler vardır.

- Kalıbın cinsi (ahşap, çelik, tünel, endüstriyel hazır kalıp gibi),
- Kalıp yüzeyinin kalitesi (plywood, çelik gibi),
- Kalıp yağı kullanılması,
- Yerleştirme esnasında vibratör kullanımı gibi faktörler beton kalitesi ile doğrudan bağlantılıdır.

- Beton yerleştirilirken:

- Beton mümkün olduğunca yerleştirileceği yere veya yakın bir bölgesine dökülmelidir. Betonun belirli bir bölgeye yığıp, kürekle yerine yerleştirmeden kaçınılmalıdır,
- Beton homojen tabakalar halinde yerleştirilmelidir. Yerleştirme esnasında büyük yığınların ve eğimli tabakaların oluşturulmasına engel olunmalıdır,
- Beton kalıba 1.5 m' den daha yüksekte dökülmemelidir,
- Betonun yerleştirme ve sıkıştırma hızları uyum içinde olmalıdır,
- Gecikme ve duraklamalara meydan verilmemeli, bunun sonucu oluşabilecek soğuk derzler mümkün verilmemelidir. Bu tür uygulamalarda muhtemel hava kabarcıklarına karşı kalıp yağlanmalıdır.

- Transmikser ile dökümler:

Transmikserin kapalı alana girmesi gerekiyorsa aracın gireceği yerin yüksekliği tesise bildirilmelidir. Transmikser, altı boş bir döşemeye veya bozuk bir zemine çıkarılıyorsa 30 ton civarında toplam yük ve dingil başına 11 ile 13 ton yük olduğu varsayılarak zeminin kayma ve çökme tehlikesi dikkate alınmalıdır.

- Pompalı dökümler:

İnşaata yaklaşım mesafesi, yatay ve düşey döküm erişim mesafeleri; inşaat, zemin ve pompa cinsine göre değişkendir. Pompanın kurulacağı zeminin altından geçen boru hattı veya üzeri kapatılmış boşluklar bildirilmelidir. Aynı şekilde yüksek gerilim hatları bildirilmelidir. Kolon betonlarında , pompa uç hortumu kalıp içine mümkün olduğu kadar sokulmalıdır; perde betonlarında, beton kalıp yüzeyine çarptırılmamalıdır. Betonun hızını keserek, ayrışma ve kalıp deformasyonuna engel olunmalıdır. Pompa uç hortumunu tutan elemanların açılmış haldeki pompa kollarının altında durmamasına dikkat edilmelidir.

### 3.3 Hazır Beton Üretiminde Kalite Güvence Sistemi

Hazır betonu geleneksel yöntemlerle elde edilen betondan ayıran temel unsur, hazır betonun modern tesislerde , bilimsel yöntem ve ölçüler kullanılarak, elle dökülen betonun ise gelişigüzel yerlerde, subjektif karar ve ölçülerle üretilmesidir. Hazır beton üreticisi ile tüketicisi, ayrı kişi veya kuruluşlardır. Bu farklılık, hazır betonu satın alan tüketicieye,standartlara uygun,kaliteli beton talep etme hakkını doğurmakta ve tüketici, gerektiğinde satın aldığı malzemenin niteliksizliğinin hesabını üreticiden sorabilmektedir. Bugün büyük kentlerimizde elle karma beton kullanımı iyice azalmıştır.

Hazır betonun kalitesini belirleyen beş temel aşama söz konusudur; Tasarım, üretim, taşıma,yerleştirme ve kür. Bu temel aşamaların her biri elde edilen ürün kalitesi açısından aynı derecede öneme sahiptir. Bu aşamalardan ilk üçü ( tasarım, üretim, taşıma ) üretici tarafından, son iki aşama ( yerleştirme ve kür ) ise müşteri veya kullanıcıtarafından yerine getirilir.

Kalite güvence bir ürünün başarılı olarak hizmet verebilmesini sağlayacak planlı ve sistemli şekilde yapılması gereken işler bütünü olarak tanımlanabilir. Kalite güvencenin sağlanması için aşağıdaki hususların gerçekleşmesi gerekir:

- Teknik veya standart bir şartnameye uygun hareket edilmesi,
- Kalite kontrolunun tanımlanan şartları altında üretim yapılmış olması,
- Amaca hizmet eden bir ürün olması ve belli bir süre boyunca da bu hizmeti vermeye başarılı bir şekilde devam etmesinin sağlanması gereklidir.

Bu hususların gerçekleşmesini sağlamak amacıyla Türkiye Hazır Beton Birliği, 1995 yılında “Hazır Betonda Kalite Güvence Sistemi” ni kurmuş ve denetim uygulamasını başlatmıştır. Türkiye Hazır Beton Birliği kurduğu bu kalite denetim sistemiyle hazır beton sektöründeki sistem ve ürün kalitesini yükseltmek amacını gütmektedir. Tüketicinin kullanımına sunulan hazır beton kalitesinin TS11222, TS500, ilgili diğer Türk Standartlarına ve “Afet Yönetmeliği” ne uygunluğunun sağlanması, ürün kalitesinin devamlılığının sağlanması amacı ile kalite yönetimi anlayışının oluşturulması Kalite Güvence Sistemi'nin kuruluş amacıdır.

Kalite Güvence Sisteminin oluşumunda, Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO)'nun hazırlamış olduğu kalite güvence sisteminden, Avrupa ülkelerinde bu konuda yapılmış çalışma ve uygulamalardan, özellikle de İngiltere'deki Hazır Betonda Kalite Şeması (QSRMC)'ndan, Türkiye'de uygulanan TS11222 Beton-Hazır Beton Standardı ve ilgili diğer Türk Standartlarından yararlanılmıştır. Başlangıçta Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından kurulan ve desteklenen bu sistem, oluşturulan **Kalite Güvence Genel Sekreterliği** tarafından yürütülmektedir.

Kalite Güvence Sistemi denetimleri İstanbul Teknik Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Gazi Üniversitesi, Konya Selçuk Üniversitesi, Niğde Üniversitesi, Osmangazi Üniversitesi, Trakya Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Akdeniz Üniversitesi ve Gaziantep Üniversitesi'nin desteği ile ve yapılan protokoller uyarınca bu üniversitelerin öğretim üyeleri tarafından düzenli olarak gerçekleştirilmektedir.

Hazırlanan "Kalite Güvence Sistemi", iki ayrı denetim düzeninden oluşmaktadır:

- İç Denetim, hazır beton tesisinde, firma elemanlarınca, malzeme temininden itibaren üretimin ve sevkiyatın her aşamasında , hammaddeler üzerinde ve üretilen ürün üzerinde sürekli olarak gerçekleştirilerek sonuçları kaydedilir.
- Dış Denetim ise iki farklı denetim türünden oluşur; a-) Sistem Denetimi: Kalite Güvence Sistemi Genel Sekreterliği' nin belirleyeceği kişi veya kişilerce hazır beton tesisinde üretim yönetimi, üretim araçları, laboratuvar gereçleri ve her türlü kayıtlar üzerinde yapılır; b-) Ürün Denetimi: Ayrıca, yine Genel Sekreterliğin belirlediği ekiplerce üretim tesisinde ve dağıtım yerinde ( şantiye ) ürün ( beton ) denetimi şeklinde gerçekleştirilir. İçeriğinde ürün denetimi de bulunmak üzere yılda bir defa sistem ve iki defa ürün denetimi yapılır.

“ Hazır Betonda Kalite Güvence Sistemi ” İdari Kurallar ve Teknik Kurallar olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır;

İdari Kurallar bölümünde Güvence Amacı, hazır betonun başta TS 11222 ve TS 500 Standartları olmak üzere, ilgili Türk Standartlarına, Kalite Güvence kurallarına ve alıcının isteklerine uygun bir biçimde sunulması olarak belirlenmiştir. Hazır Beton Kalite Güvence Sistemi'ne Giriş Koşulları yine bu bölümde açıkça ortaya konulmuştur.

Hazır Beton Tesislerinin Denetimi, Hazır Beton Kalite Güvence Sistemi Genel Sekreterliği' nin yetki verdiği denetleyiciler tarafından önceden bildirmeksizin tesisleri inceleme, kayıtları denetleme ve ürün kontrolü şeklinde yapılır. Çizelge 3.4' de kalite güvence sistemi denetimlerine ait sonuçlar yer almaktadır.

Çizelge 3.4 Kalite güvence sistemi denetim sonuçları (THBB Yayını)

YIL	TESİS	SİSTEM DENETİMİ	ÜRÜN DENETİMİ
1997	Denetlenen	63	70
	Denetimi Geçen	58	69
1998	Denetlenen	132	108
	Denetimi Geçen	110	93

Hazır Beton Birliği' ne başvuran tesis, Kalite Güvence Sistemi Genel Sekreterliği' nce görevlendirilen denetleyiciler tarafından ziyaret edilerek, tüm tesis, üretim süreci, hammadde, ürün ve testlerle ilgili kayıtlar ve ürün kalitesi denetlenir. Tesis ayrıca bir Kalite Güvence Sistemi sorumlusu belirlemek durumundadır.

Bu Ön Denetim sonucunda tesisin, Kalite Güvence Sistemi' nin öngördüğü koşulları sağlayıp sağlamaması durumuna göre üç durum olasıdır: Koşulsuz kabul, koşullu kabul veya geri çevirme.

Kalite Güvence Sistemi' ne kabul edilen hazır beton tesisleri düzenli ve sürekli olarak denetlenir. Bu denetim sırasında Tesis ve Ekipman ( Üretim araçları, üretim süreci, ekipmanların kalibrasyonu, kalite yönetimi ve teknik kayıtların incelenmesi ) denetimi ile Ürün kalite kontrolü ( tesiste ve şantiyede betondan alınacak örnekler üzerinde taze beton ve basınç deneyleri ) yapılır.

Bu sistemde, Kalite Güvencesinin Belgelendirilmesi konusuna da açıklık getirilmiştir. Belgelendirme: Yapılan ön denetimden sonra üç durum olasıdır. a) Koşulsuz kabul, b) Koşullu kabul, c) Geri çevirme.

- Koşulsuz kabul : Tesisin Güvence Sistemi şartlarını sağladığını gösterir. "Kalite Güvence Sistemi Uygunluk Belgesi " verilir. Firma Kalite Güvence Belgesi' ni tanıtım amacıyla kullanabilir. Ayrıca herhangi bir inşaat firmasının veya ilgili kişinin Türkiye Hazır Beton Birliği' ne başvurması durumunda, bu Hazır Beton Tesisi' nin o anda Kalite Güvence Belgesi taşıyıp taşımadığı konusunda bilgi verilir.
- Koşullu kabul : İlk denetim ile önemi nispeten az olan eksikliklerin belirlenmesi ve eksikliklerin giderilmesi kaydı ile " Kalite Güvence Sistemi Uygunluk Belgesi " verilir. İkinci bir denetim ile bu eksikliklerin giderilip giderilmediği kontrol edilir.
- Geri Çevirme: Önemli eksikliklerin bulunduğu tespit edilir, ve ilgili süre içerisinde bu eksikliklerin giderilmesi istenir. Yapılan ikinci bir denetim ile "Koşulsuz Kabul ", veya " Koşullu Kabul " şartları sağlanır.

Kalite Güvence Sistemi'nden başarıyla geçen tesislere verilen " Kalite Güvence Sistemi Uygunluk Belgesi " nin süresi bir yıldır. Her yıl yapılan bir sistem ve bir ürün denetimi ile vize uygulaması yapılarak sistem üyeliğinin devamı sağlanır. Yapılan denetimler sonucu aşağıdaki durumlardan biri sözkonusu olabilir;

- Sistem üyeliğinin sürdürülmesi : Denetim sonucu, tesiste gerekli kalite kurallarına uygun üretim yapıldığını göstermektedir.

- Sistem üyeliğinin gözden geçirilmesi : Tesiste bazı nispeten önemi az kural dışı durumların bulunduğunu gösterir. Bunların gerekli önlemler alınarak giderilmesi istenir ve bu durum yeniden denetim yapılarak izlenir.
- Sistem Üyeliğinin askıya alınması : Önemli büyük veya çok sayıda küçük sapmaların olduğunu gösterir. Bu eksiklikler giderildikten sonra, tesis yeniden tam bir denetimden geçer.

Kalite Güvence Sistemi' nin Teknik Kurallar bölümü Hazır Beton Tesisinin, TS 11222 Standardı ve ilgili diğer Türk Standartları ile birlikte üretim, malzeme temini ve denetim sırasında uyması gereken teknik kuralları kapsamaktadır.

### 3.3.1 Kalite güvence sistemi denetim detayları

Her yıl üye firma tesislerinde, bir sistem ve bir ürün denetimi olmak üzere minimum iki denetim gerçekleştirilir.

#### - Sistem Denetimi

- Personel: Eğitim durumu, deneyim, organizasyon.
- Beton birleşimine giren malzemeler: Çimento, agregalar, katkıları ve karma suyunun standartlara uygunluğu, kullanım detayları, malzeme özellikleri, stoklama koşulları.
- Beton Karışımları : Beton karışım hesapları ile oluşturulan reçetelerin, yapılan deney sonuçları itibarıyla TS 11222' de belirtilen ilkelere uygunluğu, karışım malzemelerinin performans izlenirliği, istatistiksel verilerin analizi, ürün kalite kontrolünün sağlanması amacıyla yapılan çalışmalar.
- Üretim ve Dağıtım: Betona giren malzemelerin stoklama koşulları, tartma ve harmanlama ekipmanlarının kalibrasyonu, kullanılan ölçüm yöntemleri ve duyarlılığının kontrolü, ekipman bakımı, betonun karışım ve taşıma koşullarının standart hükümlerine uygunluğu, müşteri ile iletişim ve bilgilendirme, irsaliye fişi.
- Ürün Kalite Denetimi : Agrega ince madde ve nem oranı tayini, taze betonda birim ağırlık, işlenebilirlik, betonda hava miktarı ölçümü, basınç dayanım ve bütün bunlara ait verilerin analiz ve değerlendirilmesi.

- Ürün denetimi: Tesisin beton verdiği üç şantiyeden, en az iki farklı beton dayanım sınıfına ait üçer adet numunenin taze beton birim ağırlık, sıcaklık, çökme ve 28 günlük basınç dayanım değerlerinin TS 11222' de belirtilen koşullara uygunluğu denetlenir.

### **3.3.2 Bazı ülkelerdeki kalite kontrol ve kalite güvence sistemleri**

Beton üretiminde kalite kontrol sistemi oluşturmuş olan ülkelerden bazılarında kalite kontrol ve kalite güvence sisteminin işleyişi hakkında bilgiler aşağıda verilmektedir.

#### **3.3.2.1 Japonya**

Japonya' da 1923' deki büyük depreme kadar betonarme betonu tasarımı ve üretimi ile ilgili herhangi bir standart oluşturulmamıştı. Daha sonra 1929 ve 1931' de JSCE (Japonya İnşaat Mühendisleri Odası ) betonarme betonu için şartname oluşturdu.

Japonya' da 1950' lerde hazır beton kullanılmaya başlamış ve 1953' de hazır beton üzerine ilk Japon Endüstriyel Standardı hazırlanmış ve günümüze kadar revize edilerek getirilmiştir.

Japonlar 1960'larda artan inşaat hacmi karşısında kalifiye mühendis sıkıntısı ile karşı karşıya kaldılar ve bunu da Japon Beton Enstitüsü bünyesinde geliştirdikleri kalifiye eleman yetiştirme sistemi ile ortadan kaldırmışlardır. JSCE ve AJI hazır beton santrallerinin bu mühendisleri çalıştırma zorunluluğunu koydu. Bu santrallarda beton performansı , malzeme test metotları ve test aletleri ile ilgili tüm gereken kurallar da belirlendi.

Japonya' daki kalite kontrol sistemi aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- 1) Temel beton kalite standartları JASS 5' de ( Bina Standart Kanun ve Nizamnamesi) anlatılmaktadır.
- 2) Beton ve hammaddesi kalite standartları ve test metotları JIS'de ( Japon Endüstri Standardı) belirtilmiştir.

3) Şantiyedeki beton işleri kalite kontrolü müteahhit tarafından projeye uygun olarak yukarıda bahsedilen, ilgili standartlar ve AİJ ve JSCE'deki hükümler çerçevesinde gerçekleştirilir.

Hazır betonun kalite kontrolü JİS ( Japonya Endüstri Standardı ) A5308' e göre yapılır. Bu şartname, beton sınıfları ve kalitesi, kullanılacak malzeme, karışım oranları, imalat, taşıma, muayene ve test metotları gibi hükümleri içerir. Sınıflandırma esasen çökme ve nominal beton mukavemetine göre yapılır.

Bu standartlarda beton kalitesi, şantiyeye gönderilmiş haliyle alıcıya boşaltma yapılmadan önce test edilir, ondan sonra imalatçı hiçbir sorumluluk kabul etmez. JİS' de şantiyeye her 150 m<sup>3</sup> beton için basınç mukavemet testi ve arasına da çökme deneyi ve gerekli hallerde de betonda hava miktarı testleri yapılması öngörülmektedir. Basınç mukavemeti beton kalitesinin belirlenmesinde en önemli kriterdir.

JIS Şartnamesinde, belirtilen mukavemete uyulup uyulmadığı şantiyeye gönderilen betonların test neticelerine (her 150 m<sup>3</sup> için bir test ) ve beton mukavemetinin standart sapmasına göre kararlaştırılır. Fakat özellikle küçük ölçekli işlerde test sayısı oldukça az olduğundan üretici ile alıcı arasında görüş ayrılıkları doğdu. Bundan dolayı JIS Standardı değiştirilerek en az üç test sonucunun ortalamasının alınması şartı getirildi. 3 Test yapılması için öngörülen minimum beton miktarı 450 m<sup>3</sup> olmasına rağmen, daha az miktardaki betonlar için yapılması gereken test sayısı müşteri ve üretici arasındaki ortak anlaşmaya bağlı olarak değişebilir.

