

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

**SAYISAL ARAZİ MODELLERİ İLE HACİM HESAPLARINDA
FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN VE
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

FIRAT EKİNCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. METİN SOYCAN**

İSTANBUL, 2011

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

**SAYISAL ARAZİ MODELLERİ İLE HACİM HESAPLARINDA
FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN VE
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

FIRAT EKİNCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. METİN SOYCAN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAYISAL ARAZİ MODELLERİ İLE HACİM HESAPLARINDA
FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN VE
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Fırat EKİNCİ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.03.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Metin SOYCAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Metin SOYCAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halil ERKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışmada, mesleğimiz gereği çoğu zaman karşı karşıya geldiğimiz arazi modelleme ve buna bağlı olarak kullandığımız enterpolasyon yöntemlerine değinilmiştir. Ayrıca, harita mühendislerinin sıkça hesaplamak durumunda kaldığı hacim hesaplarının farklı yöntemler ve parametreler ile yapılması, farklı etkenlerin hacim hesabına etkisini açıklamakta yardımcı olmuştur.

Yapmış olduğum bu çalışma sırasında bilgi ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan saygı değer hocam Doç. Dr. Metin SOYCAN'a, Arş. Gör. Kutalmış GÜMÜŞ'e, yardımları için İnş. Müh. Halil İbrahim AYIŞ'a, Harita Müh. Ayşe YURTSEVEN'e, İBB Kesin Hesap Müdürü, Sn. Ebubekir ÖZBEY'e ve mesai arkadaşlarıma, desteklerini her zaman hissettiğim ailem ve sevgili arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunmak isterim.

Mart, 2011

Fırat EKİNCİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	Vİİ
KISALTMA LİSTESİ	Vİİİ
ŞEKİL LİSTESİ.....	İX
ÇİZELGE LİSTESİ	Xİ
ÖZET	Xİİ
ABSTRACT.....	Xİİİ
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez.....	1
BÖLÜM 2	
KAMU KURULUŞLARINDA YAKLAŞIK MALİYETE KONU OLAN HACİM HESAPLARI	2
2.1 Hacim Hesaplama Yöntemleri.....	3
2.1.1 Eş Yükselti Eğrilerinden Hacim Hesabı	4
2.1.1.1 Ortalama Alanlar Yöntemi.....	4
2.1.1.2 Uç Alanlar Yöntemi	5
2.1.1.3 Prizmatik Yöntem	5
2.2 Paralel Kesitler Yöntemi ile Hacim Hesabı	6
2.3 Düzenli Dağılmış Dayanak Noktaları ile Hacim Hesabı	6
2.4 Rastgele Dağılmış Dayanak Noktaları ile Hacim Hesabı	7
BÖLÜM 3	
SAYISAL ARAZİ MODELİ KONSEPTİ İLE HACİM HESABI	8

3.1	Sayısal Arazi Modeli Nedir?.....	8
3.2	Sayısal Arazi Yükseklik Modeli (SAYM), Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) Kavramları.....	10
3.3	Veri Elde Etme Yöntemleri	12
3.4	Sayısal Arazi Modeli (SAM) Veri Yapısı.....	15
3.4.1	Grid Veri	16
3.4.1.1	Grid Veride Uygun Grid Aralığının Seçilmesi	16
3.4.1	Üçgen Veri	18
3.5	Yüzey Kestirimi İçin Uygun Fonksiyonun Seçilmesi	20
3.6	Yüzey Geçirme	21
BÖLÜM 4		
SAM İÇİNDE KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ.....		23
4.1	Kriging (Geo İstatistiksel Yöntem).....	24
4.2	Inverse Distance to a Power (Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon)	27
4.3	Triangulation With Linear Interpolation (Linear Enterpolasyonla Üçgenleme).....	28
4.3.1	Delaunay Üçgenleme Yöntemi ve Voronoi Diyagramı.....	28
4.3.1.1	Delaunay Üçgenlemesinin Özellikleri	29
4.3.1.2	Delaunay Üçgenlemesinde Kullanılan Kriterler	29
4.3.1.3	Delaunay Üçgenlemesinde Karşılaşılan Sorunlar	30
BÖLÜM 5		
UYGULAMA		32
5.1	A Tipi Arazi için SYM Oluşturulması ve Hacim Hesabının Yapılması	35
5.2	B Tipi Arazi için SYM Oluşturulması ve Hacim Hesabının Yapılması	42
5.3	C Tipi Arazi için SYM Oluşturulması ve Hacim Hesabının Yapılması	49
5.4	D Tipi Arazi için SYM Oluşturulması ve Hacim Hesabının Yapılması	56
5.5	İstanbul Kongre Merkezi İnşaatı Kazı Hesabı	67
SONUÇLAR.....		73
KAYNAKLAR		76
EK-A		
A TİPİ ARAZİDE FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELER İLE HACİM HESABI.....		78
EK-B		
B TİPİ ARAZİDE FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELER İLE HACİM HESABI.....		89
EK-C		
C TİPİ ARAZİDE FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELER İLE HACİM HESABI.....		94

EK-D

D TİPİ ARAZİDE FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELER İLE HACİM HESABI.....	98
ÖZGEÇMİŞ	102

SİMGE LİSTESİ

Δ	Delta
ζ	Sigma
Σ	Toplam
F	Alan
n	Nokta sayısı
h	Yükseklik
v	Hacim
N	Aranan yükseklik değeri
P	Ağırlık Faktörü

KISALTMA LİSTESİ

<i>SAYM</i>	Sayısal Arazi Yükseklik Modeli
<i>SAM</i>	Sayısal Arazi Modeli
<i>SYM</i>	Sayısal Yükseklik Modeli
<i>GPS</i>	Global Positioning System
<i>TIN</i>	Triangular Irregular Network
<i>BLUP</i>	Best Linear Unbiased Predictor
<i>BLUE</i>	Best Linear Unbiased Estimator