### 3.3.3.2 İtalya

İtalya' da beton kalitesi Kalite Sertifikası ile belirlenir. Bu, tüketiciyi ürünün kalitesini kontrol etme ihtiyacını duymaması için rahatlatma açısından hazır beton üreticisinin sunduğu bir belgedir. Bu garantinin ispatı genellikle imalatçılar birliğinin tayin ettiği ve ürünün standartlara uyumunu test eden bir kuruluş tarafından sağlanır. Bu kuruluş İmalatçılar Birliği' nden tamamen bağımsızdır. SVQ ( Malzeme Kalite Kontrol Birimi, Milan ) beton konusunda bu rolü üstlenmektedir.

SVQ beton için Kalite Sertifikası verir. Burada betonun, üreticinin açıkladığı karakteristik mukavemete olan uygunluğuna bakılır. Eğer test edilmiş karakteristik mukavemet % 5 sapma sınırı içindeyse uygun kabul edilir. SVQ' nun hizmetinden, müşterilerine ürünlerinin belli bir standarda göre imal edildiğini ispat etmek isteyen hazır beton üreticileri yararlanır "Kalite Sertifikası" elde ederler . Bu hizmetten aynı zamanda prefabrik yapısal elemanlar imal eden üreticiler de yararlanırlar.

SVQ' nun hizmeti aşağıda belirtilen üç safhada gerçekleşir:

- 1) Hazır beton üreticisinin ekipman ve test metotlarının yeterliliğinin kontrolü: Bu kontroller yılda en az bir defa tekrarlanır, eğer sonuçlar kötü ise SVQ' nun verdiği sertifika iptal edilir.
- 2) Üretim sürecindeki standart sapmasının hesaplandığı ön testler yapılır. Her ay beş örnek alınarak ve her örnekten 20 test yapılarak bir ayda toplam 100 test yapılır. Basınç mukavemet değerleri elde edildikten sonra ortalama değer ve standart sapma bulunur. Sonra toplam üretim sürecinin standart sapması hesaplanır.
- 3) Üretici hazır beton kurumunun açıkladığı karakteristik mukavemet değerinin test sonuçlarına uygunluğu kontrol edilir. Bu kontroller üreticiye haber vermeden aylık 20 test şeklinde gerçekleştirilir.

### 3.3.3.3 İngiltere

İngiltere' de beton yapıların kalite kontrolü normalde müşterinin kendisi yada bir temsilcisi tarafından kendi şartnamelerine uygunluğunu araştıran testler ile gerçekleştirilir. Bir kontrol mecburiyeti olmamasına rağmen çoğu hazır beton kuruluşu BRMCA (İngiliz Hazır Beton Birliği ) gibi otorite organizasyonlara üye olmak için başvurmuştur.

BRMCA 1968' de kuruldu. Amacı üyelerin teknik standartlara uyumunu sağlayıp alıcılara güvenilir kalitede beton üretilmesini sağlamaktır. BRMCA Üyelerinin birliğin şartlarının temel kısımlarına uyumu mecburidir ve İngiltere' de hazır betonun % 95' den fazlası bu üyeler tarafından imal edilir. Genellikle beton alıcıları tarafından BRMCA otoritesi kabul edilmiş olup birçok şartnameye bu birliğin onayladığı hazır beton tesislerinden beton satın alınması mecburiyeti konulmaktadır.

BRMCA' daki teknik müdür, BRMCA beton teknoloji mühendislerinin muayenelerine bağlı olarak tesislerin denetlenmesini sağlar, onay sertifikalarını gerekirse askıya alır yada geri çeker.

Herhangi bir sertifika geri çekme olayını BRMCA yayınlarında alıcılara duyurur. Onaylanmış tesislerin listeleri yılda iki defa yayınlanır.

BRMCA' nın Teknik Şartları: BRMCA 5 bölümden oluşan bir denetleme uygular.

- A) Üretim ve kontrol personeli,
- B) Malzemeler,
- C) Aletler,
- D) İşletme yönetimi,
- E) Tasarımı yapılan karışımların kalite kontrol yöntemleri.

Denetlemenin A-D Bölümleri bütün üyeler için mecburidir. E Bölümü ise bütün alıcılara gerekli görülmeyeceği için zorunlu değildir. E tipi denetleme için betonun boşaltılması esnasında düzenli olarak mukavemet testi için numune alınır ve çökme deneyi yapılır. Elde edilen istatistiksel metotlar kullanılarak analiz edilir.

Tesislere Sertifika verilmesi: Üretim tesisleri, BRMCA üst komitesi kanalıyla , genel müdür tarafından numaralı sertifikalarla yetkili kılınır. Her sertifikanın orjinal onay tarihi mevcut olup geçerliliği yıllık olarak yenilenir. İki tip sertifika mevcuttur.

- 1) A-D : BRMCA Tasdikli Tesis,
- 2) E : BRMCA Tasdikli ve Kalite Kontrollü Tesis.

Tesis kontrolü BRMCA beton teknoloji mühendisi tarafından sorumluluk bölgelerine ayrılarak gerçekleştirilir. Muayeneler aşağıdaki gibi yapılır;

- 1) İlk muayene : Sertifika verilmeden önce yapılır. Tesisin uygun olup olmadığı araştırılır. Gerektiği kadar devam eder.
- 2) Rutin (A-D onayı almış tesisler) : A-D Şartlarına uygunluğun devam edip etmediğini kontrol için yılda bir defa yapılır.
- 3) Rutin (E onayı almış tesisler) : Bölüm E' ye uygunluğun devam edip etmediği kontrol edilir. Kalite kontrol kayıtları denetlenir. Yılda iki defa , altı aylık dönüşümlerle yapılır.

Muayene tamamlanınca, mühendis yeni tesisler için onay önerilerini , eskiler için ise sertifikayla ilgili açıklamaları yazılı olarak firmaya gönderir.

Bölge mühendisinin kontrolü, hazır beton üreticisinin BRMCA ile uyumlu olup olmadığını belirler. Bazı problemlerde mühendisin kendi inisiyatifi kullanması gerekliliği kaçınılmaz olduğundan ve farklı mühendislerin benzer problemlerde aynı inisiyatifi kullanması için önceden hazırlanmış kontrol listelerine göre kontrol yapılması uygundur.

Kontrol Yöntemi: A-D Bölümlerinde, BRMCA personel, malzeme, makina, teçhizat ve işletme yöntemleri ile ilgili teknik standartlara uygunluk arar ve ağırlıkla ölçen ekipman üzerinde rutin kontroller gerçekleştirir.

E Bölümü, tasarımı yapılan karışımlarla ilgilidir. Yani, üretici alıcının belirlediği, öncelikle mukavemet kıstasları çerçevesinde, gerekli karışım oranlarını kendisi belirler. Üretim süresince kalite kontrolünün rutin olarak yapılması masraflı olduğundan (İngiltere’ de alıcılar çok farklı beton sınıfları talep ederler) BRMCA tarafından referans karışım sistemi uygulaması gerçekleştirilir.

Referans Karışım ile Kontrol: Bu sistemde kontrol, fabrikanın ürettiği beton sınıfları içinde orta sıralarda bir beton karışımını referans olarak seçer. Bu karışım üretilmez ise limitler içinde başka bir karışım kullanılabilir. Geçmiş üretim neticeleri veya deneme karışımları kullanılarak, çimento miktarı ve mukavemet ilişkisi kurulur. Bu ilişki, referans karışımdan farklı karışımların sonuçlarının, referans karışıma adapte edilmesinde kullanılır.

Gerçek ve simule edilmiş referans karışım verileri daha sonra, ortalama mukavemet ve standart sapma üzerinde sürekli bir kontrol oluşturmak için analiz edilir ( CUSUM tekniği kullanılır). İngiltere ‘ de kullanılan bu metot sadece kalitedeki değişikliğin olduğu tarihi değil, ayrıca değişiklik derecesini ve düzeltme için gereken miktarı da vurgular.

Hızlandırılmış kür uygulaması neticesinde elde edilen sonuçlar 28 günlük sonuçların tahmininde kullanılır. Bu hesaplanmış sonuçlar sürekli kontrol edilip, standart sapma ve

amaçlanan ortalama mukavemet üzerinde değişiklik olup olmadığı gözlenir. Gerçek 28 günlük sonuçlar metodun doğruluğunu onaylamak için kullanılır.

#### 3.3.3.4 Almanya

DIN 1045 ve DIN 1084' de kalite kontrolü, BI ( Class B25) ve BII (Class B35) sınıfları için düşünölmüştür.

BI için şantiyede yalnızca iç kalite kontrolü gerekmektedir. BII için ise şantiyede, prefabrik yapısal elemanlar ve hazır betonu kapsayan, hem iç hem dış bir kalite kontrolü gerekmektedir. Kontrol için gerekli şartlar DIN 1045 Bölüm I' den Bölüm III' e kadar anlatılmıştır.

DIN (Alman Standartları Enstitüsü) 1045' e göre her müteahhit veya imalatçı , eğitimini kanıtlayan belgelere sahip bir beton mühendisi tarafından yönetilen, kalıcı bir beton test merkezine ( iç ) bağlı olmalıdır. Standart, malzeme, üretim ve gereken özellikleri kapsayan asgari düzeyde bir iç kontrol denetimi şart koşmaktadır. İç kalite kontrolünün sonuçları yılda iki defa, dış kontrol merkezi tarafından denetlenir ve kalite kontrol raporları en az beş yıl muhafaza edilir.

Alman Hazır Beton Birliği' nin bulunduğu Duisburg' daki merkezde “ Hazır Beton Federal Kontrol Birliği” adıyla ayrı bir birim bulunmakta olup, bu kuruluş sektörde devlet tarafından belirlenmiş olan dış denetim sürecini yerine getirmektedir. Dış denetim, yapı malzemelerinin denetiminden sorumlu bölgesel birlikler tarafından yürütölmektedir.

Bu kuruluşlar hazır beton firmalarının yasalar uyarınca yerine getirmeleri gereken hususların (iç denetimin) dışarıdan denetimden sorumludurlar.

Bu iç ve dış denetim sürecinin dışında, pek çok firmanın uyguladığı “ kalite yönetimi sistemleri” bulunmaktadır. Bu sistemlerin sertifikasyonu ise yapı malzemeleri konusunda uzmanlaşmış kişilerin görev yaptığı , özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösteren kurumlarca gerçekleştirilmektedir.

### 3.4 Hazır Beton Üretiminde Kullanılan Kalite Kontrol Diyagramları

İstatistiksel süreç kontrolünün geleneksel ve en anlamlı tekniği kontrol diyagramıdır.

İstatistiksel süreç kontrolünde cevaplandırılması gereken üç soru bulunmaktadır;

- Süreç ne zaman kontrol altındadır, ne zaman değildir?
- Belirlenebilir nedenlerin varlığı nasıl anlaşılır?
- Belirlenebilir bir nedenin bulunmadığı nasıl ve ne ölçüde garanti edilebilir?

Kontrol diyagramları bu sorulara sistematik bir şekilde cevaplandırmaya çalışan, uygulama alanı çok geniş olan grafiksel araçlardır. Kontrol diyagramları, bir süreci kontrol altında tutmaya çalışırken işlenebilecek iki tip hatayı engellemek amacını taşırlar.

- Belirlenebilir nedenler mevcut değilken bunları aramaya kalkışmak ve gereksiz önlemler almak,
- Özel nedenler mevcut olduğu halde bunların farkına varmamak ve önlem almakta geç kalmak veya hiç önlem almamak

Bu iki tip hatadan her ikisini birden aynı anda ortadan kaldırmak mümkün değildir. Kontrol diyagramlarının amacı, hataların doğuracağı kayıplarla, bunları bulmak için katlanılacak olan maliyet arasında bir denge kurarak süreci işletmeye devam etmektir.

Süreçte değişkenlik oluşturan nedenler, süreç kontrolü açısından iki grupta toplanabilir;

- Raslantısal nedenler: Raslantısal nedenlerden kaynaklanan değişkenlik, süreç içerisinde kontrol altında tutulmasına imkan olmayan birçok küçük faktörün birleşimidir. Gözlenen veya ölçülen bu değişimin, çok sayıda olan ve bir kısmı kolayca görülemeyen bu faktörlerden hangisinin ne ölçüde etkisi ile meydana geldiğini saptamak zordur. Raslantısal sebepler önlenemezler ama en aza indirilebilirler. Tam olarak tespit edilmeleri olanaklı değildir. Raslantısal nedenlerin süreçte meydana getirdikleri değişimler nispeten küçüktür. Prensip olarak bu tür değişimler doğal kabul edilir. Kontrol limitleri belirlenirken raslantısal nedenlerin yol açtığı değişimlerin bu limitleri

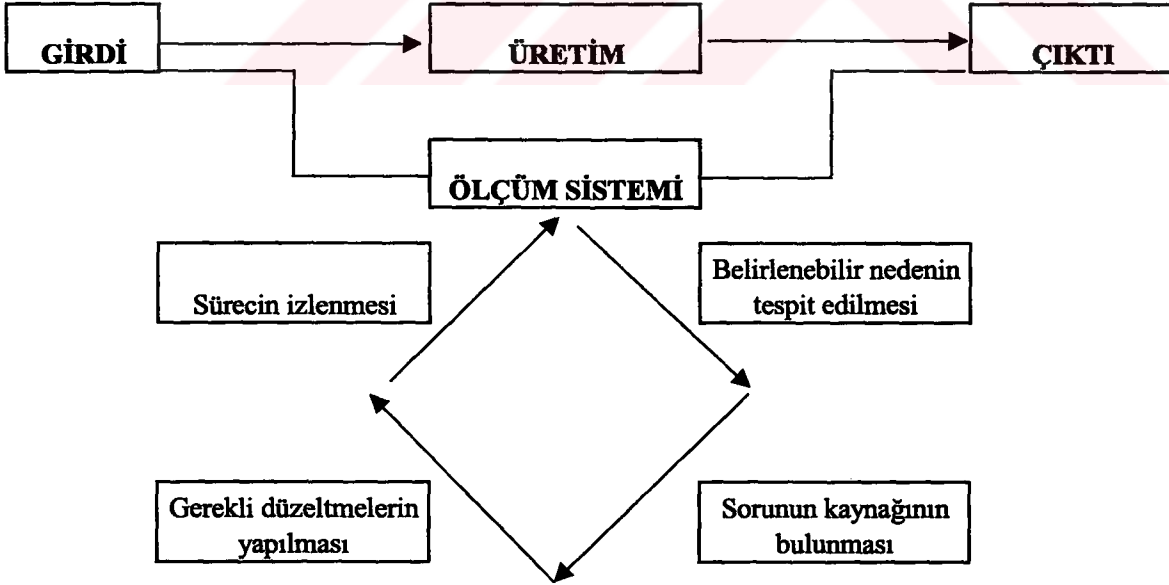
aşmaması istenir. Bu değişimler kontrol limitleri içinde kaldıkça süreç kontrol altında kabul edilir ve herhangi bir düzeltici önlem alma yoluna gidilmez. Malzeme yapısındaki farklar, karıştırma operasyonu sırasındaki değişkenlikler, deney makinalarının belirli limitler içerisindeki hataları, oda sıcaklığı ve benzeri çevre koşullarındaki değişimler raslantısal nedenlerden bazıları olarak sıralanabilir.

- **Belirlenebilir nedenler:** Bunlara “ özel ” nedenler de denilmektedir. Oluşma nedeni belirlenebilen ve giderilmesi mümkün olan bu özel nedenler, süreçte büyük çaplı değişime yol açarlar. Özel nedenler spesifiktirler, takip edilebilirler. Ancak ihmal edilemez ve yok varsayamazlar. Tasarımı iyi yapılmış bir istatistiksel süreç kontrol sisteminde, belirlenebilir nedenlerin varlığı derhal anlaşılabilir ve düzeltici önlemlerle sürecin tekrar yoluna girmesi sağlanır. Yapısal olarak raslantısal olmayan bu nedenlerden bazıları grup halinde şöyle sıralanabilir:

- **Malzemedan kaynaklananlar:** Malzeme alınan yerin değiştirilmesi, kusurlu malzeme stoğu, birbirine karışmış stoklar, heterojen yapıda hammadde, bozulmuş hammadde vb.
- **Makina ve donanımdan kaynaklananlar:** Hatalı makina ayarları, kötü tasarımı donanım ve aparatlar, kalıplar, makinaların yıpranma ve eskimesi, yetersiz koruyucu bakım, ölçme ve test aleti, cihaz ve donanımlardaki farklılıklar, kalibrasyonlarının yapılmamış oluşu vb.
- **Süreç ve yöntemden kaynaklananlar:** Yeni, denenmemiş bir üretim yöntemi, uygun olmayan üretim ve test yöntemleri, farklı test ve ölçme yöntemlerinin kullanılması, üretim yerinin iyi çalışmaması vb.
- **Operatörden kaynaklananlar:** Operatörün dalgın, yorgun veya hasta olması, disiplinsizlik, deneyimsizlik, bilgi eksikliği, motivasyonsuzluk, operatör rotasyonu, farklı vardiyalarda çalışan operatörlerin aralarındaki farklar vb.
- **Ortamdan kaynaklananlar:** Operatörü etkileyebilen toz, gürültü vb. Gibi çevre şartları ve bunlardaki değişimler, sıcaklık ve nem oranı değişimleri, mevsimsel veya günlük hava koşulları değişimleri vb.

Üretim sürecinde belirlenebilir nedenler etkili oluyorsa, o zaman o süreç kontrol altında değildir. Tekrar kontrol altına alınabilmesi için gerekli düzeltmenin yapılması gereklidir. Bir üretim süreci sadece raslantısal sebeplere bağlı değişimler sergiliyorsa bu üretim süreci en iyi seviyededir demektir. Elde edilen sonuçların dağılımı belli bir kararlılık gösterir. Süreç istatistiksel kontrol altındadır. Süreçte belirlenebilir nedenler dolayısıyla değişimler olması dağılımın kararsız olmasına, dağılım eğrisinin şeklinin ve dağılımının değişmesine yol açmaktadır. Bu şartlar altında sürecin performansı hakkında tahminde bulunmak imkansızlaşır, süreç artık kontrol altında değildir. Bu durumda bir veya daha fazla belirlenebilir neden olduğu düşünülerek hareket edilmeli ve gerekli müdahaleler gerçekleştirilmelidir.