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Eş yükselti eğrilerinden hacim hesabı [1].....	4
Şekil 3. 1 Sayısal arazi modeli oluşturmadaki sıralama	9
Şekil 3. 2 Üzerinde sonsuz nokta bulunan herhangi bir kara parçası	9
Şekil 3. 3 Bazı referans noktaları ile modellenmek istenen kara parçası	10
Şekil 3. 4 Topoğrafya gösterim çeşitleri	15
Şekil 3. 5 Kullanılan bazı grid yapıları	18
Şekil 3. 6 Üçgen veri yapısı	20
Şekil 4. 1 Kriging (geo istatistiksel) yöntemi ile oluşturulan SYM.....	27
Şekil 4. 2 Mesafenin tersine göre enterpolasyon ile oluşturulan SYM	28
Şekil 4. 3 Voronoi diyagramı.....	29
Şekil 4. 4 Delaunay üçgenlemesi	29
Şekil 4. 5 Dışbükey dörtgen, altı iç açı ve alternatif köşegen.....	30
Şekil 4. 6 Lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemiyle oluşturulan SYM	31
Şekil 5. 1 Kriging yöntemiyle SYM oluşturulan A tipi arazi	33
Şekil 5. 2 Kriging yöntemiyle SYM oluşturulan B tipi arazi	33
Şekil 5. 3 Kriging yöntemiyle SYM oluşturulan C tipi arazi	34
Şekil 5. 4 Kriging yöntemiyle SYM oluşturulan D tipi arazi	34
Şekil 5. 5 5 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	36
Şekil 5. 6 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	37
Şekil 5. 7 10 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	38
Şekil 5. 8 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	39
Şekil 5. 9 20 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	40
Şekil 5. 10 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	41
Şekil 5. 11 Kriging yöntemi ile B tipi arazisi için oluşturulan SYM.....	42
Şekil 5. 12 4.35 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	43
Şekil 5. 13 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	44
Şekil 5. 14 8.33 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	45
Şekil 5. 15 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	46
Şekil 5. 16 16.67 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	47
Şekil 5. 17 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	48
Şekil 5. 18 Kriging yöntemi oluşturulan C tipi arazisine ait SYM.....	49
Şekil 5. 19 4.55 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	50
Şekil 5. 20 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	51
Şekil 5. 21 9.09 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	52
Şekil 5. 22 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	53

Şekil 5. 23	16.67 m ² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	54
Şekil 5. 24	Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi	55
Şekil 5. 25	Kriging yöntemi ile D tipi arazi için oluşturulan SYM	56
Şekil 5. 26	4.66 m ² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	57
Şekil 5. 27	Grid aralığına bağlı hacim değişimleri	58
Şekil 5. 28	9.09 m ² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	59
Şekil 5. 29	Grid aralığına bağlı hacim değişimleri	60
Şekil 5. 30	20 m ² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri	61
Şekil 5. 31	Grid aralığına bağlı hacim değişimleri	62
Şekil 5. 32	İstanbul kongre merkezine ait genel görünüm	67
Şekil 5. 33	İstanbul kongre merkezine ait plan.....	67
Şekil 5. 34	Yapılan kazı çalışmasına ait fotoğraflar	68
Şekil 5. 35	Surfer 9.0' da kriging yöntemi ile oluşturulan üst, orta ve alt yüzeyler	69
Şekil 5. 36	NetCAD 5.0'da hazırlanan kesit planı ve tip kesit görünümü.....	69

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 Sayısal arazi modeli için veri toplama yöntemleri	13
Çizelge 3. 2 Veri toplama yöntemleri, doğruluk, kullanım alanları ve uygulamalar	15
Çizelge 5. 1 Uygulamada kullanılan arazi tipleri ve özellikleri	32
Çizelge 5. 2 Nokta yoğunluğu 5 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	37
Çizelge 5. 3 Nokta yoğunluğu 10 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	39
Çizelge 5. 4 Nokta yoğunluğu 20 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	41
Çizelge 5. 5 Nokta yoğunluğu 4.35 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	44
Çizelge 5. 6 Nokta yoğunluğu 8.33 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	46
Çizelge 5. 7 Nokta yoğunluğu 16.67 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	48
Çizelge 5. 8 Nokta yoğunluğu 4.55 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	51
Çizelge 5. 9 Nokta yoğunluğu 9.09 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	53
Çizelge 5. 10 Nokta yoğunluğu 16.67 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	55
Çizelge 5. 11 Nokta yoğunluğu 4.66 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	58
Çizelge 5. 12 Nokta yoğunluğu 9.09 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	60
Çizelge 5. 13 Nokta yoğunluğu 20 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı	62
Çizelge 5. 14 A tipi arazide farklı enterpolasyon yöntemlerine göre hacim değişimleri	63
Çizelge 5. 15 B tipi arazide farklı grid aralıklarındaki hacim değişimleri	64
Çizelge 5. 16 C tipi arazide farklı nokta yoğunluklarındaki hacim değişimleri	65
Çizelge 5. 17 D tipi arazide kurallar ortalamasına göre dolgu ve kazı hacim değişimleri	66
Çizelge 5. 18 Üst ile alt yüzeyler arasındaki kazı hacmi	70
Çizelge 5. 19 Farklı yüzeyler arasındaki kazı hacmi	70
Çizelge 5. 20 NetCAD programı ile elde edilen kazı hacmi	71
Çizelge 5. 21 Farklı yazılım programlarında elde edilen kazı hacimleri ve maliyet hesabı	72
Çizelge 5. 22 Kazı değerlerinin maliyet açısından farkları	72

ÖZET

SAYISAL ARAZİ MODELLERİ İLE HACİM HESAPLARINDA FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN VE PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Fırat EKİNCİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Metin SOYCAN

Hızla gelişen teknoloji, bize mühendislik çalışmalarında birçok hesap kolaylığı sağlamaktadır. Günümüzde, özellikle büyük şehirlerde yapılan çalışmalara bakıldığında, inşaat çalışmalarının hızla arttığını ve büyüdüğünü görebilmek mümkündür. Bu çalışmalar ülkemizde özel sektörler ya da kamu kuruluşları tarafından yapılır. Çalışmalar öncesinde yapılacak olan inşaat yapılarının yaklaşık maliyeti mutlaka hesaplanmalıdır. Harita mühendislerini bu çalışmalarda en çok ilgilendiren konulardan biri kazı hesabıdır. Yapılacak olan inşaat çalışmasından önce, mühendisler tarafından kazı hesabının ve yaklaşık maliyetin belirlenmesi gerekir. Kazı hesabının yapılabilmesi için, günümüz teknolojisinde bir çok veri elde etme imkanı olup, inşaat alanını sayısal ortamda görüntülemek mümkündür. Bu noktada sayısal arazi modelinin önemi büyüktür. Ayrıca arazinin modellenebilmesi için bir çok matematiksel yöntem ve bir çok enterpolasyon yöntemi mevcuttur. Bunun yanında hesaba katılması gereken bir çok parametre mevcuttur. Bir çalışma öncesinde uygun yöntemler ile verilerin elde edilmesinden sonra, uygun matematiksel yöntemler ve enterpolasyon yöntemleri kullanılarak, yaklaşık maliyet hesabı gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanabilir.

Anahtar Kelimeler: Sayısal arazi modeli, enterpolasyon, hacim hesabı

ABSTRACT

ANALYSING OF VOLUME CALCULATION WITH DIFFERENT INTERPOLATION METHODS AND PARAMETERS ON DIGITAL TERRAIN MODELS

Firat EKİNCİ

Department of Geomatics Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Metin SOYCAN

The developing technology which is changing rapidly provides us easy calculation in engineering science. At the present day, it is possible to realize that the construction activities are increasing very fast. In our country building activities are becoming more important day by day and this industry is under control of private sector and public institutions. The construction's approximate count is needed to be calculated before the work begins. In this work of progress geomatics engineers are mostly interested in excavation account. Before construction work begins, approximate count and the excavation account should been identified by the engineers. To prepare the excavation account, with today's technology it is possible to get lots of information that are needed and is possible to display the construction site on a digital area. At this point digital terrain model's role is getting more important. Furthermore, there are existing parameters that are needed to take in to calculation. Before a work begins, the datas are carried out by the proper methods and after that by using the mathematical and interpolation methods, approximate count can be achieved as close as its substantiality.