Kontrol diyagramları kullanmanın en önemli faydası sürecin kontrol altında tutulmasını sağlaması dolayısıyla süreci iyileştirmeye yaramasıdır. Kontrol diyagramları belirlenebilir nedenleri tespit etmeye yarar. Neden tespit edildikten sonra hangi müdahalelerin yapılacağı, nasıl ve ne kadar yapılacağı kalite kontrol yönetiminin alacağı hareketle yön bulacaktır. Yapılan müdahale sonucunda değişime neden olan esas köklü sebep ortadan kaldırılacak ve süreç kontrol altında olacaktır. Kontrol diyagramları vasıtasıyla süreci iyileştirmeyi özetleyen şema Şekil 3.2' de verilmiştir.

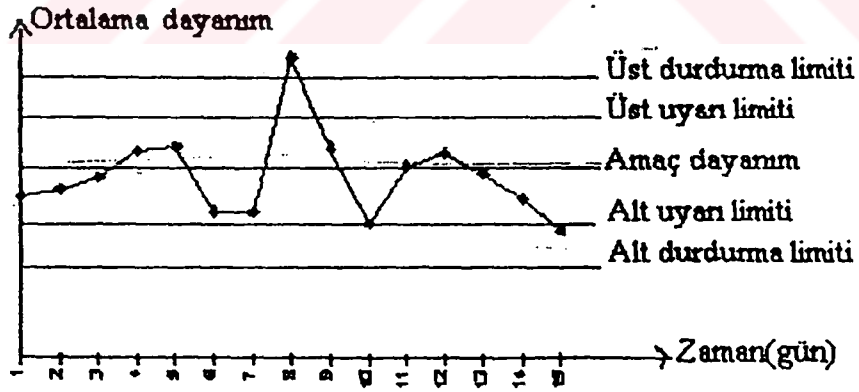


Şekil 3.2 Kontrol diyagramı kullanılarak sürecin iyileştirilmesi.

Hazır beton üretiminin kalite kontrolünde kullanılan iki tip kontrol diyagramı bulunmaktadır: Shewhart kontrol diyagramları ve Cusum kontrol diyagramları.

### 3.4.1 Shewhart kalite kontrol diyagramları

Kontrol diyagramları fikri 1924' te Dr. Walter A. Shewhart tarafından ortaya atılmıştır. Hazırladığı diyagramların yatay eksenine zaman veya numune numarasını, düşey eksenine de ölçülen numune özelliğinin değeri ( örneğin: beton basınç dayanımı ) işaretlemiştir. Diyagramın orta doğrusu ölçülen numune özelliğinin ortalama değerini temsil eder. Üst kontrol limiti ve alt kontrol limitleri olarak tanımlanan iki yatay doğru da orta doğrunun üstünde ve altında olmak üzere iki tarafında yer alırlar. Shewhart kontrol diyagramlarının prensibi, her örnek grubu sonuçlarının ortalamasının kontrol limitleri ile karşılaştırılmasıdır (Şekil 3.4). Eğer süreç kontrol altında ise işaretlenen tüm numune sonuçları kontrol limitlerinin sınırladığı alanın içinde kalır. Bu durumda sürece herhangi bir müdahale gerekmez. Eğer limitler dışına taşan nokta veya noktalar varsa o zaman süreç kontrol altında değildir demektir. Tekrar kontrol altına alınabilmesi için gerekli düzeltmeler yapılmalıdır.



Şekil 3.4 Shewhart kontrol diyagramı örneği

Bir santraldeki her üretim türü için ayrı diyagramlar çizmek gerekmektedir. Shewhart kalite kontrol diyagramlarında erken deney sonuçlarına göre tahmin edilen ortalama 28 günlük basınç dayanımı değerleri düşey eksende işaretlenmektedir. Yatay eksen ise zaman olarak gün kullanılmaktadır yada numune nuarası da yazılmaktadır. Diyagramın orta doğrusu Şekil 3.4' de görüldüğü gibi amaç dayanımı değerindedir. Ayrıca bu doğruya paralel üstte ve altta iki yatay doğru daha çizilmektedir. İçteki doğrular ortalama dayanımın %10 olasılıkla dışına düşebileceği limitleri, dıştaki doğrular ise ortalama dayanımın %2.5 olasılıkla dışına düşebileceği limitleri göstermektedir. Birinci durumdaki limitler uyarı limitleri, ikinci durumdakiler ise işi durdurma limitleri olarak adlandırılmaktadır.

Bu diyagramdaki yatay doğrular aşağıdaki gibi çizilmektedir.

$$\text{Orta doğru} : f_{ca} = f_{cp} + 1.28 * \sigma \quad (3.1)$$

$$\text{Uyarı limitleri: } f_{cu} = f_{ca} \pm 1.28 * s \quad (3.2)$$

$$\text{Durdurma limitleri: } f_{cd} = f_{ca} \pm 1.96 * s \quad (3.3)$$

Burada  $\sigma$  hazır beton tesisinin bilinen standart sapması ve  $f_{cp}$  ise üretilen betonun sınıf proje dayanımıdır. Uyarı ve durdurma limitlerinin hesaplanmasında kullanılan “s” değeri ise örnek grupların ortalamalarının gösterdiği dağılımın standart sapmasıdır.  $\sigma$  ile “s” arasında, örnek grubun içindeki numune sayısına ( n ) bağlı olarak aşağıdaki ilişki vardır:

$$s = \sigma / \sqrt{n} \quad (3.4)$$

Shewhart diyagramlarının oluşturulmasında üçlü ve dördü numune grupları kullanıldığı varsayılırsa, uyarı ve iş durdurma limitleri aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır:

$$\begin{aligned} \text{Uyarı limitleri:} \quad n = 3 \text{ için} \quad f_{cu} &= f_{ca} \pm 1.28 \sigma / \sqrt{3} = f_{ca} \pm 0.74 \sigma \\ n = 4 \text{ için} \quad f_{cu} &= f_{ca} \pm 1.28 \sigma / \sqrt{4} = f_{ca} \pm 0.64 \sigma \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durdurma limitleri : } n = 3 \text{ için} \quad f_{cd} &= f_{ca} \pm 1.96 \sigma / \sqrt{3} = f_{ca} \pm 1.13 \sigma \\ n = 4 \text{ için} \quad f_{cd} &= f_{ca} \pm 1.96 \sigma / \sqrt{4} = f_{ca} \pm 0.98 \sigma \end{aligned}$$

Örneğin, standart sapması 4 MPa olan bir hazır beton tesisinde BS 30 betonu üretimi için oluşturulan Shewhart kalite kontrol diyagramında,

$$\text{Orta doğru:} \quad f_{ca} = 30 + 1.28 * 4 = 35.12 \text{ MPa} = 35.1 \text{ MPa.}$$

Alt ve Üst uyarı limitleri:

$$\begin{aligned} n = 3 \text{ için} \quad f_{cu} &= 35.1 \pm 0.74 * 4 = 38.1 \text{ MPa ve } 32.1 \text{ MPa} \\ n = 4 \text{ için} \quad f_{cu} &= 35.1 \pm 0.64 * 4 = 37.7 \text{ MPa ve } 32.5 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Alt ve Üst durdurma limitleri:

$$\begin{aligned} n = 3 \text{ için} \quad f_{cd} &= 35.1 \pm 1.13 * 4 = 39.6 \text{ MPa ve } 30.6 \text{ MPa} \\ n = 4 \text{ için} \quad f_{cd} &= 35.1 \pm 0.98 * 4 = 39.0 \text{ MPa ve } 31.2 \text{ MPa olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Deney sonuçları elde edildikçe gruplanarak bulunan ortalama değerler kontrol diyagramına hemen işaretlenmektedir. Diyagramın işlenmesi her gün sürekli yapılır. Alt uyarı ve iş durdurma limitleri üretimin güvenliği ve standartlara uygunluğu açısından önemlidir. Üst limitler ise üretimin ekonomikliği ve işletmenin randımanlı çalışıp çalışmadığının belirlenmesi yönünden önemlidir.

Ortalama dayanımlar için kontrol diyagramı işaretlenirken bir örnek grubundaki sonuçlar arasında gözlenen dağılım da “ R “ kontrol diyagramlarına işaretlenir. Burada “ R “ dağılım aralığı yani bir örnek grubunda gözlenen maksimum değer “ x maksimum “ ile minimum değer “ x minimum “ arasındaki farkıdır.

$$R = x_{maks} - x_{min} \quad (3.5)$$

“ R “ Diyagramlarında kullanılan limitler de şu şekilde hesaplanır ;

$$\text{Orta doğru :} \quad \text{Ortalama dağılım aralığı} = 2.06 s \quad n = 4 \text{ için}$$

Uyarı limitleri :	0.98 s ve 3.24 s	n = 4 için
Durdurma limitleri :	0.59 s ve 3.98 s	n = 4 için

Ortalama dayanım kontrol diyagramı ile dağılma aralığı kontrol diyagramlarını alt alta koymak yoluyla grupların ortalama ve dağılma aralıkları daha kolaylıkla ve aynı anda takip edilir. Kontrol diyagramları oluşturulduktan sonra, üretim sürecinin performansını takip etmek mümkün olur. Ortalama dayanım diyagramı ortalama eğilimi ( örneğin , betonun süreç boyunca ortalama dayanım değeri ) hakkında bilgi verir. Dağılma aralığı diyagramı ise işaretlenmiş test sonuçlarının dağılımını yani betonun değişkenliğini gösterir. Her iki diyagramda da noktaların çoğunluğu orta doğru yakınında olmalı ve orta doğrunun her iki tarafındaki nokta sayısı da aşağı yukarı eşit olmalıdır. Bundan farklı her durum üretim sürecinde değişim olduğunu göstermektedir. Eğer ardışık noktalar limitlerin içinde kaldığı halde bir limitten diğerine atlıyorsa, yine de bir problem var demektir. Bu durumda üretim sürecinde kararlı olmayan bir şeyin olduğu ve incelenmesi gerektiği anlaşılır. Erken müdahale zaman kazandırır ve de maliyetlerin düşmesini sağlar.

Herhangi bir değer uyarı limitlerinin dışına düşerse beton kalitesinin sürekliliğinden şüpheye düşülerek uyarı sinyali verilir ve eğer bu sonuç durdurma limitlerinin dışına düşerse acil önlem almak gerekir. Ancak böyle durumlarda yanlış bir alarm sonucu gereksiz işlemlere ve üretimde gereksiz gecikmelere neden olmamak için herhangi birşey yapmadan önce olay takibe alınarak kötü bir gidişatın olup olmadığı anlaşılmaya çalışılır. Diğer taraftan çok fazla rahat davranıp, uzun süre beklemek ise telafisi mümkün olmayan bazı zararlar ortaya çıkarabilir. Bu konudaki detaylı ve de uzun süreli yapılan çalışmaların neticesinde şu sonuçlara varılmıştır : Eğer 10 ardışık noktanın 3 tanesi uyarı limitlerinin dışına veya 20 ardışık noktanın 2 tanesi durdurma limitlerinin dışına düşmüşse üretim sürecini olumsuz yönde etkileyen bir değişimin olması olasılığı yüksektir.

Bu durumda sorunun esas kaynağı bulunana kadar alınabilecek acil tedbir karışım oranlarında ayarlama yapmaktır. Bu da çoğunlukla çimento dozajını arttırmak olarak ortaya çıkar. Sürecin tekrar kontrol altına alınmasından sonra kontrol diyagramlarındaki gidişat istenilen şekildeyse, beton karışım oranları eski şekline dönüştürülebilir.

### 3.4.1.1 Shewhart kalite kontrol diyagramlarının yorumlanması ile ilgili bazı bilgiler

Shewhart kalite kontrol diyagramlarının yorumlanmasında kullanılacak olan bazı diyagram modelleri aşağıda açıklanmıştır.

- Doğal Gidişat modeli

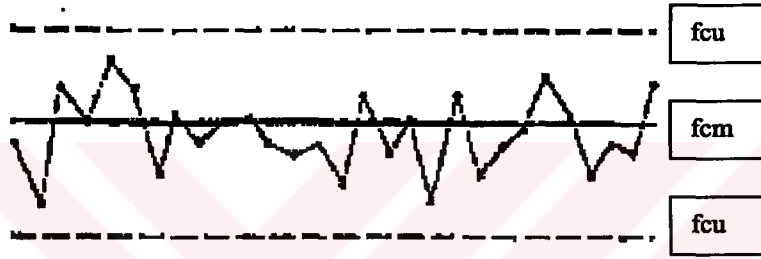
- Gözlemler:

Diyagramın gidişatında sistematik bir eğilim yok. İstatistik kurallara uyum gözleniyor.

Noktaların çoğu orta doğru etrafında.

Her iki tarafta yaklaşık eşit sayıda nokta var.

Kontrol limitlerinin dışında nokta yok.



Şekil 3.5 Shewhart "doğal gidişat" tip diyagramı

- Çevrim- Tekrar modeli

- Gözlemler:

Diyagramda tekrarlı bir gidişat eğilimi var.

Diyagramda iniş çıkışlar gözleniyor.

- Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için:

-Mevsimsel etkiler-sıcaklık vs. ,

-Operatörde yorgunluk belirtileri

-Personelde görev değişimleri

-Değişik test ekipmanları,

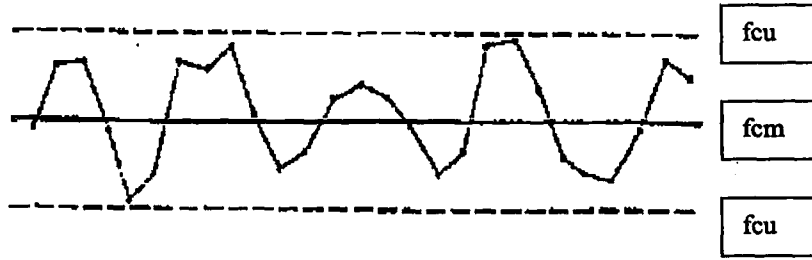
-Gece gündüz vardiyaları

Dağılım aralığı diyagramı için:

-Tesisin ve transmikserin bakımı,

-Operatör yorgunluğu, gece gündüz vardiyaları

-Tamiri yapılması gereken deney aletleri



Şekil 3.6 Shewhart "Çevrim Tekrar" tip diyagramı

- Eğilimler modeli

• Gözlemler:

Diyagramın gidişatında uzun süre değişiklik olmadan artışı yada azalma gözleniyor.

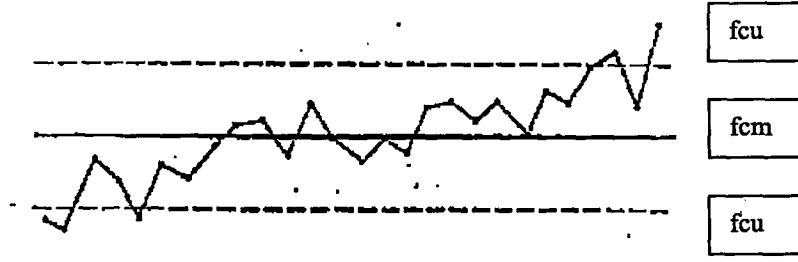
• Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için;

- Ekipmanda yıpranma,
- Karıştırma toleransları
- Ekipman bakımının yetersiz yapılması (Özellikle Karıştırıcı paletleri)
- Mevsimsel etkiler-sıcaklık vs. (Özellikle sıcak havalarda karışım suyunun kontrol edilmesi önemlidir).
- Kişisel faktörler-yeni personel
- Personelin yorulması
- Aşırı çalışma
- Agrega gronülometrisi
- Karışım oranlarında değişme

Dağılım aralığı diyagramı için;

- Yükselen eğim-kontrol azalmış
- Karışım miktarlarında değişiklik var
- Azalan eğim-daha iyi kontrol
- Beton daha homojen
- Karıştırma ekipmanı iyileştirilmiş
- Numuneler uygun hazırlanmış
- Deney yapan personel performansı artırılmış



Şekil 3.7 Shewhart "Eğilimler" tip diyagramı

- Tekil Aşırıliklar

• Gözlemler:

Tüm noktalardan aşırı farklılık gösteren bazı tekil noktalar var.

• Olası nedenler:

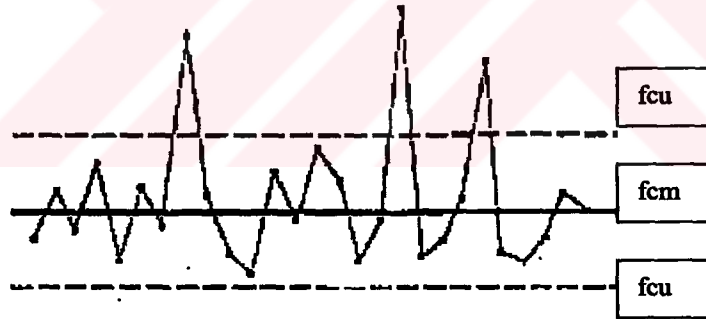
Ortalama dayanım diyagramı için;

-Yanlış karışım kullanımı

-Beton karışım oranlarının ölçümünde hata

-Deneyde hata

-Diyagramın çiziminde hata



Şekil 3.8 Shewhart "Tekil aşırıliklar" tip diyagramı

- Toplanma veya gruplanma

• Gözlemler:

Diyagrama işaretlenen noktaların sapmalarında bölgesel olarak azalma var. Sisteme birden bire yeni eklenen bir şey var.

• Olası nedenler:

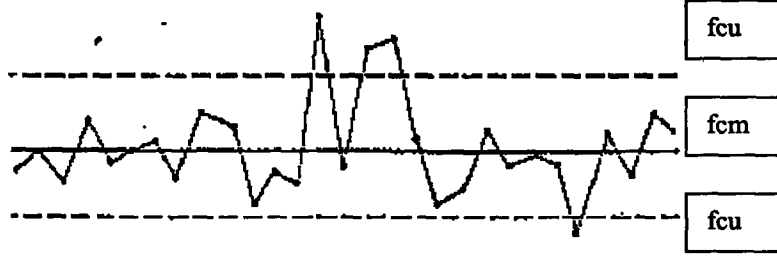
Ortalama dayanım diyagramı için;

-Ölçmede zorluklar

-Deney ekipmanının kalibrasyonunda değişme

Dağılıma aralığı diyagramı için;

- Deneyleri yapan personelin değişimi
- Verilerde devamlı hata var



Şekil 3.9 Shewhart "Toplanma veya gruplanma" tip diyagramı

- Gidişat seviyesinde ani sıçrama
- Gözlemler:

Noktaların doğal gidişatında bir yönde ani bir sıçrama var.

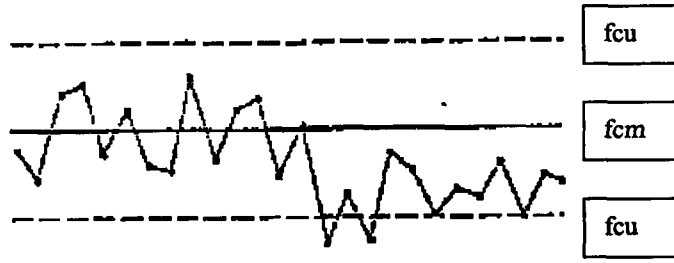
- Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için;

- Yeni bir malzeme kullanımı
- Yeni bir operatör
- Yeni bir deney makinası
- Deney makinası toleranslarında veya ayarlarında değişiklik

Dağılıma aralığı diyagramı için;

- (Artma durumunda) kontrolün azalması
- Personelin dikkatsizliği
- Yetersiz bakım
- (Azalma durumunda) daha iyi kontrol
- Numunelerin daha dikkatli hazırlanması
- Su/çimento oranının kontrolü
- Kür ve deney aletlerinin iyileştirilmesi



Şekil 3.10 Shewhart "Gidişat seviyesinde ani sıçrama " tip diyagramı

- Gidişat seviyesinde tedrici değişim

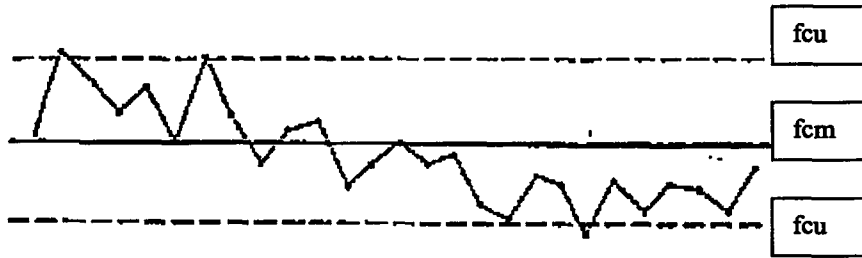
• Gözlemler:

Noktaların doğal gidişatında bir yönde tedrici değişim var.

• Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için:

- Malzemede (agrega granülometrisinde) tedrici değişme var
- Denetlemede tedrici değişme
- Proses kontrolünün sistemin diğer taraflarına uygulanması
- Bakım programının genişletilmesi
- Operatör ve deney yapan personelin tecrübe kazanması



Şekil 3.11 Shewhart "Gidişat seviyesinde tedrici değişim " tip diyagramı

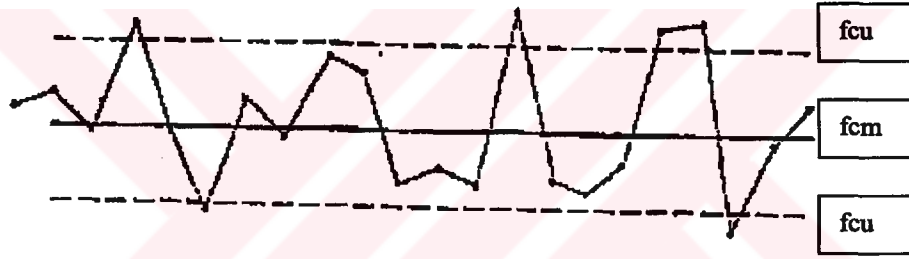
- Kararsızlık
- Gözlemler:

Kontrol diyagramındaki noktalar limitlerin dışına çıkarak büyük dalgalanmalar gösteriyor.

- Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için; -Tartımda hatalar  
-Yetersiz karıştırma  
-Karışıma giren malzemelerdeki farklılıklar  
-Otomasyonda hata

Dağılım aralığı diyagramı için; -Deney yapan personelin tecrübesizliği  
-Dikkatsiz deney personeli  
-Karışık malzeme  
-Bakımı gecikmiş deney makinaları



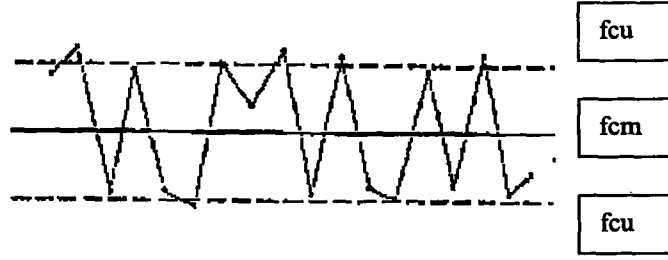
Şekil 3.12 Shewhart "Kararsızlık" tip diyagramı

- Karışma
- Gözlemler:

Deney noktalarında orta noktadan uzaklaşma var. Noktaların çoğu kontrol limitlerine yakın. Diyagramda testere ağzı görüntüsü gözleniyor. Karışma gözlenen bir diyagramda, iki farklı gidişatın birleşimi vardır.

- Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için; -Santral operatörlerinde veya deney aletlerindeki farklılık



Şekil 3.13 Shewhart "Karışma" tip diyagramı

- Kararlı karışma formu

• Gözlemler:

Diyagram zaman içinde sabit bir izafi konuma sahiptir.

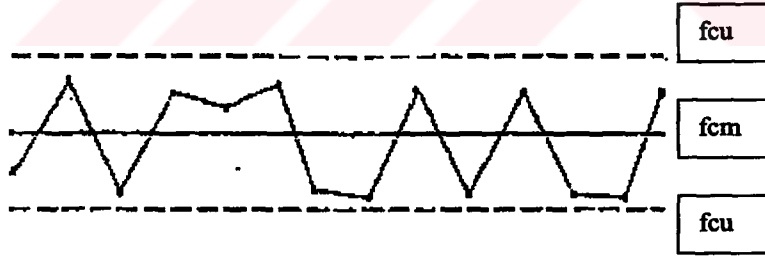
• Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için; -Beton bileşenlerindeki (özellikle agrega granülometrisinde) tutarlı değişmeler.

-Santral operatörlerindeki farklılıklar

-Farklı kaynaklardan malzemelerin santralin bilgisi dışında karıştırılmış olması

-Birden fazla farklı deney makinasının kullanılması



Şekil 3.14 Shewhart "Kararlı karışma formu" tip diyagramı

- Kararsız Karışma Formu:

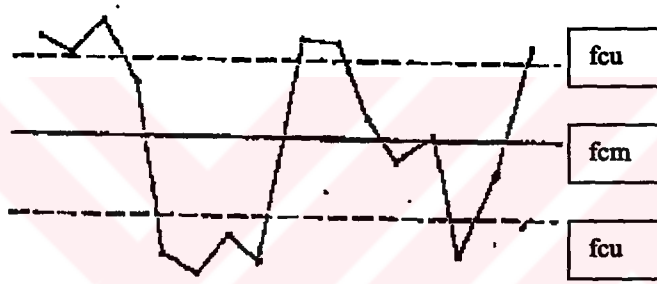
• Gözlemler:

Diyagramın gidişatında gruplanma, toplanma ve tekil aşırıliklar gibi durumlar karışık olarak bulunuyor.

- Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için;

- Malzeme ve operetörlerdeki değişiklikler
- Tartma işlemlerinde sık yapılan ayarlamalar
- Sık yapılan karışım geliştirme işlemleri ve denemeler (Su/çimento oranı değiştirilmesi veya yeni katkı kullanılması)
- Karıştırma süresinde yapılan değişiklikler.
- Sıcaklıktaki değişimler
- Yanlış numune alma
- Deney işlemlerinde değişiklikler
- Diyagramı işaretlerken yapılan hatalar



Şekil 3.15 Shewhart "Kararsız karışma formu" tip diyagramı

- Tabakalanma

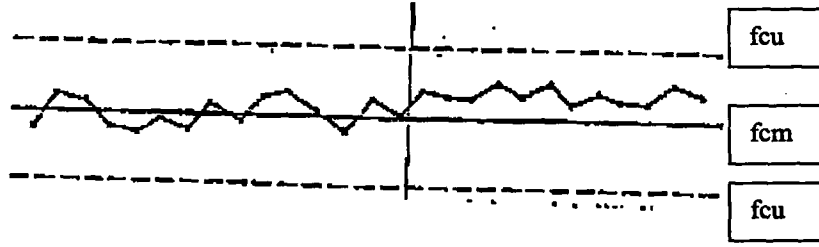
- Gözlemler:

Tabakalanma bir kararlı karışma formudur. Çok küçük aşağı ve yukarı değişimler olur. Kontrol limitlerine yakın nokta pek yoktur.

- Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için;

- Sistematik örnekleme hataları
- Hesaplama hataları



Şekil 3.16 Shewhart "Tabakalanma" tip diyagramı

- Sistematik değişken

• Gözlemler:

Diyagramın tahmin edilen bir gidişatı vardır. Uzun, kesintisiz düşük, yüksek, düşük, vb. Nokta serisine sahiptir. Testere ağzı görüntüsü vardır.

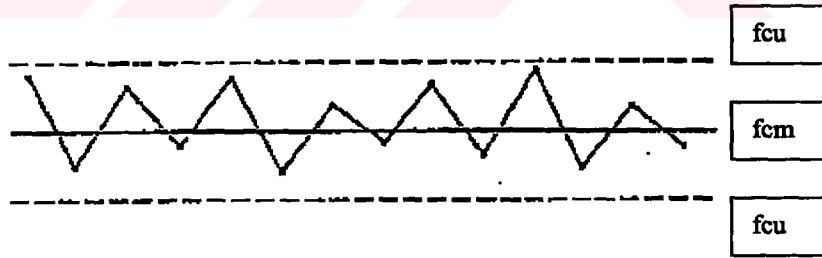
• Olası nedenler:

Ortalama dayanım diyagramı için;

-Gece gündüz vardiyasında farklılık (yeterli denetim noksanlığı)

-Birden fazla santral olması durumunda hep birinden örnekleme yapma

-Deney numunelerindeki farklılıklar.



Şekil 3.17 Shewhart "Sistematik değişken" tip diyagramı

Shewhart kalite kontrol diyagramlarının avantajı deney sonuçlarının açık bir şekilde gösterilemesi ve karar verme mekanizmasının kolay olmasıdır. Bu tip kontrol diyagramları özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak karar mekanizmasının limitler ile ortalama değer arasındaki bölgenin genişliğine bağlı olması, kontrol sisteminin küçük değişimlere hassas olmaması sonucunu doğurmaktadır.

Shewhart kalite kontrol diyagramları ortalama dayanım değerlerinin yanında dağılım aralığı için, örnek grupları içindeki minimum dayanım değerleri için yada üretim sürecindeki değişikliklerin uzun süreli etkilerinin ve etki yönünü daha kolay izleyebilmek amacı ile dörtlü veya onlu ardıl hareketli ortalamalar içinde çizilebilirler. Bunların yanı sıra birim ağırlık ve çökme gibi taze beton özelliklerinde Shewhart kalite kontrol diyagramları ile takip edilmesi betonun kalite kontrolü çalışmalarında faydalı olmaktadır.

### 3.4.2 CUSUM kalite kontrol diyagramları

Shewhart kalite kontrol diyagramlarına alternatif bir yöntem Kümülatif toplamlar yöntemidir. Kümülatif toplamlar yöntemi İngiltere ve Avustralya'da özellikle hazır beton endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metodun temel özelliği garafiğe konulan her noktanın hem kendisi, hemde önceki noktalar hakkında bilgi içermesi ve "hedef" 'ten sapmaların ne zaman istatistiksel olarak "önemli" olduğuna işaret edebilmesidir. CUSUM sistemi İngiltere'deki ICI Ltd. 'te 1964'den önce ortaya çıkmıştır. Ortalama ve dağılım aralığı için kullanılan Shewhart kontrol diyagramları yerine kullanılmak üzere İngiltere'deki RMC grubunca betona adapte edilmiştir. 1970'de İngiliz Hazır Beton Birliği üyeleri için kullanılabilir hale getirilmiş ve günümüze dek hazır beton endüstrisi için Hazır Beton için kalite kontrol şeması altında referans metod olarak fazla değişikliğe uğramadan korunmuştur. İngiltere Standartlar Enstitüsü (BSI) 1980 yılında kalite kontrolde CUSUM yönteminin uygulanmasının prensiplerini içeren bir kitapçık yayınlamıştır.

Hazır betonda CUSUM sistemi ortalama dayanım, standart sapma ve erken yaş-2 günlük standart dayanım arasındaki ilişkinin eğilimlerini tespit etmek için kullanılmaktadır.

Metodun temeli özet olarak seçilen işlem parametrelerinin ortalama ve değişimindeki mevcut eğilimleri belirlemek için her sonucu sırayla kullanarak kesinliği ve verimi en üst seviyeye çıkartmaktır. Bunu yapmak için her sonucun referans veya beklenen değerden olan farkları pozitif ve negatif olarak bulunup, daha sonra bu farklar kümülatif olarak toplanır ve CUSUM elde edilir.

Eğer işlem kontrol altında ise, farkların kümülatif toplamının grafiği sıfır civarında düzensiz şekilde değişir, ancak herhangi önemli bir sapma, sıfır çizgisinin üzerinde veya altında yükselen veya alçalan bir eğri olarak kendini gösterir.

### 3.4.2.1 Ortalama dayanımın kontrolü

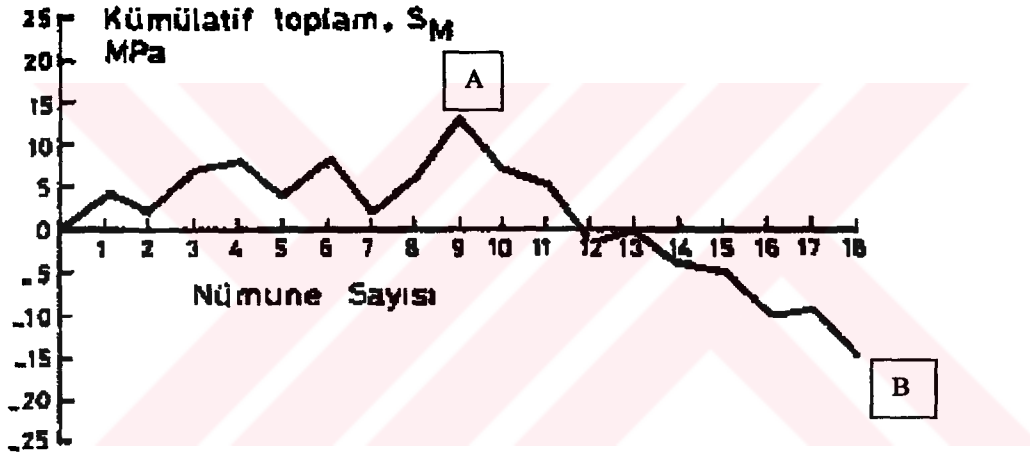
CUSUM tekniğinin uygulanması bir örnek üzerinde anlatılacaktır. Çizelge 3.5' de ölçülmüş 28 günlük dayanımlar yazılmıştır. Üreticinin hedeflediği ortalama değer 40 N/mm<sup>2</sup> ve proje dayanımı 30 N/mm<sup>2</sup> dir. Sıralanan 18 adet test sonucundan her biri hedef dayanım olan 40 N/mm<sup>2</sup> ile karşılaştırılıp farkları bulunmuştur. Ölçülen değer hedef değerden fazla ise fark pozitif, hedef değer ölçülen değerden fazla ise fark negatif olarak tabloya işlenmiştir. Örneğin; iki sonucun ardından (biri 4 N/mm<sup>2</sup> 40 N/mm<sup>2</sup> den fazla ve diğeri 2 N/mm<sup>2</sup> 40 N/mm<sup>2</sup> den az ) CUSUM = + 4 – 2 = +2 olarak hesaplanır. 9 uncu ve 18 inci sonuçlar arasında negatif bir eğilim olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.5 Hedef dayanım kümülatif toplamı için örnek ( Arnoğlu, 1993)

Sonuçlar	Basınç Dayanımı MPa 28 günlük	Hedef Dayanımdan Farkı 40 MPa	CUSUM MPa
1	44	4	4
2	38	-2	2
3	45	5	7
4	41	1	8
5	36	-4	4
6	44	4	8
7	35	-5	3
8	43	3	6
9	47	7	13
10	34	-6	7
11	38	-2	5
12	33	-7	-2
13	42	2	0
14	36	-4	-4
15	39	-1	-5
16	35	-5	-10
17	41	1	-9
18	34	-6	-15

Çizelge 3.5’de elde edilen sonuçların hiçbirinin karakteristik dayanımının ( $30 \text{ N/mm}^2$ ) altına düşmemiştir. Ancak hedeflenen dayanım değerinden daha düşük dayanımlara doğru bir eğilim olduğu tespit edilmiştir.

Şekilde 3.18’de hesaplanan CUSUM ların grafik haline getirilişi görülmektedir. Grafiğin gidişi aşağıya doğru arttıkça dayanımdaki düşüşte artmaktadır. Oysa sürekli olarak artan bir grafik dayanımlarında sürekli olarak artmakta olduğuna işaret eder. Yatay zik-zak çizgi ise hedef dayanımın tutturulduğunu gösteren diğer bir durumdur. Şekilde “A” noktasına kadar sonuçların hedef dayanımdan az miktarda yukarıda seyrettiği gözükmektedir. “A” noktasından “B” noktasına kadar ise sonuçların hedef dayanımdan daha az olmaya başladığı aşağıya doğru bir eğilim gözükmektedir.



Şekil 3.18 Çizelge 3.5’deki sonuçların kümülatif toplamlar diyagramı (Dewar, 1992)

### 3.4.2.2 Standart sapmanın izlenmesi

CUSUM tekniği beton dayanımlarındaki standart sapmanın araştırılmasında kullanıldığı zaman ardışık deney sonuçları arasındaki farklar ile standart sapma arasındaki ilişkiden yararlanır.