Key words: Digital terrain model, enterpolation, volume calculation

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Sayısal arazi modelleri, bilgisayar ortamında arazi hakkında neredeyse tüm bilgileri bize sunmaktadır. Arazinin dijital ortamda modellenebilmesi için, geçmişten günümüze kadar bir çok veri toplama yöntemi, matematiksel kuramlar ve çeşitli enterpolasyon yöntemleri ortaya atılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Yapılan bu çalışmanın amacı, mühendislik hesaplarından biri olan hacim hesabının, farklı arazilerin sayısal arazi modelleri üzerinde, farklı enterpolasyon yöntemlerinin ve parametrelerin uygulanması sonucunda, kullanılabilirlik açısından uygun yöntemleri ve parametreleri belirlemektir.

1.3 Hipotez

Herhangi bir arazi için oluşturulan sayısal arazi modeli ve bu arazi üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda hesaplanacak olan kazı ya da dolgu hacim miktarları, kullanılan enterpolasyon yöntemlerine, ölçülen nokta sayısına, farklı matematiksel kurallara ve farklı grid aralıklarına göre farklı sonuçlar vermektedir.

BÖLÜM 2

KAMU KURULUŞLARINDA YAKLAŞIK MALİYETE KONU OLAN HACİM HESAPLARI

Bilindiği üzere belediyeler, bulundukları ilin veya ilçenin yaşam alanlarından sorumlu olup, bulundukları il veya ilçeler için faydalı işler yapmakla yükümlüdürler. Bu bağlamda belediyeler, mevcut yaşam alanlarını ve kamuya faydalı alanları korumanın yanı sıra, yeni yaşam alanları yapma, yeni yollar, kavşaklar, parklar, üst ve altgeçitler, köprüler ve bunlara benzer kamu yararını gözetecek işler yapmakla mükelleftir.

Belediyelerin yukarıda bahsedilen işleri gerçekleştirmesi ise ihale esaslarına göre yapılır. Yani belediyeler, kamu ihtiyacını saptayıp, bu ihtiyaçlar doğrultusunda projeler oluşturup bu projeleri yüklenici veya taşeron firmalara ihale yolu ile sunmaktadır. Yüklenici firmalar, bu işleri yapmak için yatırımcı kuruma yani belediyeye kendi hesapları sonucunda ortaya çıkan maliyeti sunar ve yatırımcı kurum olan belediyeler, en uygun maliyet ile bu işleri yaptırır. Burada en çok üzerinde durulması gereken konu, projenin doğruluğundan sonra, projenin maliyetidir. Bu noktada elbette ki belediyelerin kendi personelleri tarafından, yapılacak olan projelerin yaklaşık maliyetleri belirlenmektedir. Bir projenin mühendislik açısından önemi, minimum maliyet ve maksimum doğruluk olmalıdır.

Harita mühendislerinin günümüz inşaat sektöründe önemli maliyetleri ortaya çıkaran hacim hesaplarında aktif bir rolü vardır. Hacim hesapları sadece kazı veya hafriyat hesaplarından ibaret olmayıp, maliyeti topraktan çok daha değerli olan malzemelerin

hesaplanması açısından önemlidir. Bu hesaplar, bir binanın temel kazısını ele aldığı gibi, bir yolun tüm katmanlarını da ele almaktadır ve bu hesaplar bazı projelerin neredeyse tamamını kapsadığı için büyük önem arz etmektedir. Hacim hesaplarının yaklaşık miktarlarının hesaplanabilmesi için birçok yöntem ve bunlara paralel olarak birçok yazılım geliştirilmiştir. Belediyelerde ve bazı kamu kurumlarında yaklaşık maliyete konu olan hacim hesaplarının kullanıldığı bazı alanlar, şöyle sıralanabilir;

- Madencilikte Hacim Hesapları
- Baraj İnşaatı Yapımında Hacim Hesapları
- Yol, Köprü, Viyadük Yapımında Hacim Hesaplar.

Madencilikte Hacim Hesapları: Madencilik işletmelerinde hacim hesaplarının, önemli bir yere vardır. Maden işlerinde çıkartılacak cevherin açığa çıkarılması için yapılan kazı, yükleme, boşaltma, kesme, dökme ve araziye gevşetme gibi çalışmalara örtü kazısı veya dekapaj denir. Dekapaj kazılarının sürekli ölçülmesi sonucu hacimlerin hesaplanarak hakediş ücretlerinin hesaplanmasında hacim hesabının önemli bir yeri vardır. Kazı öncesi ve sonrası yapılacak iş miktarının hesaplanmasında, işletme sahasındaki rezerv miktarının hesaplanmasında ve imalat haritalarının çıkartılmasında hacim hesabından faydalanılır.

Baraj İnşaatı Yapımında Hacim Hesapları: Her zaman olduğu gibi günümüzde de enerji, kendi önemini korumaktadır. Bu nedenle ülkemizde bir çok sayıda ve çeşitte barajlar yapılmaktadır. Bu barajların yapımında önemli haritacılık çalışmaları vardır. Bu çalışmalardan, konumuzla ilgili olan hacim hesapları, barajların gövdesine gelecek dolgu miktarlarının, baraj inşaatı sırasında yapılması gereken taşımalar için inşa edilecek yolların kazı ve dolgularının belirlenmesi adına hem projede doğruluk, hem de maliyet açısından önemli yer tutar.

Yol, Köprü, Viyadük Yapımında Hacim Hesapları: Günümüzdeki en önemli ve en çok dikkat edilmesi gereken konulardan biri de ulaşım. Her geçen gün ülkemizde otoyolların, köprülerin, viyadüklerin, tünellerin yapılmasına daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Elbette ki bu gibi önemli işlerde önemli hafriyat hesapları yapılmalı ve uygun maliyette uygun inşaat tamamlanmalıdır.

2.1 Hacim Hesaplama Yöntemleri

Hacim, sayısal arazi modellerinden elde edilmesi beklenen sonuç ürünlerden biridir. Hacim problemleri eldeki veriye göre değişik şekiller alır. Verilerin elde edildiği kaynağa, dolayısıyla da veri düzenine göre farklı algoritmalar düşünülebilir. Veriler elde ediliş kaynağına bağlı olarak farklı yapılarda bulunurlar [1].