Tahmini standart sapma =  $0.886 \times [\text{Ardışık sonuçlar arasında gözlenen ortalama fark}]$

Bu ifade kullanım kolaylığı için ters çevrilebilir;

$[\text{Ardışık sonuçlar arasındaki hedef fark}] = 1.128 \times \text{Varsayılan (seçilen) Standart Sapma}$

Hesaplarda kolaylık olsun diye hedef farklar genellikle en yakın 0,5 MPa 'ya yuvarlanırlar. Beton üretiminde çoğu kez dağılımın büyüklüğünü karakterize eden standart sapma bilinmez. Bu takdirde, standart sapma değeri benzer şantiye üretimlerinde hesaplanan standart sapma büyüklükleri kabul edilmek sureti ile verilen proje dayanımı için beton karışım tasarımının dayandırılacağı hedef dayanım bağıntısından hesaplanabilir. Eğer; geçmiş şantiye üretimi ile ilgili istatistiksel değerlendirme analizleri mevcut değil ise üretim koşullarına göre aşağıda belirtilen standart sapma değerleri kabul edilebilir. Yeterli beton üretim verilerinin oluşması durumunda (genellikle bir üretimin standart sapması en az 25-30 deney ile belirlenebilir) standart sapma ölçülen dayanım değerleri için hesaplanır ve bu büyüklük dikkate alınarak hedef dayanım tekrar hesaplanır. Eğer belirgin bir farklılık sözkonusu ise karışım tasarımı özenle gözden geçirilmelidir.

Çizelge 3.6 Standart sapmanın tayini ( Arıoğlu, 1993)

Üretimde Denetim Şartları	İyi Denetim		Orta Denetim		Zayıf Denetim	
	* Ağırlık esashı karışım * Düzgün gradasyonlu agregası * Agregası nemi hesaba katılıyor * Sürekli Denetim			* Ağırlık esashı karışım * İki boyut agregası kullanımı * Su miktarı kontrolsüz * Aralıklı denetim		* Hacimsel karışım * Çeşitli agregası * Denetim yok
Beton Sınıfı	Normal Dayanımlı Beton	Yüksek Dayanımlı Beton	Normal Dayanımlı Beton	Yüksek Dayanımlı Beton	Normal Dayanımlı Beton	Yüksek Dayanımlı Beton
$\sigma \text{ kg/cm}^2$	35	40	50	60	70	-
$\Delta f \text{ kg/cm}^2$	45	50	65	75	90	-

Tablodaki değerler kp örnekler içindir. Silindir rnek kullanılıyorsa  $\sigma$  ve  $\Delta f$  değerleri 0.83 katsayısı ile çarpılmalıdır.

$$f_{ca} = f_{cp} + 1.28 \sigma = f_{cp} + \Delta f \text{ dir.} \quad \Delta f = 1.28 \sigma \quad (3.6)$$

Bazı standart sapmalara karşılık gelen hedef farkların değerleri izelge 3.7' de belirtilmiştir.

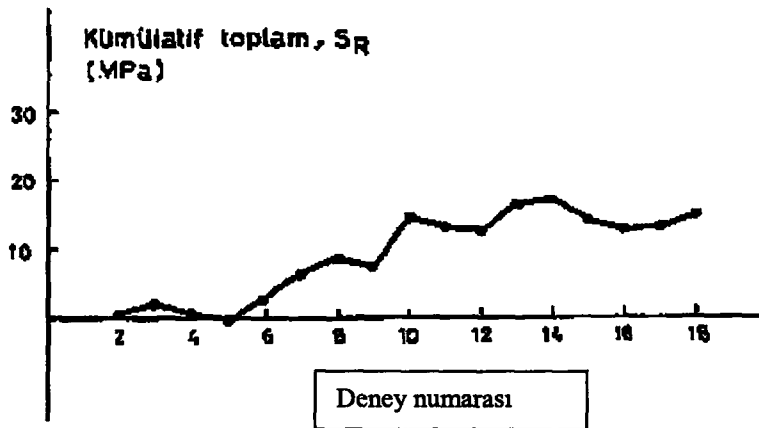
Çizelge 3.7 Hedef ardışık değerler farkları (Dewar, 1992)

Standart sapma ( MPa )	Hedef Ardışık Dayanımlar Farkı ( MPa )
3,50	4,00
4,00	4,50
4,50	5,00
<b>5,00</b>	<b>5,50</b>
5,50	6,00
6,50	7,50
7,00	8,00

Kümülatif toplamların standart sapmalara uygulanmasının bir rneği izelge 3.8' de ve Şekil 3.19' da verilmiştir. rnekte standart sapma 5,0 MPa ve buna karşı gelen hedef ardışık fark 5,5 MPa olarak alınmıştır. Çizelgede ardışık değerler arasındaki gerçek farkın mutlak değerinden "Kolon 3" hedef fark çıkarılarak "Kolon 4" elde edilmiştir. "Kolon 4" 'n aşağıya doğru kümülatif toplanması "Kolon 5" ' i vermektir. CUSUM grafiği çizildiğinde ardışıklar farkı ortalamasının (dolayısıyla standart sapmanın) hedef olarak seilenden daha büyük olduğu görülmektedir. Grafiğin sürekli artan bir eğilimi vardır. rnekte 5 inci ve 13 nc noktalar arasında böyle bir durum görülmektedir.

Çizelge 3.8 Kümülatif toplamların ardışık farklara uygulanması (Dewar, 1993)

1	2	3	4	5
Sonuçlar	Basınç Dayanımı 28 Günlük (MPa)	Ardışıklar farkı (MPa)	3 - [Hedef Fark(5,5)] (MPa)	Cusum (MPa)
1	44			
2	38	6	0,5	0,5
3	45	7	1,5	2
4	41	4	-1,5	0,5
5	36	5	-0,5	0
6	44	8	2,5	2,5
7	35	9	3,5	6
8	43	8	2,5	8,5
9	47	4	-1,5	7
10	34	13	7,5	14,5
11	38	4	-1,5	13
12	33	5	-0,5	12,5
13	42	9	3,5	16
14	36	6	0,5	16,5
15	39	3	-2,5	14
16	35	4	-1,5	12,5
17	41	6	0,5	13
18	34	7	1,5	14,5

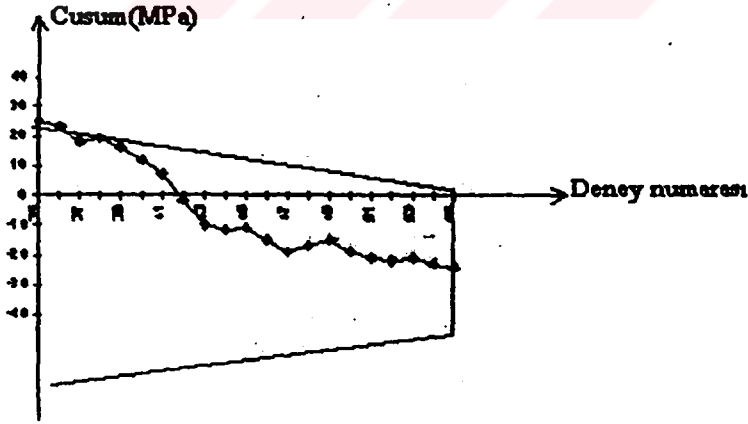


Şekil 3.19 Çizelge 3.8' deki dayanımlar için ardışık farklar CUSUM diyagramı

### 3.4.2.3 Trendlerin önemi

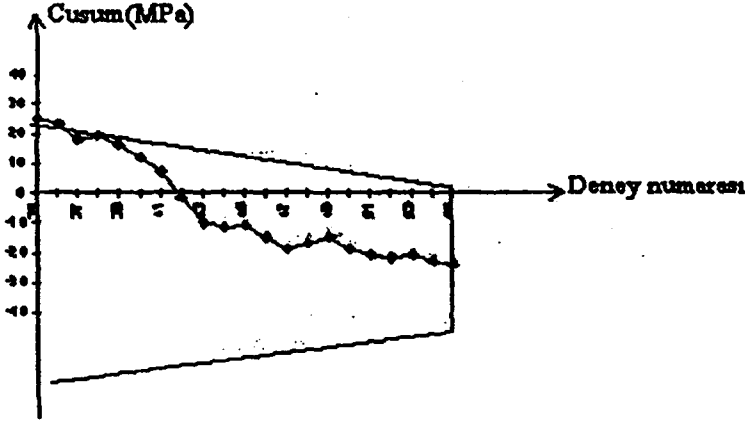
Kümülatif toplamlar yönteminde önemli olan tek tek noktaların büyüklüğü, küçüklüğü, pozitif veya negatif olmaları değil, grafiğin eğiminin pozitif veya negatif olması, ne kadar dik olduğu ve ne kadar devam ettiğidir. İnceleme altındaki büyüklüğün ortalamasının hedeflenen seviyeye göreceli olarak trendi bu eğimde kendini gösterir. Grafikteki eğimi, dolayısıyla trendi gözle görmek kümülatif toplamlar grafiklerinde son derece kolaydır. Bundan sonra cevaplandırılması gereken soru şudur: Bu trend önemli midir? Bir müdahale gerektirecek kadar büyük müdür? Bu kararı verebilmek için pratik bir yol “ V “ maskesi kullanımıdır.

Cusum diyagramlarında eğimdeki değişmelerin takibi, üzerine kesik – V ( V maskesi ) kazınmış, sert- şeffaf bir plastik plaka kullanılarak yapılır. V' nin ayaklarının eğimi, belirlenebilmesi istenen en küçük eğim değişikliğini göstermektedir. V- maskesi simetri eksenini yatay olacak ve başlangıç noktası diyagramdaki son deney noktası üzerine gelecek şekilde cusum diyagramı üzerine yerleştirilir. Herbir yeni nokta eklendiğinde V-maskesi yukarıda anlatılan prensip dahilinde diyagram üzerinde hareket ettirilir. Eğer tüm önceki deney noktaları V-maskesinin ayakları altında kalıyorsa, üretim sürecinin istatistik kontrol altında olduğu söylenir ( Şekil 3.20 )



Şekil 3.20 İstatistik kontrol altında CUSUM diyagramı (Özturan, 1998)

Eğer cusum diyagramı V-maskesinin ayaklarından birini kesiyorsa bet on üretim sürecinde ve ortalama dayanım değerinde değişiklik olduğu ve sürecin istatistik kontrol dışında kaldığı sonucuna varılır (Şekil 3.21)

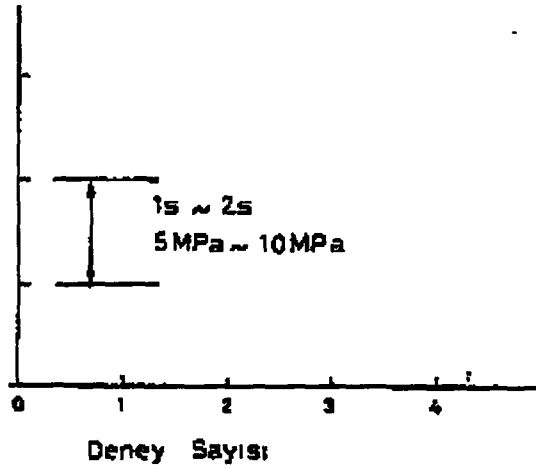


Şekil 3.21 İstatistik kontrol dışında CUSUM diyagramı (Özturan, 1998)

Cusum diyagramının V-maskesinin alt ayağını kesmesi durumunda, ortalama dayanımda bir artış olduğu, aksi durumda ise dayanımda azalma olduğu sonucuna varılır. Ayrıca cusum diyagramının V-maskesini kestiği noktanın değişikliğin olduğu zamana karşı geldiği belirtilmektedir (Şekil 3.21) Böylece tesise gelen malzemelerde veya üretim sürecinde ( ekipman, personel, deney aleti, vb. ) değişiklik araştırmaları bu zaman civarında yoğunlaştırılır. Bu özelliği ile de cusum diyagramının Shewhart diyagramına üstünlüğü vardır.

V-maskesi üretimdeki rastgele değişiklikler karşısında yanlış alarm vermeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Diyagramın oluşturulmasında kullanılan ölçek çok önemlidir. Rastgele değişimler yerine genel eğilimlerin yakalanması amaçlandığına göre cusum diyagramını çizerken üretim sürecindeki küçük değişimleri yakalamaya olanak tanıyacak, ancak rastgele doğal değişimlere hassas olmayacak bir ölçek kullanmak gerekmektedir. Bu amaçla istatistiksel kalite kontrolü ile ilgili literatürde, yatay ekseninde iki ardışık nokta arasındaki aralığın dikey ekseninde bir standart sapma ile iki standart sapma arasında alınması tavsiye edilmiştir (Montgomery, 1991, Wetherill ve Brown, 1991).

Metodun beton kalite kontrolünde uygulanmasında Brown 5-10 MPa, Chung ise 5 MPa tavsiye etmişlerdir (Şekil 3.22)



Şekil 3.22 Kümülatif toplamlar diyagramının ölçekleri (Montgomery, 1991)

V-maskesinin karar aralığı denilen kesik kenarının yüksekliği ile ayaklarının eğiminin tasarlanması, güvenlik seviyesi ile hatayı çabuk belirleyebilme arasında bir uzlaşmayla yapılabilir. Uygulamada V-maskesinin tasarımında kullanılan parametreler genellikle aşağıdaki gibi kabul edilmektedir.

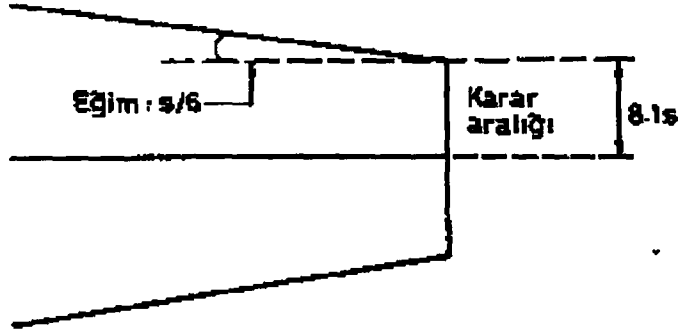
Çizelge 3.9 V maskesi tasarımında kullanılan parametreler (Özturan, 1998)

	Ortalama dayanım Cusum	Ardışık farklar Cusum
Karar aralığı	$8.1\sigma$	$8.5\sigma$
Karar çizgisi eğimi	$\sigma / 6$	$\sigma / 10$

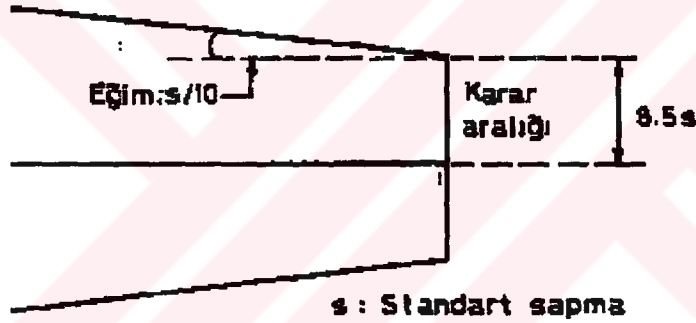
#### 3.4.2.4 Erken dayanım sonuçlarının kullanılması

Beton şartnameleri genel olarak 28 günlük dayanımı esas alırlar. Beton numunelerini 28 gün bekledikten sonra kırmak ve bu sonuçlarla kümülatif toplamlar hesaplayıp çizmek mümkündür. Ancak normal olarak beton dayanımında meydana gelen değişikliklerin mümkün olduğu kadar erken farkedilmesi istenir. Betonun daha erken yaşlardaki

dayanımından 28 günlük dayanımını kestirilip kalite kontrolünde kullanılırsa daha hızlı sonuçlar elde edilebilir. Bunun için erken yaşlardaki (genellikle 7 günlük) dayanım ile 28 günlük dayanım arasında bir korelasyona ihtiyaç vardır. Bu amaçla literatürde mevcut tablo veya eğriler kullanılabilir. Daha doğrusu her şantiye için bir seri deney sonucundan regresyon yolu ile bu ilişkinin elde edilmesidir.



(a) Ortalama Dayanım ve Korelasyon İçin



s : Standart sapma

(b) Standart Sapma (Ardışık Farklar) İçin

Şekil 3.23 Ortalama dayanım için Cusum diyagramı uygulaması (Arioğlu, 1998)

Beton üretildiği zaman kalite kontrolü için 7 günlük iken ve 28 günlük iken kırılmak üzere ikiz numuneler alınır. 7 günlük sonuçlardan kestirilen 28 günlük dayanımla kümülatif toplam grafikleri çizilir. Gerçek 28 günlük sonuçlar alınınca, gerçek ve kestirilen dayanımların farkı kümülatif olarak toplanarak üçüncü bir grafik elde edilir.(Cusum C) Bu grafik eldeki korelasyonun gerçeğe ne kadar iyi uyduğunu kontrol edecektir.

### 3.4.2.5 CUSUM yöntemi ile ilgili örnek

Çizelge 3.10' da 7 günlük dayanımlar kullanılarak oluşturulmuş CUSUM değerleri hesaplanmıştır. Her 7 günlük basınç dayanımı ölçüldükçe. Sonuçlar tabloya işlenmiştir. BRMCA (İngiliz Hazır Beton Birliği) 'dan alınan bu örnekte standart sapmanın var sayımı, ardışık farklar hedefi ve hedef ortalama dayanım gibi başlangıç parametreleri önceden hesaplanmış ve tablonun başında verilmiştir. CUSUM tablosunun oluşturulması için yapılan işlemler adım adım aşağıda anlatılmıştır. Dökümü 10 Şubat 'ta yapılmış olan 5 nolu sonucu kullanarak yapılan işlemleri maddelersek;

- 1) Numune numarası ve tarihi, 7 günlük dayanım tabloya işlenir
- 2) Uygun korelasyon tablolarından 28 günlük dayanım saptanır ve kolon 4 'e yazılır
- 3) Kolon 4'deki dayanımdan hedeflenen basınç dayanımı değeri (42 MPa) çıkarılarak kolon 5'e işlenir.  

$$43.5 - 42.0 = + 1.5$$
- 4) Kolon 6'daki bir önceki kümülatif toplama bu fark eklenir  

$$+ 4.5 + 1.5 = + 6.0$$
- 5) 4 ve 5 numaralı küp numunelerin korelasyon tablolarından okunan 28 günlük basınç dayanımları arasındaki fark bulunup bu farkın mutlak değeri kolon 7'ye yazılır.  

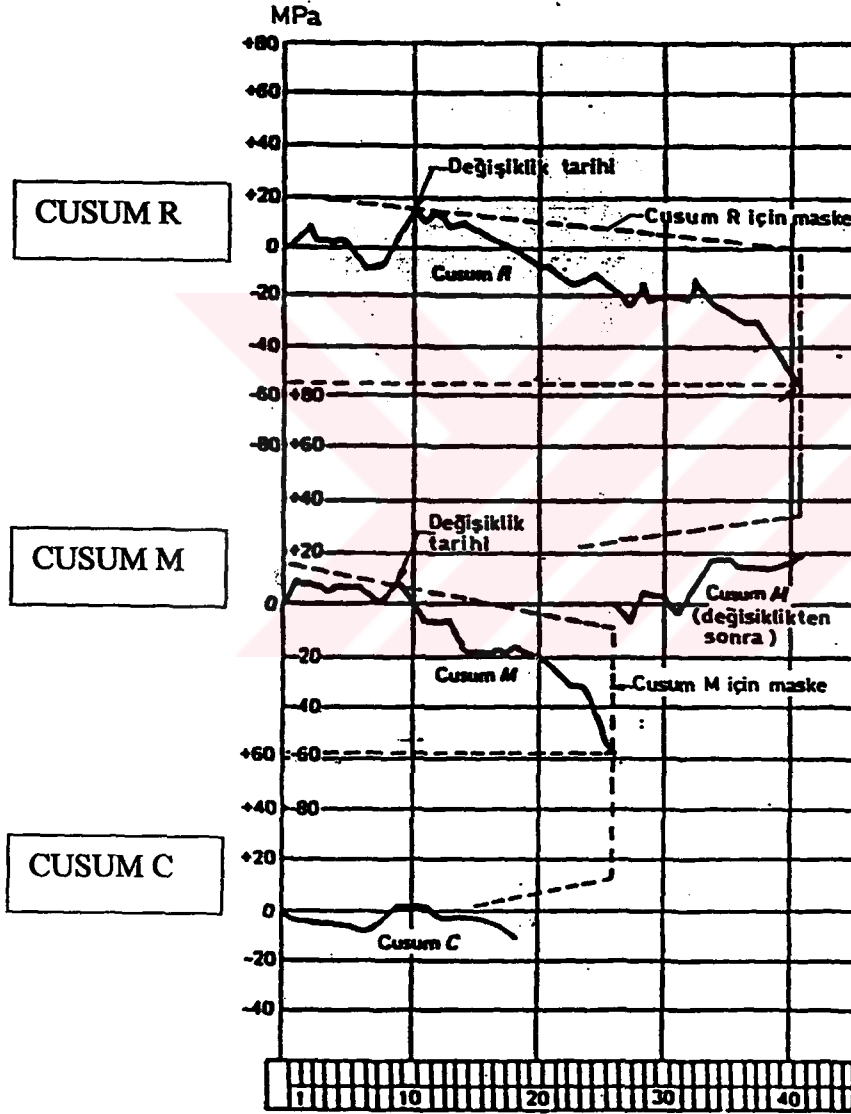
$$| 38.5 - 43.5 | = 5.0$$
- 6) Kolon 7'den hedef ardışıklar farkı (7 MPa) çıkarılır ve kolon 8'e işlenir.  

$$5.0 - 7.0 = - 2.0$$
- 7) Kolon 8'deki değer kolon 9'daki bir önceki kümülatif toplamı değerine eklenir.  

$$2.5 - 2.0 = + 0.5$$
- 8) Gerçek 28 günlük dayanım sonuçları elde edildikçe kolon 10'a yazılır.
- 9) Gerçek 28 günlük dayanımlardan önceden tahmin edilen 28 günlük dayanımlar (kolon 4) çıkarılır ve kolon 11'e işlenir.
- 10) Kolon 11 kolon 12'deki bir önceki korelasyon tablosu kümülatif toplamına eklenir.  

$$-5.0 + 0 = -5.0$$

Çizelge 3.10' daki 6,9 ve 12 nci kolonlar kümülatif toplamlar diyagramlarına işlenerek ortalama dayanım standart sapma ve korelasyon için üç ayrı diyagram hazırlanır (Şekil 3.24). Diyagramlara yeni bir nokta eklendiğinde her üç grafik uygun V maskeleri kullanılarak incelenir. Ortalama dayanımlar için çizilen diyagramda (Cusum M) ilk 25 noktada önemli bir değişiklik gözlenmemektedir. 26 ncı noktada maskenin ön noktası yerleştirilince maskeyi kesmiştir. 10 ncu noktadan başlayarak hedef dayanımdan bir sapma olduğu tespit edilir ve müdahale gereği doğar. Noktaların eğimi incelendiğinde değişimin 17 Şubat'ta başladığı tespit edilir.



Şekil 3.24 Standart sapma, ortalama dayanım ve korelasyon için CUSUM diyagramı

(Dewar, 1992)

Benzer şekilde standart sapmada da değişiklik olduğu 26 Şubat'taki 41 nolu sonuçta Cusum R diyagramında gözlenmiştir. Standart sapmadaki değişiklikte 10 ncu sunuşta yani 17 Şubat'ta oluşmaya başlamıştır.

Ortalama dayanımlarda veya standart sapmada değişiklik olduğu gözleendiğinde sadece bu özelliğe ait kümülatif toplamlar tabloda ve diyagramda sıfırdan başlatılır. Diyagramdan birinde yapılan bir değişikliğin diğerlerini de etkilemesi söz konusudur.

V maskeleri kullanılan standart sapmaya bağlıdır. Dolayısı ile yeni noktalar eklendiķe önce ardışık farkları (veya standart sapmaları) incelemekte fayda vardır. Bir değişiklik fark edildiği zaman hem standart sapma, hem ortalama dayanım için yeni maskeler hazırlamak gerekir. Ayrıca yeni hedefler tayin edilir.

Gerçek ve kestirilen 28 günlük dayanımlar arasında önemli bir fark gözlenirse korelasyonda bir değişiklik yapmak gerekir. Değişikliğin başladığı andan itibaren ortalama dayanım kümülatif toplamaları yeniden çizilmelidir. Korelasyondaki değişiklik standart sapmayı fazla etkilemeyecektir. Dolayısıyla ardışık farkların kümülatif toplamalarını yeniden çizmeye gerek yoktur.

CUSUM diyagramlarında değişiklik gözleendiği zaman karışım tasarımına dönülerek çimento dozajını değiştirmek yolu ile duruma müdahale edilebilir. Ortalama dayanımdaki değişiklik çimento dozajında bir değişiklikle ifade edilebilir. Literatürde tipik olarak 1 MPa dayanım değişikliğine karşı gelen çimento miktarı olarak 5 kg/m<sup>3</sup> (Dewar, 1992) kullanılmıştır. Dayanım ortalamasındaki değişiklik ise kümülatif toplamlar diyagramının eğimine eşittir.

Çimento dozajında yapılması gerekli değişiklik “ d<sub>c</sub> “şöyle bulunabilir;

$$d_c = 0,75 * r * [(DI/n) + G ] \quad (3.7)$$

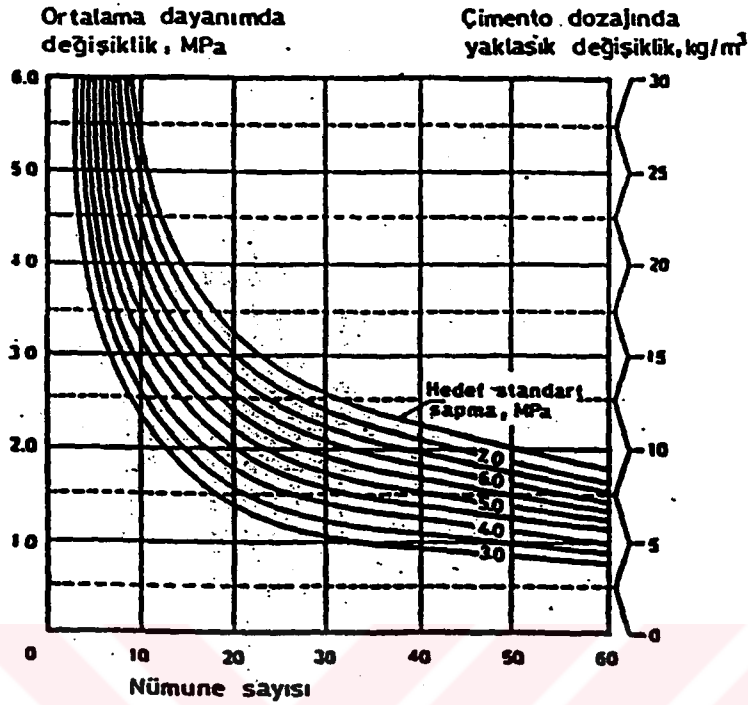
DI = maskenin karar aralığı (CUSUM M için 8,1 σ , CUSUM R için 8,5 σ )

G = maskenin eğimi (CUSUM M için σ / 6 , CUSUM R için σ /10 )

σ = Standart sapma

$n$  = değişikliğin başlaması ve fark edilmesi arasındaki nokta sayısı

$r$  = 1 MPa dayanım değişikliğine karşı gelen çimento miktarı (tipik olarak 5 kg/m<sup>3</sup>) alınır.



Şekil 3.25 Ortalama dayanımdaki ve çimento dozajındaki değişiklik (Dewar, 1992)

Formülden yer alan azaltma faktörü (0.75) gözlenen değişikliklere fazla reaksiyon gösterilmesini önleyici bir azaltma katsayısıdır. Buna "Avlanma yasağı" katsayısı da denmektedir.

Örnek için arttırılması gereken çimento dozajı formülden bulunabilir;

$$d_c = 0,75 * 5 * [ ((8.1 * 6) / 16) + (6 / 6) ]$$

$$n = 26 - 10 = 16$$

$$d_c = 15.14 \text{ kg/m}^3$$

Çimento dozajı 15 kg/m<sup>3</sup> arttırılmıştır.

Örnek için azaltılması gereken çimento dozajı formülden bulunabilir;

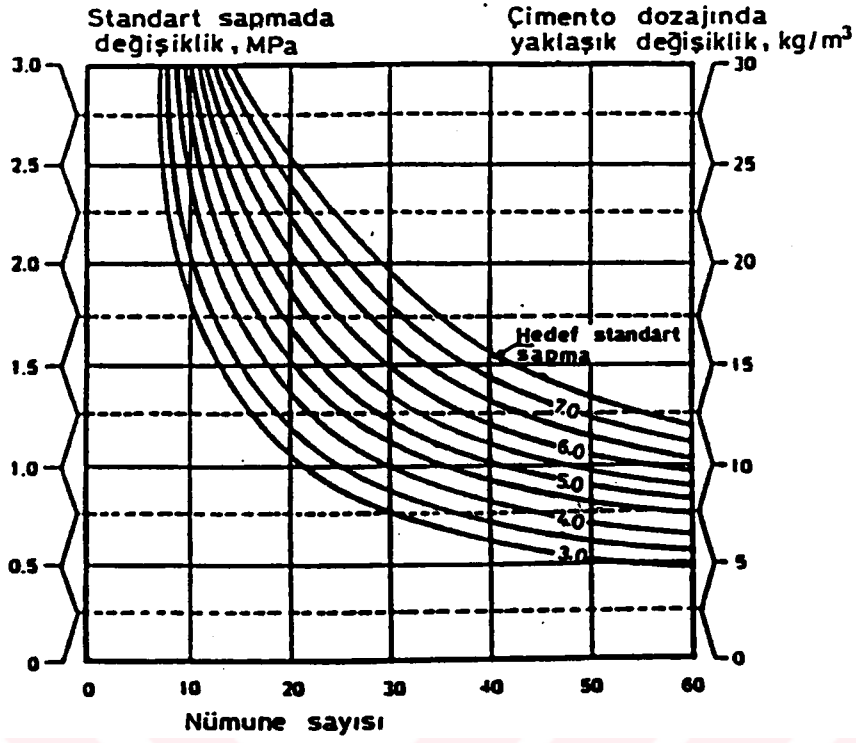
$$d_c = 0,66 * r * t * [ (DI/n) + G ] \quad (3.8)$$

$$d_c = 0,66 * 5 * 2 * [ ((8.5 * 6) / 31) + (6 / 10) ]$$

$$n = 41 - 10 = 31$$

$$d_c = 14.82 \text{ kg/m}^3$$

Çimento dozajı 20 kg/m<sup>3</sup> düşürülmüştür.



Şekil 3.26 Standart sapmada ve çimento dozajındaki değişiklik (Dewar, 1992)

Standart sapmadaki değişiklik

$$\Delta\sigma = 0,66 * [ (DI/n) + G ] \quad (3.9)$$

$$\Delta\sigma = 0,66 * [ ((8.5 * 6) / 31) + (6 / 10) ]$$

$$\Delta\sigma = 1.48 \text{ MPa} \approx 1.5 \text{ MPa}$$

Standart sapma azalmıştır. Yeni standart sapma;

$$6 - 1.5 = 4.5 \text{ MPa}$$

Yeni hedef dayanım;

$$f_{ca} = f_{cp} + t * \sigma = 30 + 2 * 4.5 = 39 \text{ MPa}$$

Daha değişik r ve t değerleri kullanılırsa Şekil 3.25 ve Şekil 3.26' daki eğriler aynı kalacak, yalnız sağ taraftaki düşey eşel değişecektir.

Çizelge 3.10 Kümülatif toplam örneği (Dewar, 1992)

Başlangıç parametreleri:

Karakteristik Dayanım = 30 MPa,

standart Sapma = 6 MPa (Hedef ardışık farklar = 7 MPa)

Hedef Ortalama Dayanım = 42 MPa ( $t=2$ )

7 = 7 günlük dayanım , f t28 = tahmini 28 günlük dayanım, f 28= gerçek 28 günlük dayanım

Numune NO	Döküm Tarihi	f 7 MPa	f t 28 MPa	4 - [Hedef Dayanım] MPa	5 'in Kümülatif Toplamı	Ardışık Farklar	6 - [Hedef Fark] MPa	8 'in Kümülatif Toplamı	F 28 MPa	[10] - [4] MPa	11 'in Kümülatif Toplamı
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Şub.05	43,0	54,0	12,0	12,0				53,0	-1,0	-1,0
2	Şub.08	28,5	38,0	-4,0	8,0	16,0	9,0	9,0	35,0	-3,0	-4,0
3	Şub.09	32,0	42,0	0,0	8,0	4,0	-3,0	6,0	41,0	-1,0	-5,0
4	Şub.09	29,0	38,5	-3,5	4,5	3,5	-3,5	2,5	38,5	0,0	-5,0
5	Şub.10	33,5	43,5	1,5	6,0	5,0	-2,0	0,5	43,5	0,0	-5,0
6	Şub.11	31,0	41,0	-1,0	5,0	2,5	-4,5	-4,0	39,0	-2,0	-7,0
7	Şub.12	33,0	43,0	1,0	6,0	2,0	-5,0	-9,0	47,5	4,5	-2,5
8	Şub.15	25,0	34,0	-8,0	-2,0	9,0	2,0	-7,0	37,5	3,5	1,0
9	Şub.16	42,0	53,0	11,0	9,0	19,0	12,0	5,0	53,5	0,5	1,5
10	Şub.17	24,5	33,5	-8,5	0,5	19,5	12,5	17,5	32,5	-1,0	0,5
11	Şub.17	25,0	34,0	-8,0	-7,5	0,5	-6,5	11,0	30,0	-4,0	-3,5
12	Şub.19	33,5	43,5	1,5	-6,0	9,5	2,5	13,5	43,5	0,0	-3,5
13	Şub.22	32,0	42,0	0,0	-6,0	1,5	-5,5	8,0	40,5	-1,5	-5,0
14	Şub.23	24,5	33,5	-8,5	-14,5	8,5	1,5	9,5	34,0	0,5	-4,5
15	Şub.24	28,5	38,0	-4,0	-18,5	4,5	-2,5	7,0	35,5	-2,5	-7,0
16	Şub.25	33,0	43,0	1,0	-17,5	5,0	-2,0	5,0	41,5	-1,5	-8,5
17	Şub.26	30,0	39,5	-2,5	-20,0	3,5	-3,5	1,5	38,5	-1,0	-9,5
18	Mar.01	34,0	44,0	2,0	-18,0	4,5	-2,5	-1,0	46,5	2,5	-7,0
19	Mar.02	31,0	40,5	-1,5	-19,5	3,5	-3,5	-4,5			
20	Mar.02	32,0	42,0	0,0	-19,5	1,5	-5,5	-10,0			
21	Mar.03	27,5	37,0	-5,0	-24,5	5,0	-2,0	-12,0			
22	Mar.04	24,5	33,5	-8,5	-33,0	3,5	-3,5	-15,5			
23	Mar.05	32,0	42,0	0,0	-33,0	8,5	1,5	-14,0			
24	Mar.08	24,0	32,5	-9,5	-42,5	9,5	2,5	-11,5			
25	Mar.09	26,5	35,5	-6,5	-49,0	3,0	-4,0	-15,5			
26	Mar.10	24,0	32,5 (35,0)	-9,5	-58,5	3,0	-4,0	-19,5			

ıslangıç parametreleri:

arakteristik Dayanım = 30 MPa,

andart Sapma = 6 MPa (Hedef ardışık farklar = 7 MPa)

edef Ortalama Dayanım = 42 MPa ( $t=2$ )

= 7 günlük dayanım ,  $f_{t28}$  = tahmini 28 günlük dayanım,  $f_{28}$  = gerçek 28 günlük dayanım

Numune NO	Döküm Tarihi	f 7 MPa	F t 28 MPa	4 - [Hedef Dayanım] MPa	5 'in Kümülatif Toplamı	Ardışık Farklar	6 - [Hedef Fark] MPa	8 'in Kümülatif Toplamı	F 28 MPa	[10] - [4] MPa	11 'in Kümülatif Toplamı
-----------	--------------	---------	------------	-------------------------	-------------------------	-----------------	----------------------	-------------------------	----------	----------------	--------------------------