Hacim hesabında baz alınacak noktalar (dayanak noktaları), farklı konumlarda bulunabilirler. Dayanak noktalarının konumu şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Rastgele dağılmış
- Paralel kesitler boyunca yer almış
- Kare, dikdörtgen veya üçgenlerden oluşan düzenli bir grid ağı üzerinde

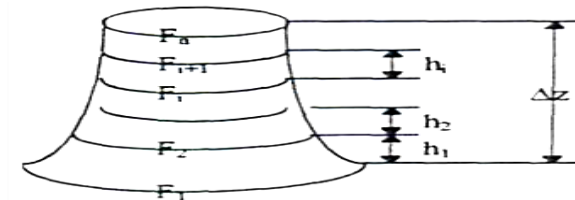
2.1.1 Eş Yükselti Eğrilerinden Hacim Hesabı

Eş yükselti eğrisi, aynı yükseklikte olan noktaların birleştirilmesiyle oluşur. Eş yükselti eğrileri arasındaki mesafe eşit olup, her eğri bir yükseklik değerini tanımlar. Eş yükselti eğrilerinden yararlanılarak hacim hesabı genellikle aşağıda sıralanan üç yöntemle yapılabilir. Bunlar, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

- Ortalama Alanlar Yöntemi
- Uç Alanlar Yöntemi
- Prizmatik Yöntem

2.1.1.1 Ortalama Alanlar Yöntemi

Bu yöntemde her yükseklik eğrisinin çevrelediği alan hesaplanır ve hesaplanan tüm alanların ortalaması alınarak ilk ve son alan arasındaki yükseklik farkı ile çarpılarak hacim bulunur. Bunu bir şekil üzerinde açıklayacak olursak;



Şekil 2. 1 Eş yükselti eğrilerinden hacim hesabı [1].

Şekil 2.1' de görünen n tane alanın ortalaması alınarak ortalama bir alan bulunur ve bulunan ortalama alan ilk ve son alan arasındaki yükseklik farkı ile çarpılarak hacim bulunmuş olunur. Yani ortalama hacim, (2.1) eşitliğinin kullanılmasıyla hesaplanır.

$$v = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{n} \cdot \Delta_z \quad (2.1)$$

2.1.1.2 Uç Alanlar Yöntemi

Şekil 2.1'deki F_i ile $F_{(i+1)}$ alanları arasında kalan hacim,

$$v_i = \frac{F_i + F_{(i+1)}}{2} \cdot h_i \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad (2.2)$$

formülü ile ifade edilebilir [2]. Ardışık eşyüksekti eğrileri arasındaki yükseklik farklarının genel olarak birbirine eşit olduğu ($h_1 = h_2 = \dots = h_{n-1} = h$) varsayımı ile F_1 ve F_n uç alanları arasındaki toplam v hacmi için (2.2)' den,

$$v = \frac{1}{2} h (F_1 + 2F_2 + 2F_3 + \dots + 2F_{n-1} + F_n) \quad (2.3)$$

denklemini elde edilir [1].

2.1.1.3 Prizmatik Yöntem

Bu yöntemde Simpson yöntemi ve Simpson 3/8 kuralı ele alınır.

Simpson Kuralı: Ardışık iki alan arasındaki şekil kesik prizma kabul edilirse, hacim Simpson formülü ile hesaplanabilir. F_{im} , F_i ile F_{i+1} alanları arasındaki orta kesitin alanını gösterdiğine göre F_i ile F_{i+1} alanları arasında kalan hacim, (2.4) eşitliği ile hesaplanır.

$$v_i = \frac{h_i}{6} (F_i + 4F_{im} + F_{i+1}) \quad (2.4)$$

Buradaki h_i , F_i ve F_{i+1} alanları arasındaki yükseklik farkıdır. Şekil 2,1' deki çift sayı indisli alanlar orta alan F_{im} olarak kabul edilirse, (2,4) eşitliğinden yararlanılarak,

toplam hacim şu şekilde ifade edilebilir;

$$v = \frac{h_1 + h_2}{6} (F_1 + 4F_2 + F_3) + \frac{h_3 + h_4}{6} (F_3 + 4F_4 + F_5) + \dots + \frac{h_{n-2} + h_{n-1}}{6} (F_{n-2} + 4F_{n-1} + F_n) \quad (2.5)$$

Eğriler arasındaki yükseklik farklarının birbirine eşit olduğu varsayımına göre (2.5)' den elde edilir.

$$v = \frac{h}{3} (F_1 + 4F_2 + 2F_3 + 4F_4 + 2F_5 + \dots + F_n) \quad (2.6)$$

F_{im} orta alanı için, ardışık iki kesit alanının ortalaması kullanılırsa, çözüm uç alanlar yöntemine dönüşür [2].

Simpson 3/8 Yöntemi: Bu yönteme Simpson'un 2. Kuralı veya Simpson üç-sekiz kuralı da denir.

$$\int_{x_0}^{x_3} f(x) dx \cong \frac{3}{8} h [f_0 + 3f_1 + 3f_2 + f_3] - \frac{3h^5}{80} f^{(4)}(\xi); x_0 < \xi < x_3 \quad (2.7)$$

Bu formül, [a,b] aralığında n=3m olarak genişletilirse, n+1 yani 3m+1 nokta için, (2.8) eşitliği elde edilir.

$$\int_a^b f(x) dx \cong \frac{3h}{8} [f_0 + f_{3m} + 2(f_3 + f_6 + \dots + f_{3m-3}) + 3(f_1 + f_2 + f_4 + \dots + f_{3m-2} + f_{3m-1})] \quad (2.8)$$

5 noktalı ve 4. mertebeden bir enterpolasyon polinomunun kullanılmasıyla da (2.9) denklemi elde edilir.

$$\int_{x_0}^{x_4} f(x) dx \cong \frac{2}{45} h [f_0 + 32f_1 + 12f_2 + 32f_3 + 7f_4] - \frac{8h^7}{945} f^{(6)}(\xi); x_0 < \xi < x_4 \quad (2.9)$$

2.2 Paralel Kesitler Yöntemiyle Hacim Hesabı

Bir arazi, birbirine paralel ve ardışık düzlemler ile bölünebilir. Bu düzlemlerin her birinin alanı hesaplanıp, alanlar ortalamasının mesafe ile çarpımı ile hacim hesabı, (3.0) denklemi ile yapılabilir. Düzlem sayısı n , mesafe ise l olarak ifade edilirse, (3.0) eşitliği oluşturulur.

$$v = \frac{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n}{n} l(n-1) \quad (3.0)$$

2.3 Düzenli Dağılmış Dayanak Noktaları ile Hacim Hesabı

Düzenli dağılmış dayanak noktalarının kullanılması ile üçgen veya dörtgen prizmalar oluşturulup, yüzey alanları hesaplanabilen bu prizmaların hacimleri, kazı-dolgu öncesi ve kazı-dolgu sonrası kotların farkının bulunması ile hesaplanabilir.