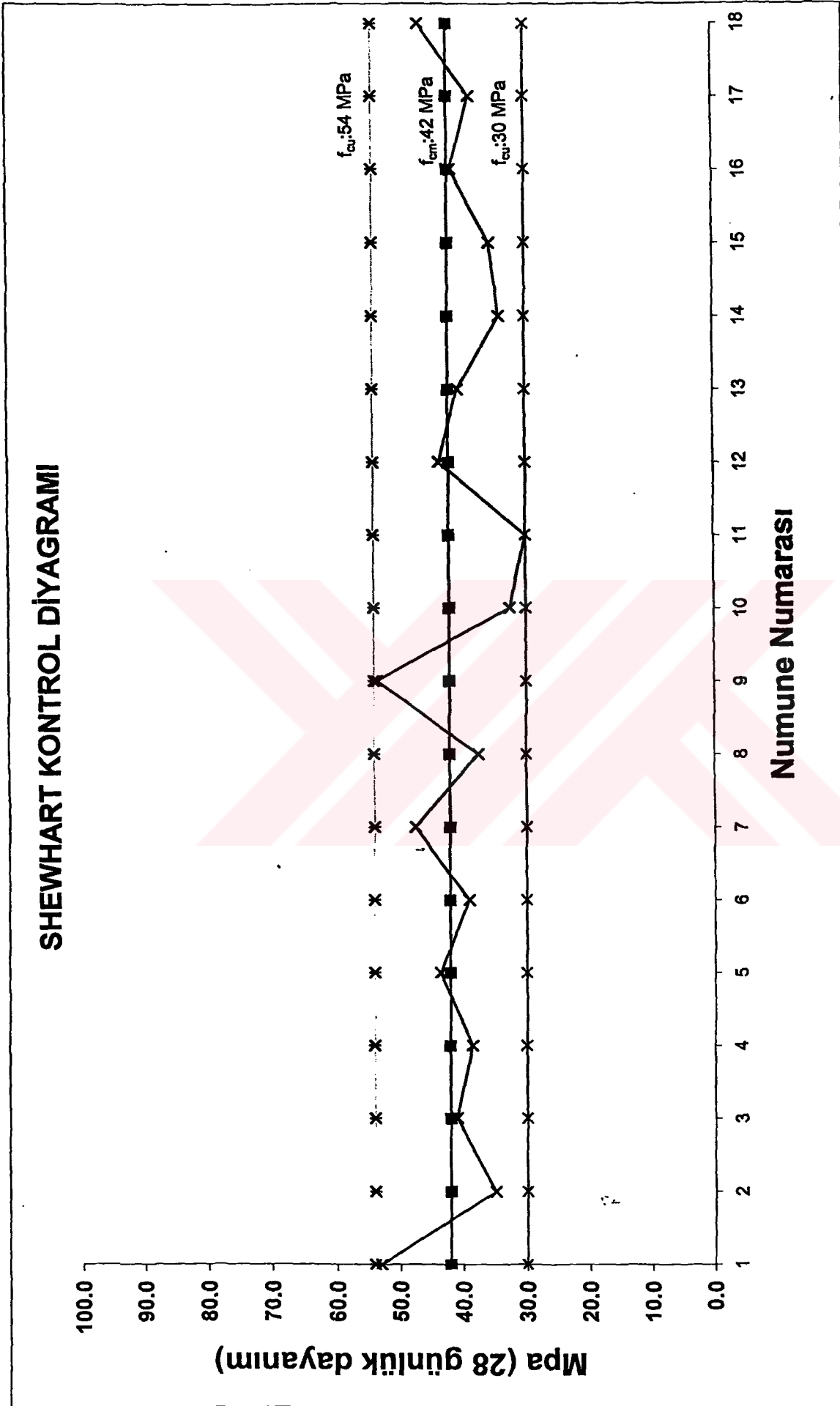
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

**Çimento dozajı 15 kg/m<sup>3</sup> arttırılmıştır !!**

27	Mar.12	24,5	33,5	-8,5	-8,5	1,5	-5,5	-25,0			
28	Mar.12	38,5	49,0	7,0	-1,5	15,5	8,5	-16,5			
29	Mar.13	37,5	48,0	6,0	4,5	1,0	-6,0	-22,5			
30	Mar.13	30,0	39,5	-2,5	2,0	8,5	1,5	-21,0			
31	Mar.15	26,0	35,0	-7,0	-5,0	4,5	-2,5	-23,5			
32	Mar.17	39,5	50,0	8,0	3,0	15,0	8,0	-15,5			
33	Mar.18	39,0	49,5	7,5	10,5	0,5	-6,5	-22,0			
34	Mar.19	38,0	48,5	6,5	17,0	1,0	-6,0	-28,0			
35	Mar.19	32,0	42,0	0,0	17,0	6,5	-0,5	-28,5			
36	Mar.22	27,5	36,5	-5,5	11,5	5,5	-1,5	-30,0			
37	Mar.23	32,0	42,0	0,0	11,5	5,5	-1,5	-31,5			
38	Mar.24	32,0	42,0	0,0	11,5	0,0	-7,0	-38,5			
39	Mar.24	33,0	43,0	1,0	12,5	1,0	-6,0	-44,5			
40	Mar.25	33,5	43,5	1,5	14,0	0,5	-6,5	-51,0			
41	Mar.26	37,5	48,0(45,0)	6,0	20,0	4,5	-2,5	-53,5			

**Çimento dozajı 20 kg/m<sup>3</sup> azaltılmıştır, yeni standart sapma 4.5 MPa yeni hedef dayanım 39 MPa !!**

42	Mar.29	31,5	41,0	2,0	22,0	4,0	-1,0	-1,0			
----	--------	------	------	-----	------	-----	------	------	--	--	--



Şekil 3.27 Shewhart kontrol diyagramı (Dewar, 1992 verileri ile)

#### 4. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI ve SONUÇ

Cusum metodun temel özelliği grafiğe işlenen her noktanın hem kendisi hem de daha önceki noktalar hakkında bilgi içermesi ve “ hedef “ ten sapmaların ne zaman istatistiksel olarak “ önemli “ olduğuna işaret edebilmesidir. Bunun sonucu olarak kalite kontrol sürecinde, Cusum kalite kontrol yönteminin kullanılması, oluşabilecek hataların çok daha önceden belirlenebilmesini sağlar. Her ne kadar Shewhart yöntemine kıyasla veri toplaması ve değerlendirmesi karmaşık gibi gözüksede Cusum yöntemi hatayı erken haber verebilmesi dolayısı ile maliyetleride azaltmaktadır. Ayrıca Cusum yöntemi oluşan hatanın zamanı ve büyüklüğü hakkında da fikir vermektedir. Bu nedenle Cusum’un tercih edilmesi ve kullanımını yaygınlaşması etkin kalite kontrolü için gereklidir. Aşağıda Cusum yönteminin Shewhart yöntemiyle karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan noktalar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Kümülatif toplamlar yöntemi beton üretiminde rastlanılan büyüklükte hedeften sapmaları (  $0.5 \sigma - 2.0 \sigma$  ) teşhis etmekte Shewhart diyagramlarından daha duyarlıdır, daha az sonuca bakılarak güvenilir kararlar alınabilir.
- Sonuçlardaki trend, diyagramın eğiminden kolayca görülebilmektedir. Shewart grafiklerinde bunu görmek daha zordur.
- CUSUM da eğimdeki değişiklik dayanımda ne zaman bir değişiklik başladığını yaklaşık olarak gösterir. Ortalamadaki değişikliğin sebebine yönelik inceleme o tarihlerdeki malzeme veya üretim yöntemleri üzerinde yoğunlaştırılabilir.
- Grafiğin eğiminden değişikliğin büyüklüğünü kestirmek mümkündür. Eğimi bilmek negibi bir müdahale gerektiği sorusuna ışık tutacaktır.

##### Avantajları:

- Hassas kalite kontrolü
- Trendler kolayca görülebilir.
- Değişimin büyüklüğü ve ne zaman başladığı tespit edilebilir.

Kümülatif toplamlar yönteminin bazı dezavantajları şunlardır;

- Hedefden sapmalar iki standart sapmadan daha büyük ise CUSUM yöntemi Shewart diyagramlarından daha az hassastır. Ancak bu dezavantaj beton üretimi konusunda pek geçerli değildir.
- Veri hazırlama işlemleri daha zordur.
- Shewart diyagramlarını geriye dönük olarak inceleyip bazı değişim modları tespit etmek, buradan değişimin sebeplerine geçmek mümkündür. Kümülatif toplamlarla bu yapılamamaktadır.

**Dezavantajları:**

- Büyük sapmalar için az hassas
- Veri hazırlığı daha zor
- Değişimin modları görülemez.

**KAYNAKLAR**

- Akman, M.S., (1990), Yapı Malzemeleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Alper, H., Arıoğlu, E. ve Obday, O., (1993), Beton Kalite Kontrolünde Kümülatif Toplamlar Yöntemi, Yapı Merkezi AR-GE Bölümü, İstanbul
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, Ü., (1982-1985), "Beton Üretiminde Nitelik Denetimi ve Bir Öneri Yönetmelik", Boğaziçi Üniversitesi Dergisi, 10-11-12-13
- Chung, H.W., (1993), "Control of Concrete Quality Thourgh Statistics", Concrete International, Design and Construction, 15(5)
- Day, K.W., (1995), Concrete Mix Design, Quality Control and Specification, Chapman&Hall, İngiltere
- Dewar, J.D., (1992), Manual of Ready Mixed Concrete, Chapman&Hall, İngiltere
- Gebler, S.H., (1990), "Interpretation of Quality Control Charts for Concrete Production", ACI Materials Journal, 87(4)
- Montgomery, D.C., (1991), Statistical Quality Control, Jonh Wiley and Sons, Inc, Newyork
- Neville, A.M., (1995), Properties of Concrete, Longman Gourp Ltd., İngiltere
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., (1999), Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul
- Özturan, T., (1998), Betonda İstatistik Kalite Kontrolü, Seminer Notları, İstanbul
- Postacıoğlu, B., (1986), Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton Cilt 1-2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul
- Serarslan, M.N., (1998), İstatistiksel Süreç Kontrolü, MESS Vakfı, İstanbul
- Wetherill, G.B. ve Brown, D.W., (1991), Statistical Process Control, Chapman&Hall, Londra
- 2000'e Doğru Türkiye'de Hazır Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, 1999
- TS 500 / Revizyon, "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", 1998
- TS 11222, "Beton – Hazır Beton", Şubat 1994
- Çimentoların Cinslerine Göre Dağılımı, TÇMB Yayını, 1998

## EKLER

**Ek – 1 Sayısal örnek çözümü**  
**NUH Beton A.Ş. verileri ile sayısal örnek 1999**

ışlangıç parametreleri:

arakteristik Dayanım = 250 kg/cm<sup>2</sup> (BS20)

edef Ortalama Dayanım = 280 kg/cm<sup>2</sup>

$= 280 + 0.74 \times 23.44 = 297.35 \text{ kg/cm}^2$

$= 280 - 0.74 \times 23.44 = 262.60 \text{ kg/cm}^2$

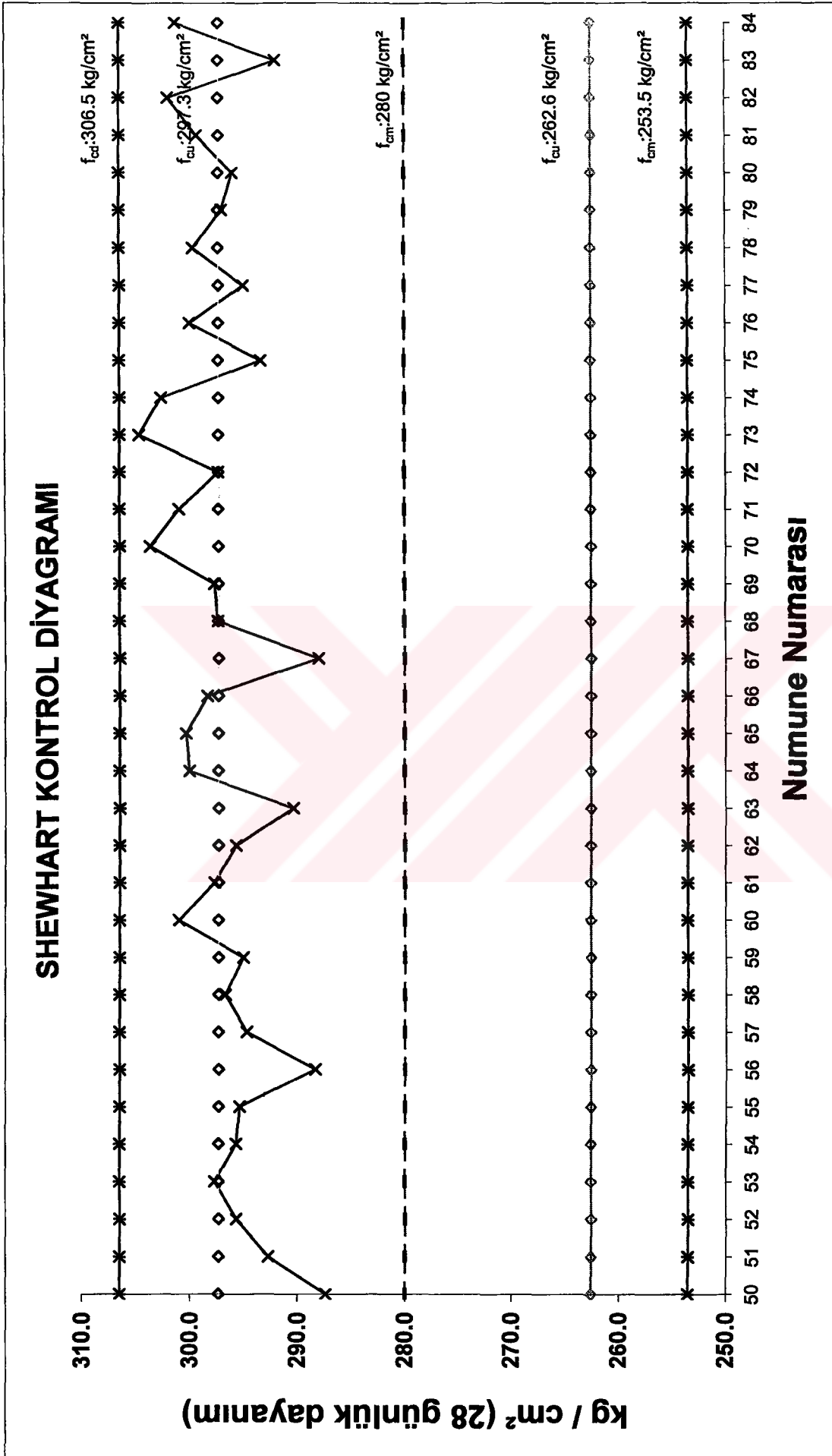
$f_{cd} = 280 + 1.13 \times 23.44 = 306.50 \text{ kg/cm}^2$