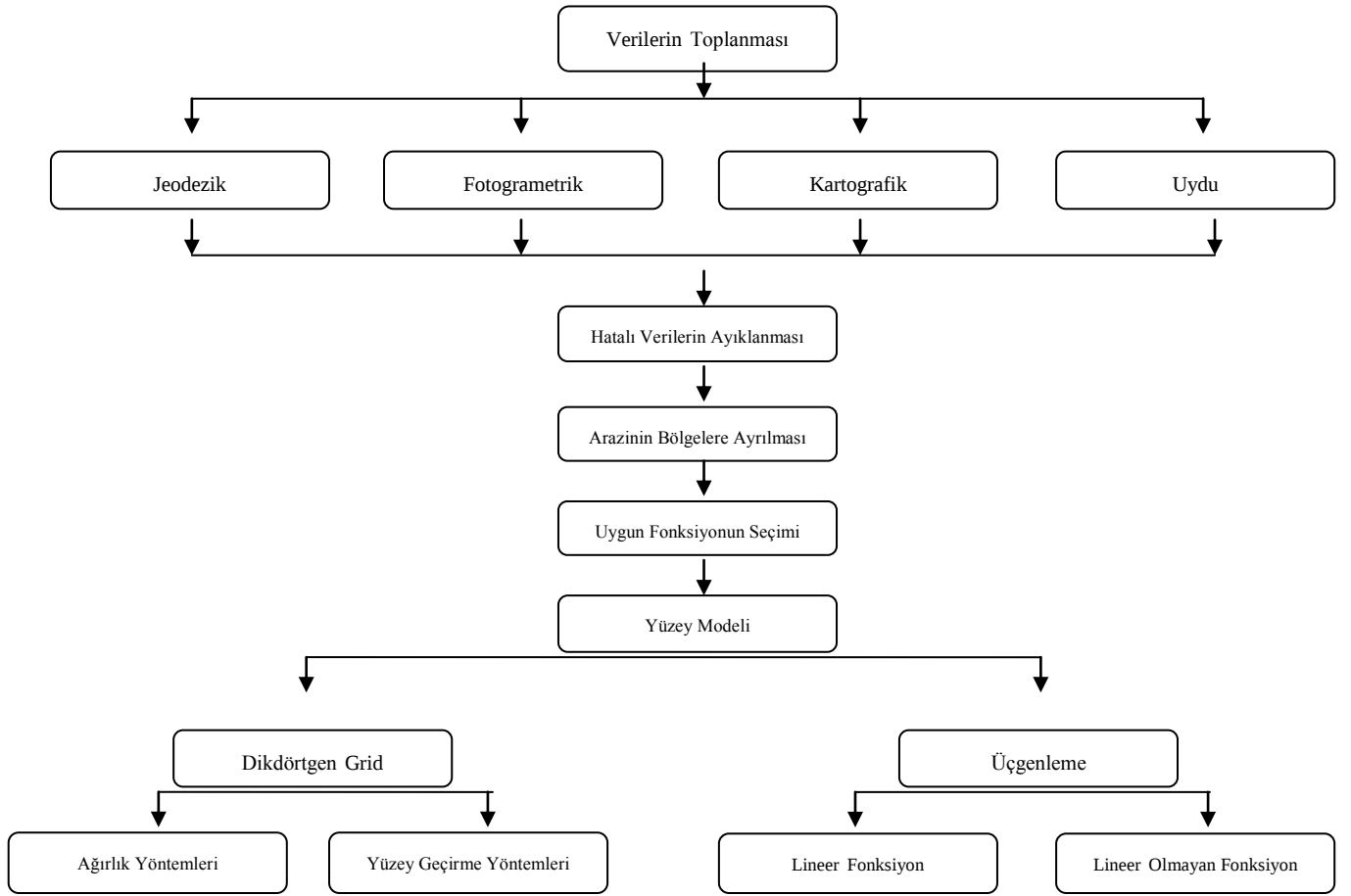
2.4 Rastgele Dağılmış Dayanak Noktaları ile Hacim Hesabı

Rastgele dağılmış dayanak noktaları ile hacim hesabında, noktalardan enterpolasyon metodu ile yeni noktalar oluşturulup, bu yeni noktalar ile de düzenli üçgen veya dörtgen prizmalar oluşturulur. Yükseklikler de enterpolasyon yöntemi ile tayin edildikten sonra hacim hesabı yapılabilir.

SAYISAL ARAZİ MODELİ KONSEPTİ İLE HACİM HESABI

3.1 Sayısal Arazi Modeli Nedir?

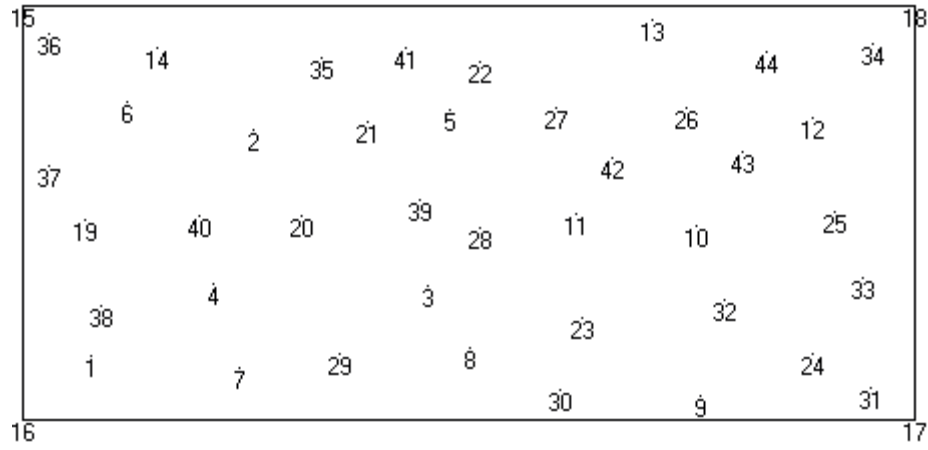
Sayısal Arazi Modeli (SAM), yeryüzünün, üzerinde yapılacak çalışmalara uygun olarak bilgisayar ortamına aktarılmış halidir. Bilindiği üzere yeryüzünün matematiksel olarak tanımlanabilmesi için sonsuz sayıda noktaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlem mümkün olmadığından, yeryüzünün modellenebilmesi için belirli noktalar kümesi ışığında çalışmalar yapıp, yaklaşık olarak istenilen model elde edilebilir. Hızla gelişen teknoloji, elbette mühendislik çalışmalarını da hızlandırmıştır. Teknoloji, aynı zamanda çalışmaların sürecini, maliyetini, hata riskini de aza indirmektedir. Sayısal Arazi Modeli (SAM), öncelikle titiz bir ölçüme, ardından bu ölçüm sonucunda elde edilen verilerin kullanılmasıyla oluşturulur. SAM ‘nin doğruluğu da, bu ölçülerin doğruluğu ve uygun modelleme teknikleri ile paralellik gösterir. Sayısal Arazi Modeli, ilk olarak 1950’ li yıllarda Massaschusetts Teknoloji Enstitüsü (M. I. T) fotogrametri laboratuvarında yapılan çalışmalar sonucunda Prof. Miller ve asistanı Laflamme tarafından ortaya atılmıştır [3]. Sayısal Arazi Modeli, yeryüzünün herhangi parçalarının, o parçalara ait elde edilen veriler ışığında dijital ortama ya da bir başka deyişle bilgisayar ortamına aktarılmasıdır.



Şekil 3. 1 Sayısal arazi modeli oluşturmadaki sıralama



Şekil 3. 2 Üzerinde sonsuz nokta bulunan herhangi bir kara parçası



Şekil 3. 3 Bazı referans noktaları ile modellenmek istenen kara parçası

3.2 Sayısal Arazi Yükseklik Modeli (SAYM), Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) Kavramları

Sayısal Arazi Yükseklik Modeli (SAYM) ya da Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), ABD Jeolojik Ölçmeler Dairesi tarafından tanımlanan, x ve y yönünde düzenli aralıklarla bölünmüş alanlarda ortak bir düşey datuma dayandırılmış z (yükseklik) değerlerini ihtiva eden sayısal kartografik bir arazi temsil yöntemidir [4].

Bazı ülkelerde SAYM ile eş anlamlı olarak kullanılan Sayısal Arazi Modeli (SAM) ise SAYM' den daha geniş kapsamlı olup yüzeyi en iyi şekilde temsil etmeyi sağlamaya çalışır. Bu model, yapay ve doğal önemli topografik detaylara, kritik arazi hatlarına (dere, sırt, kıyı v.b) ve düzensiz dağılmış kritik yüzey noktalarına ait yükseklik değerlerini kapsayan bir modeldir [5].

Literatürde SAM için çok sayıda tanım bulmak mümkündür. SAM, kısaca, yüzeyin sayısal olarak gösterimi olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir tanımda SAM, yüzeyi temsil eden sayılar dizisi olarak açıklanmaktadır. Bazı kaynaklarda, yüzey özelliklerinin ve görünümünün gösteriminde bir çözüm yöntemi olarak ifade edilmektedir. SAM'ın elde edilmesinde, hemen her adımda bilgisayar kullanımı kaçınılmaz olduğundan "SAM, yeryüzünün bilgisayarla yapılacak işlemlere esas olmak üzere sayısal olarak temsil edilmesidir " sözleri ile de tanımlanmaktadır. Bu tanım, pratikte en yaygın kullanılan ve plansal bilgiler yanında, yükseklik bilgilerini de içeren geniş anlamdaki SAM tanımı ile yalnızca yükseklik bilgilerini içeren dar anlamdaki SAM tanımını da içermektedir. SAM terimi, daha çok yükseklik kavramı için kullanıldığından, bu terim

ile eş anlamlı olmak üzere, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Sayısal Arazi Yükseklik Modeli (SAYM) terimleri de kullanılmıştır. SAM' nin oluşturulması için öncelikle arazi üzerinde bazı referans noktalarını belirlemek ve bu noktaların konumunu bilmek gerekir. Bir noktanın konumu, o noktanın yataydaki ve düşeydeki yeridir (X,Y,Z). Ölçüm sonucunda hazırlanacak olan Sayısal Arazi Modeli, bize o arazi içerisindeki herhangi bir noktanın konumunu bulmamızda yardımcı olacaktır. Temel olarak Sayısal Arazi Modeli nokta bazında iki şeyi bulmaya yarar:

- Referans noktalarından yararlanarak, konumları bilinen noktaların yüksekliklerini hesaplamak
- Referans noktalarından yararlanarak, sadece yükseklikleri bilinen noktaların konumlarını hesaplamak

SAM'de dayanak noktalarının seçilmesi, bu noktaların X, Y, H koordinatlarının ölçümü ve uygun bir interpolasyon yöntemi ile bu dayanak noktaları yardımıyla diğer istenen noktaların koordinatlarının belirlenmesi SAM' nin iki önemli problemini oluşturur [1]. SAM oluşturulurken, şu koşullar olabildiğince sağlanmalıdır:

- Mümkün olduğunca az sayıda dayanak noktasıyla SAM oluşturulmalıdır,
- Arazi bilgileri verimli bir şekilde istenmelidir,
- SAM, arazinin topografyasını yeterli incelikte bir yaklaşımla temsil etmelidir.

Enterpolasyonla yükseklikleri elde edilen noktalar için, hesaplama süresi çok fazla olmamalıdır [5]. Bu koşulların gerçekleşme olasılığı, arazi tipine, dayanak noktalarının dağılımına, enterpolasyon yöntemine ve hesaplayıcının hızına bağlıdır [1]. SAM' nin oluşturulabilmesi için, seçilen yüzey noktalarının X, Y, H koordinatları ile beraber uygun bilgisayar programlarına gereksinim vardır. Programlar yardımıyla, uygun bir enterpolasyon yöntemi seçilerek dayanak noktalarına bağlı olarak yeni noktaların koordinatları elde edilir. Böylece elde edilen bütün veriler, başka bilgi sistemleri için veri olarak kullanılabilir. SAM için ilk veriler farklı yöntemlerle elde edilir. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Yersel ölçülerle doğrudan
- Topografik harita ve planlardan dolaylı
- Fotogrametrik ölçülerle dolaylı
- Uydu görüntüleri

- Laser tarama yöntemleri

Bir SAM oluştururken yüksek doğruluk elde etmek için her aşamada dikkatli olunmalıdır. Verilerin elde edilmesinde iyi bir ölçme yöntemi kullanılmalı, dayanak noktaları yeterli sayıda ve yoğunlukta belirlenmeli, kullanılacak enterpolasyon yöntemi iyi seçilmeli ve arazi yapısı dikkate alınmalıdır [1].

3.3 Veri Elde Etme Yöntemleri

Sayısal Arazi Modeli (SAM) oluşturulurken, en çok dikkat edilmesi gereken ve en zor kısım, veri toplama işlemidir. Veri toplama işlemi sonrasında bu verilere sadık kalınarak model oluşturulacağı için verilerin istenilen doğrulukta ve hassasiyette toplanması gerekmektedir. Aksi halde, oluşacak olan modelin gerçeğe aykırı olması, kaçınılmazdır.

Veri toplama işlemi günümüz teknolojisinde oldukça geniş seçenekler sunmaktadır. Bu seçenekler, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Fotogrametrik veri toplamanın SAM oluşturulmasındaki en önemli avantajı, gerekli olan minimum sayıdaki referans noktalarının seçilmesine olanak sunmasıdır. Özellikle dijital aletler ile yapılan ölçüm işlemlerinde, arazi yüzeyinin çok değişmediği bölgelerde az sayıda nokta ölçülürken, kritik bölgelerde yani arazi yapısının değiştiği yerlerde çok sayıda referans noktası ölçülür. Hava fotogrametrisinden digital görüntü işleme metotları ile elde edilen tamamen otomatik ölçümler veya interaktif olarak operatör ölçümleri ana veri kaynağını oluşturur.