$f_{cd} = 280 - 1.13 \times 23.44 = 253.50 \text{ kg/cm}^2$

sigma: 23.44 kg/cm<sup>2</sup>

R hedef : 1.128 x 23.44 : 26.44 kg/cm<sup>2</sup>

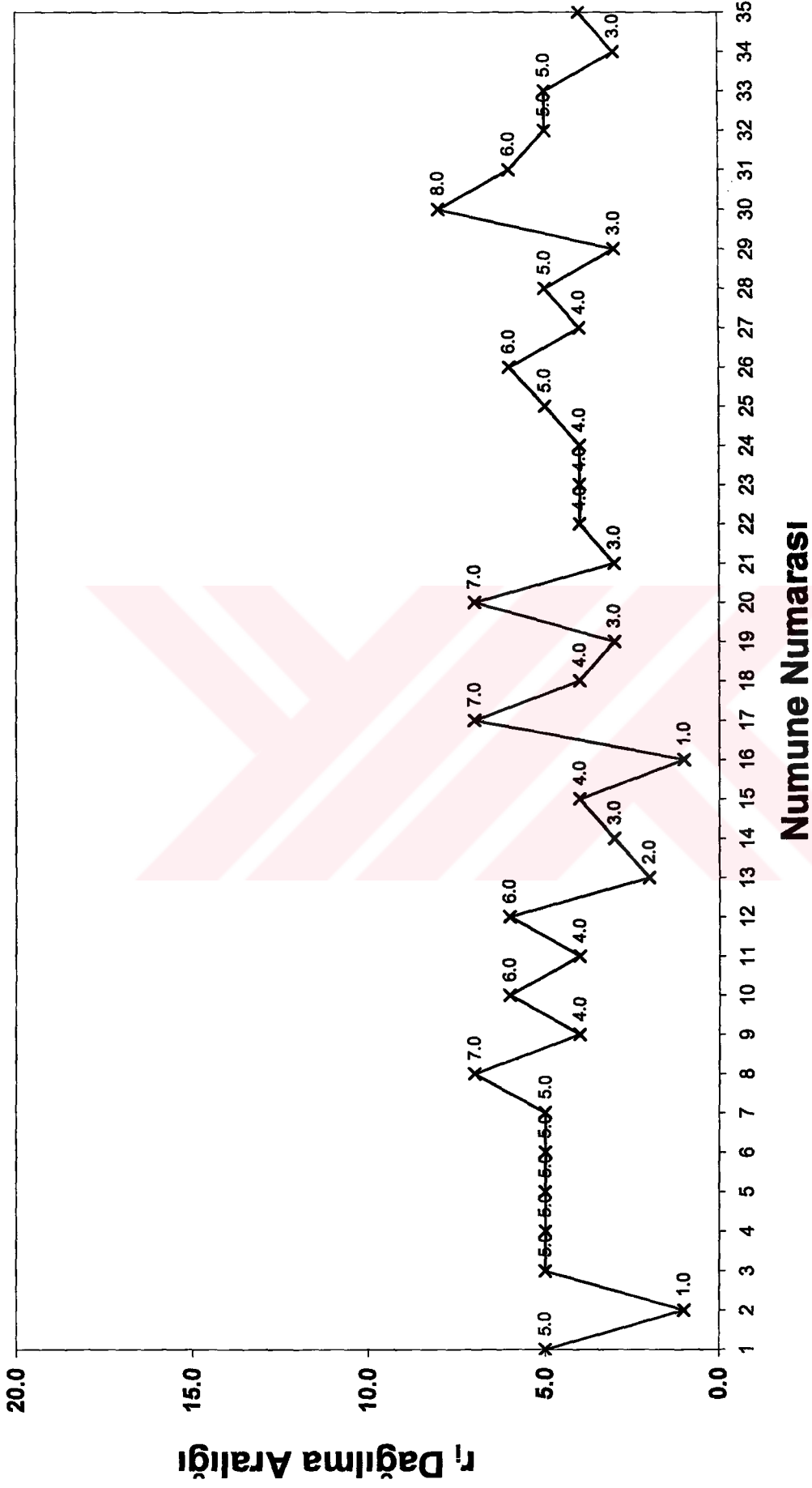
İmune NO	Kırılma Tarihi	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>ort</sub>	Dağılıma Aralığı (r <sub>i</sub> )	Ardışık Farklar (R <sub>i</sub> )	X <sub>ort</sub> - Hedef Dayanım	8'in Kümülatif Toplamı	R <sub>1</sub> - R <sub>hedef</sub>	10'un Kümülatif Toplamı
1	2	3	4	5	6	6a	7	8	9	10	11
50	26-Ağu	290.0	287.0	285.0	287.3	5.0	-	7.3	7.3	-	
51	31-Ağu	293.0	292.0	293.0	292.7	1.0	5.3	12.7	20.0	-21.1	-21.1
52	1-Eyl	293.0	298.0	296.0	295.7	5.0	3.0	15.7	35.7	-23.4	-44.5
53	2-Eyl	300.0	298.0	295.0	297.7	5.0	2.0	17.7	53.3	-24.4	-69.0
54	3-Eyl	296.0	293.0	298.0	295.7	5.0	2.0	15.7	69.0	-24.4	-93.4
55	6-Eyl	295.0	298.0	293.0	295.3	5.0	0.3	15.3	84.3	-26.1	-119.5
56	8-Eyl	288.0	291.0	286.0	288.3	5.0	7.0	8.3	92.7	-19.4	-139.0
57	13-Eyl	295.0	298.0	291.0	294.7	7.0	6.3	14.7	107.3	-20.1	-159.1
58	21-Eyl	295.0	299.0	296.0	296.7	4.0	2.0	16.7	124.0	-24.4	-183.5
59	21-Eyl	292.0	295.0	298.0	295.0	6.0	1.7	15.0	139.0	-24.8	-208.3
60	23-Eyl	301.0	299.0	303.0	301.0	4.0	6.0	21.0	160.0	-20.4	-228.7
61	23-Eyl	297.0	295.0	301.0	297.7	6.0	3.3	17.7	177.7	-23.1	-251.8
62	1-Eki	295.0	295.0	297.0	295.7	2.0	2.0	15.7	193.3	-24.4	-276.3
63	8-Eki	289.0	290.0	292.0	290.3	3.0	5.3	10.3	203.7	-21.1	-297.4
64	16-Eki	300.0	302.0	298.0	300.0	4.0	9.7	20.0	223.7	-16.8	-314.2
65	19-Eki	300.0	300.0	301.0	300.3	1.0	0.3	20.3	244.0	-26.1	-340.3
66	23-Eki	295.0	298.0	302.0	298.3	7.0	2.0	18.3	262.3	-24.4	-364.7
67	28-Eki	288.0	290.0	286.0	288.0	4.0	10.3	8.0	270.3	-16.1	-380.8
68	28-Ara	297.0	299.0	296.0	297.3	3.0	9.3	17.3	287.7	-17.1	-397.9
69	6-Oca	298.0	294.0	301.0	297.7	7.0	0.3	17.7	305.3	-26.1	-424.0
70	11-Oca	304.0	305.0	302.0	303.7	3.0	6.0	23.7	329.0	-20.4	-444.5
71	11-Oca	299.0	301.0	303.0	301.0	4.0	2.7	21.0	350.0	-23.8	-468.2
72	12-Oca	295.0	298.0	299.0	297.3	4.0	3.7	17.3	367.3	-22.8	-491.0
73	13-Oca	303.0	304.0	307.0	304.7	4.0	7.3	24.7	392.0	-19.1	-510.1
74	14-Oca	300.0	303.0	305.0	302.7	5.0	2.0	22.7	414.7	-24.4	-534.6
75	15-Oca	290.0	294.0	296.0	293.3	6.0	9.3	13.3	428.0	-17.1	-551.7
76	17-Oca	298.0	300.0	302.0	300.0	4.0	6.7	20.0	448.0	-19.8	-571.4
77	18-Oca	294.0	298.0	293.0	295.0	5.0	5.0	15.0	463.0	-21.4	-592.9
78	24-Oca	298.0	300.0	301.0	299.7	3.0	4.7	19.7	482.7	-21.8	-614.7
79	26-Oca	297.0	293.0	301.0	297.0	8.0	2.7	17.0	499.7	-23.8	-638.4
80	27-Oca	296.0	293.0	299.0	296.0	6.0	1.0	16.0	515.7	-25.4	-663.9
81	28-Oca	297.0	302.0	299.0	299.3	5.0	3.3	19.3	535.0	-23.1	-687.0
82	3-Şub	300.0	301.0	305.0	302.0	5.0	2.7	22.0	557.0	-23.8	-710.7
83	9-Şub	290.0	293.0	293.0	292.0	3.0	10.0	12.0	569.0	-16.4	-727.2
84	10-Şub	302.0	303.0	299.0	301.3	4.0	9.3	21.3	590.3	-17.1	-744.3



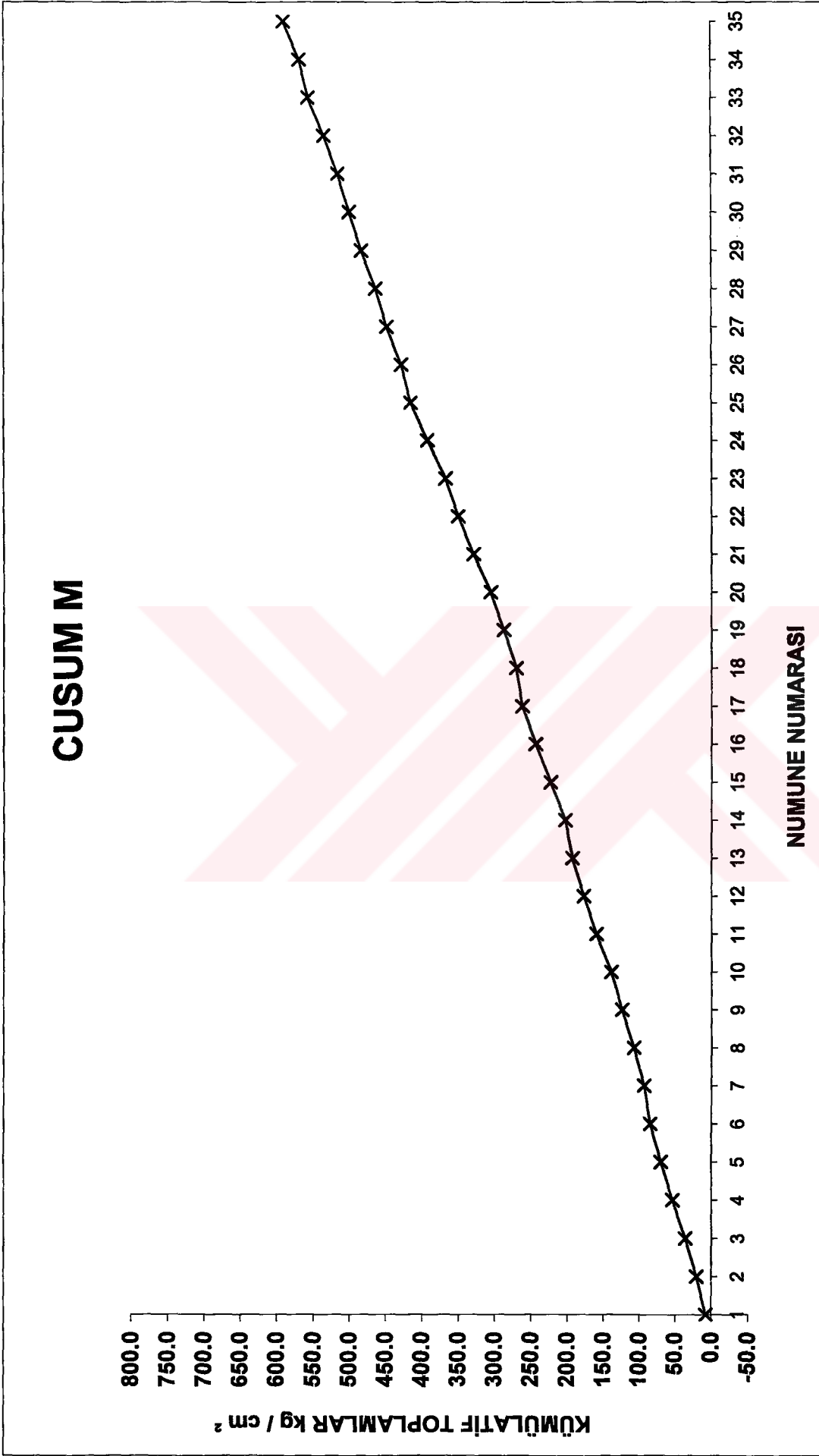
sigma:23,44

NUH BETON VERİLERİ İLE

## SHEWHART KONTROL DİYAGRAMI



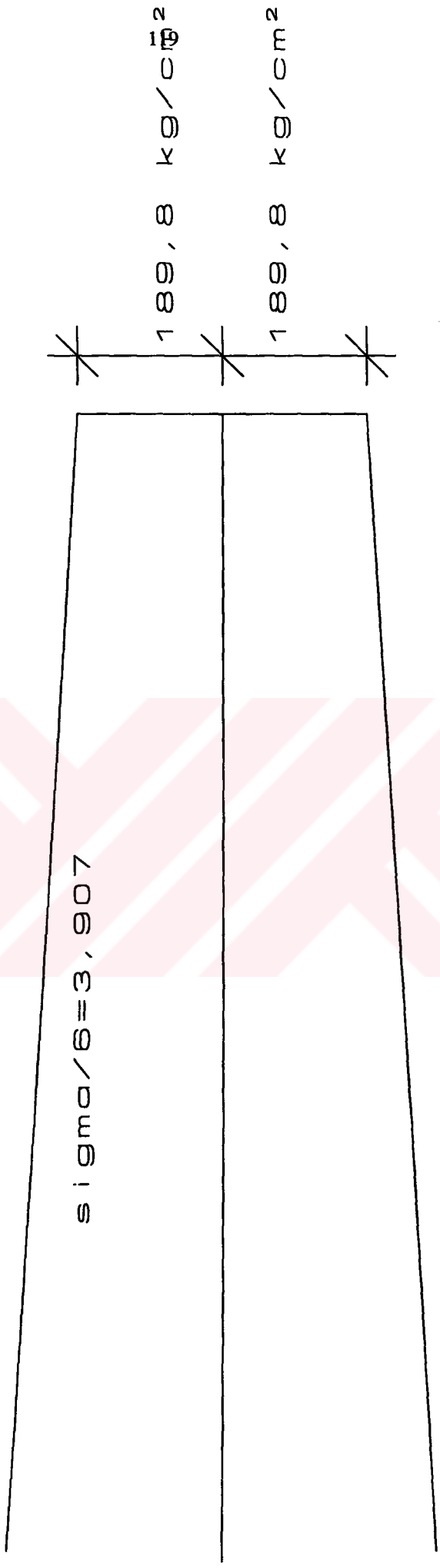
NUH BETON VERİLERİ İLE



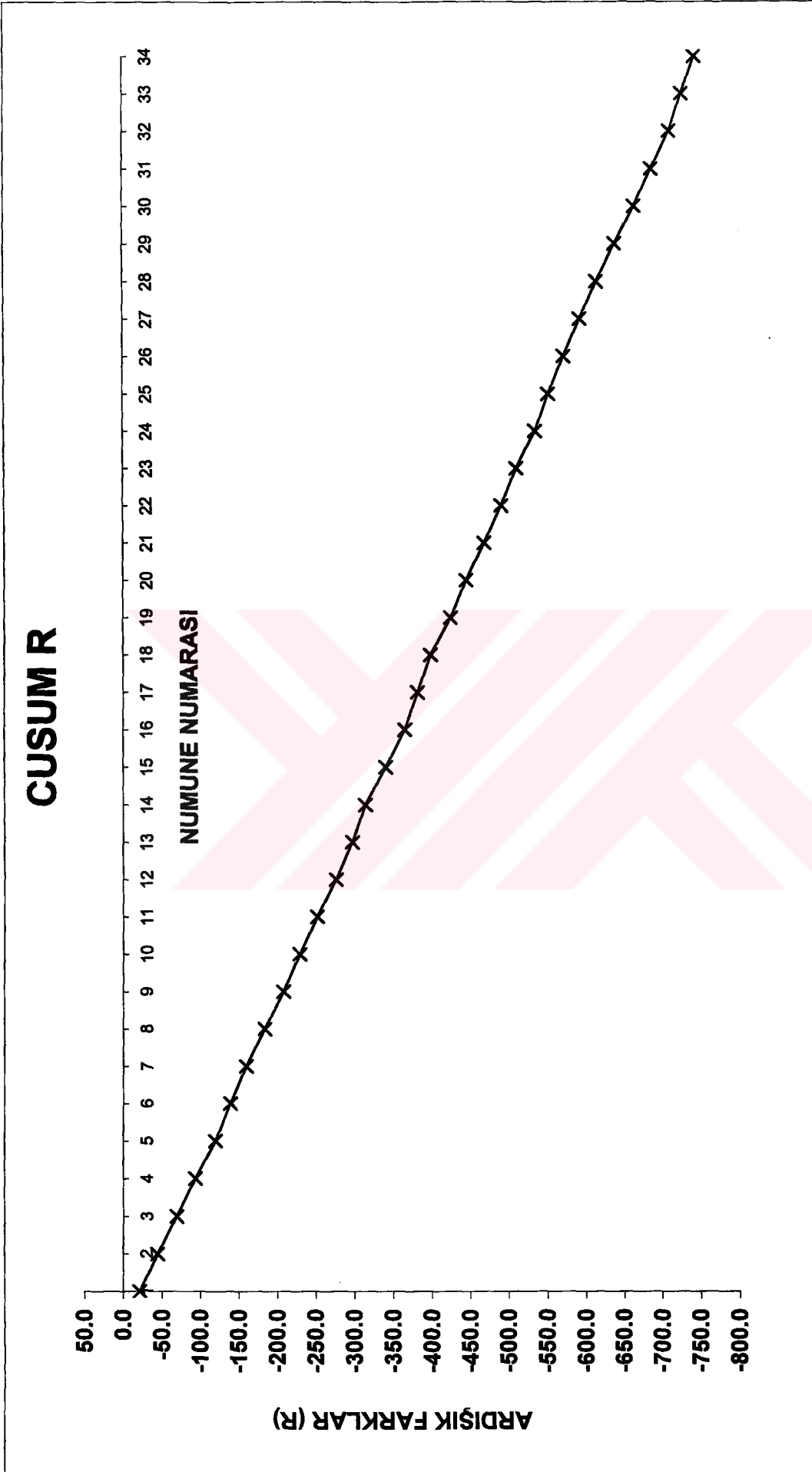
NUH BETON VERİLERİ İLE

sigma: 23,44

CUSUM "M" ICIN



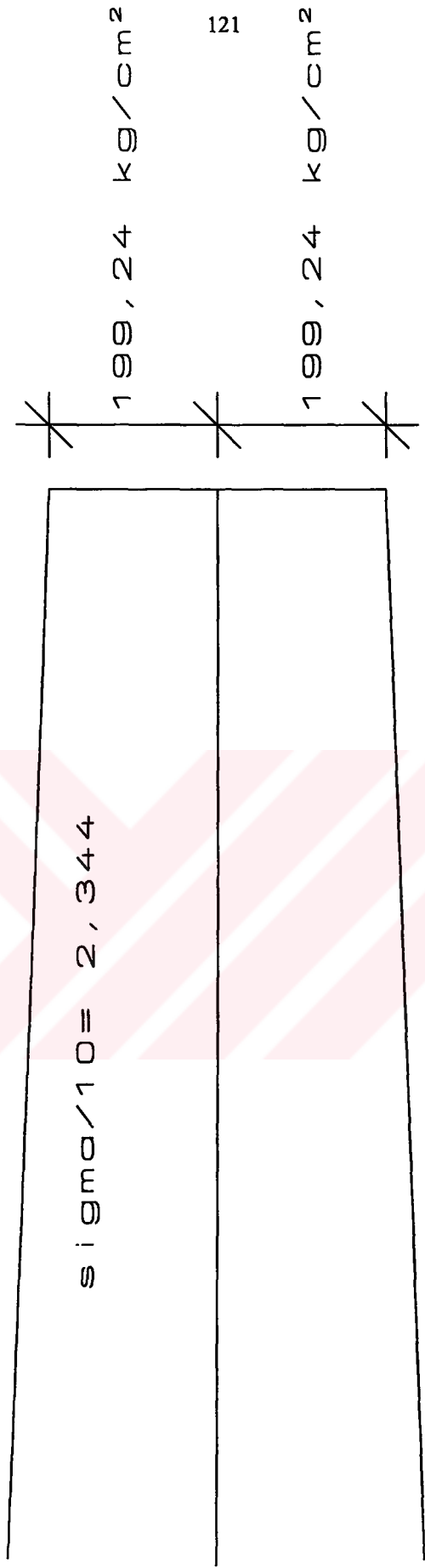
KÜMÜLATİF TOPLAMLAR "V" MASKESİ



NUH BETON VERİLERİ İLE

sigma:23,44

CUSUM "R" İCİN



KÜMÜLATİF TOPLAMLAR "V" MASKESİ

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	25. 11. 1971	
Doğum yeri	Lüleburgaz	
Lise	1982-1989	Özel Üsküdar Amerikan Kız Lisesi
Lisans	1989-1993	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek lisans	1998-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı Yapı Programı