Günümüzde uydu teknolojisindeki gelişmeler göz önünde tutulursa, uydu verilerinin veri toplamada kullanılabildiği dolayısıyla uydu görüntülerinin de SYM elde etme ve bu yöntemleri geliştirmede yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. SYM üretiminde diğer bir gelişme de havada taşınan lazer profillemeye ve taşıyıcılar ile SYM’lerinin doğrudan elde edilmesi ile ilgilidir [6].

Çizelge 3. 1 Sayısal arazi modeli için veri toplama yöntemleri

KAYNAK GRUBU	KAYNAK CİNSİ
Mevcut Harita ve Dökümanlar	Çizgisel Haritalar Raster Haritalar Dökümanlar Ortofoto Haritalar
Fotoğraflar ve Görüntüler	Hava Fotoğrafları Uzaktan Algılama Görüntüleri
Algılayıcı Verileri	Laser Tarama Verileri SAR Verileri Interferometrik SAR Verileri
Arazi	Total Station Ölçüleri GPS Ölçüleri Yüzey Nivelmanı
Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)	Sayısal Formattaki Coğrafi Veriler

SAM’ nin oluşturulması için yersel ölçümlerden olan nivelman ölçümleri ve takeometrik ölçümler, eğer arazi yapısı birçok yerinde farklılık göstermiyor ise veya ölçüm yapılacak alan dar bir alan değil ise, ekonomik nedenlerden ve zaman açısından tercih edilmeyen ölçme yöntemleridir.

Kartografik veri kaynaklarından SAM elde etme yöntemine örnek olarak, topografik haritalardaki yükseklik eğrilerinin sayısallaştırılması verilebilir. Günümüzde, mevcut topografik veriler kullanıldığından, kartografik veriler bizim için önemlidir. Topografik haritalarda kırıklı çizgiler gibi detayların olmaması durumunda, yüksek doğruluklu veriler elde edilemez.

Günümüzde, topografik haritalardan sayısallaştırma yöntemiyle veri elde etme işi, çok

fazla verilere ihtiyaç duyulan geniş çaplı araziler için geçerli olmalı iken, teknoloji ile birlikte gelişen sayısallaştırıcılar aracılığı ile küçük veya büyük çaptaki arazilerden veri elde etmek için topografik haritalardan sayısallaştırma yöntemi ile veri elde edilmektedir.

Ne var ki sayısallaştırma ile elde edilen verilerin doğruluğu hiçbir zaman yersel ölçümlerden veya fotogrametrik ölçümlerden elde edilen verilerin doğruluğuna erişemez.

Sayısallaştırma ile elde edilen veriler, fotogrametrik ölçüm verilerinin üçte biri oranında doğruluğa sahiptir. Ancak günümüzde sayısallaştırma ile edinilen veriler bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu veriler, büyük inşaat projeleri için hazırlanan keşiflerde, şehir ve bölge planlamalarında, uçak simülörlerinde kullanılmaktadır.

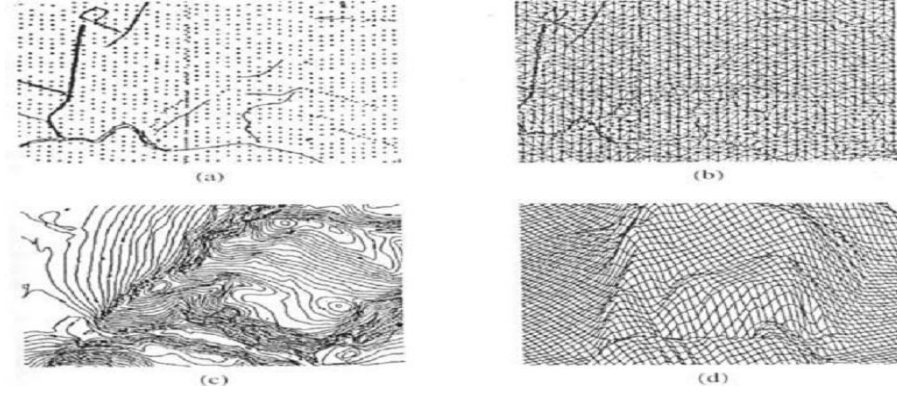
Sayısallaştırma ile elde edilen verilerden daha yüksek doğrulukta verilerin elde edilmesi için yukarıda bahsedilen yöntemlerden yersel yöntem, fotogrametrik yöntemle göre daha yavaş ve hata yapma olasılığı daha fazla olan bir yöntemdir.

Küresel konumlama sistemi olan GPS' in günümüzde sıkça kullanılması ile SAM için yeni bir veri toplama yöntemi başlamıştır. Çizelge 3.2' de veri toplama yöntemleri, elde edilen doğruluk ve kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 3.2'de gösterilen veri toplama yöntemleri ve veri kaynağının seçimi;

- Verinin ulaşılabilirliği
- Olması gereken doğruluk
- Zaman ve maliyet gibi birçok faktöre bağlıdır.

Yersel ölçme yöntemleri, doğruluğu en yüksek olan ölçümlerdir. Ancak zaman, maliyet göz önünde bulundurulduğunda, fotogrametrik ölçümler de tercih edilebilir.



Şekil 3. 4 Topoğrafya gösterim çeşitleri

(a- Profiller, b-Üçgen kafes, c-Eş yükseklik eğrisi, d-Düzenli grid)

Çizelge 3. 2 Veri toplama yöntemleri, doğruluk, kullanım alanları ve uygulamalar

VERİ KAYNAĞI	YÖNTEM	DOĞRULUK	ALAN	UYGULAMA
Yersel	Elektronik Takeometre	Çok Yüksek	Küçük	Plan ve Tasarım
Fotogrametrik	Stereo Çizim Aletleri	Yüksek(Karakteristik Noktalar Düşük (Eş Yükseklik Eğrileri)	Büyük	Baraj, Yol, Maden
Sayısallaştırma	Elle Yarı Otomatik Tam Otomatik	Düşük	Ülke	Simulasyon, Deprem vs.

3.4 Sayısal Arazi Modeli (SAM) Veri Yapısı

Sayısal Arazi Modeli oluşturulmasında kullanılacak teknikler, üzerinde yapılacak işlemlere göre farklılıklar gösterir. Topografik haritalar, bize görsel açıdan araziye çok iyi bir şekilde tanımlayabilir. Ancak klasik topografik haritaların yanı sıra, bazı analitik yöntemlerle de (gridler, eş yükselti eğrileri, üçgen kafesler, profiller) SAM oluşturulabilir. Birçok matematiksel hesap için, özellikle de kazı-dolgu hesabı için

arazinin çok iyi bir şekilde modellenmesi, arazinin düzensiz yapısının ve eğim karakteristiğinin belirlenmesi için grafik olarak hazırlanan haritalardan daha fazlasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Arazi üzerinde ölçülen referans noktalarından hareket edilerek, arazinin en uygun halinin modellenmesi, iki farklı modelleme tekniğine dayalı olarak yapılabilir. Arazinin sayısal gösterimi olarak tanımlanan SAM' nin verilerinin, profiller boyunca veya belirli grid ağı noktalarında ölçümünün ve çiziminin yapılması mümkündür [7].

3.4.1 Grid Veri

Bu yöntemde Raster yöntemi de denilmektedir. Grid bazlı çalışmalar, günümüzde SAM üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir. Basit olarak, arazi modellenmek istenirse, yüzey noktalarının grid köşelerinde seçilmesi ve bu noktalara ait yatay ve düşey değerlerin ölçülmesi gerekir. Aynı zamanda arazi üzerinde rastgele noktalar ölçülüp, bu noktalar ile edinilen datanın grid dataya dönüştürülmesi mümkündür.

Grid bazlı yöntemde arazi üzerine dikdörtgen veya kare gridler yerleştirilip, bu noktaların yatay ve düşey değerleri ölçülerek hesaba gidilir. Yatay ve düşey değerlerin ölçülmesi konusunda bir çok farklı ölçme tekniği vardır. İhtiyaç duyulan hassasiyete ve ölçme işleminin hızına göre değişiklik gösteren bu yöntemlere göre değişiklik gösteren bu yöntemlerden, araziye en iyi şekilde tanımlayacak yöntem ile ölçüm yapılarak referans noktalarına ulaşılır. Ölçülen referans grid köşe noktalarından hesapla, eş yükselti eğrilerini oluşturmak mümkündür.

Bir geometrik şeklin kare veya dikdörtgen alınması durumunda kareler ağı kurulması üçgenlere göre çok kolay ve hızlıdır. Koordinat sistemine paralel olarak alınan kare veya dikdörtgen şekilli basit fonksiyonlar karmaşıklığı ortadan kaldırmaktadır. Bu parçaların alınmasıyla hesaplamalardaki hızı önemli oranda artmaktadır. Çünkü bir önceki kare veya dikdörtgen kendinden sonraki gelen dikdörtgen veya karenin zaten bir kenarını vermektedir. Hatta daha alt ve ara sıralara geçildikçe bilinen parametre sayısı artmaktadır ki bu da hesaplanacak işlemlerin azalmasını sağlamaktadır. Böyle bir ağın kurulması için başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatları ile birim aralıkların bilinmesi yeterlidir.

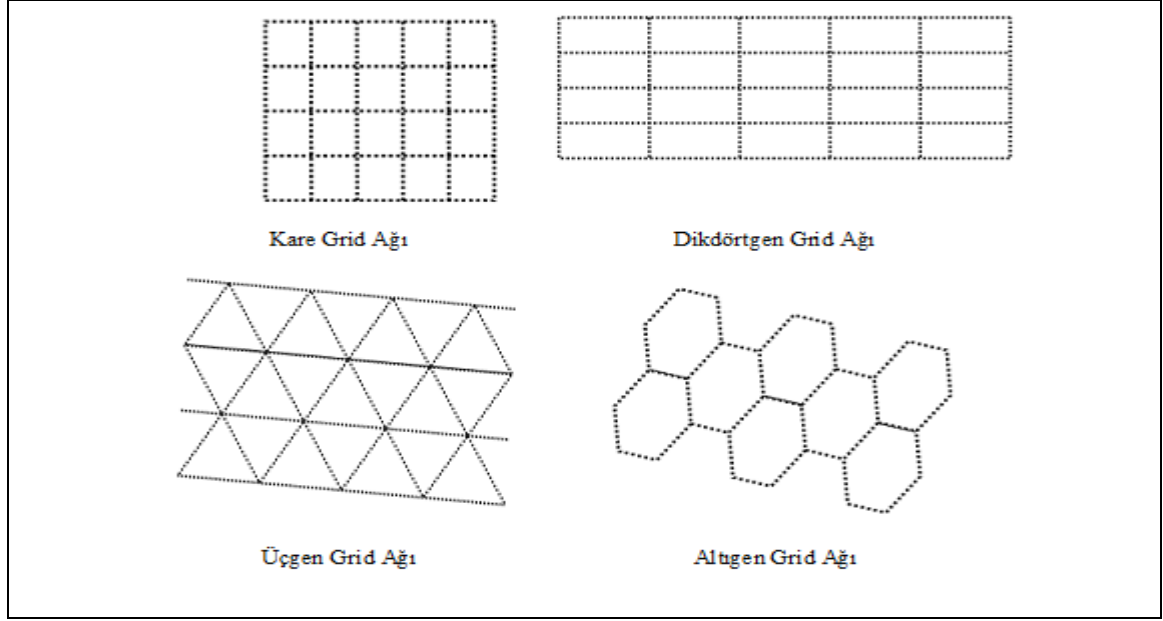
3.4.1.1 Grid Veride Uygun Grid Aralığının Seçilmesi

Sayısal Arazi Modeli (SAM) uygulamalarında, modelleme için yapılan en önemli çalışmalardan biri de şüphesiz ki grid aralığının optimum seviyeye yakın olarak belirlenmesi işlemidir. Ölçülen referans noktalarına dayalı olarak oluşturulacak yeni grid noktalarının belirlenmesi için kabul edilen kriterlerden biri, referans nokta sayısının, grid nokta sayısına yaklaşık olması yönünde iken, bir diğer kriter de, grid aralığının, gridlenecek bölgede birbirine en yakın iki referans noktası arasındaki mesafenin en fazla yarısı olması gerektiği yönündedir [8].

Bazı uygulamalarda arazi yüzeyini temsil edebilmek için kare yerine dikdörtgen grid ağları kullanıldığı bilinmektedir. Yine yüzey temsiliinde farklı alanlarda farklı grid aralıklarının kullanılması denenmiş fakat organizasyon ve hesap yükü açısından çok fazla desteklenmemiştir [6].

Grid yöntemi ile ilgili sonuçlar şunlardır [8];

- Enterpolasyon tekniği nedeniyle çok basit organize edilmesi ve grid yüksekliklerinin kolay bir şekilde depolanması olanağı, bu yöntemin en önemli avantajıdır.
- Yüzey modellemede SAM verilerinin çok iyi bilinen üstünlükleri vardır. Örneğin eğim, bakı, uzunluk ve alan hesaplama, hacim ve yarma-dolma hesabı, eş yükseklik eğrisi oluşturma, yüzey Z değerlerinin enterpolasyonu, çoklu yüzeyler üzerinde profiller oluşturma, görünürlük analizleri, üç boyutlu görüntüleme ve simülasyon [9].
- Diğer taraftan bir gridin tamamı depolanmak zorundadır. Kural olarak gridin yoğunluğu her zaman dayanak noktalarının yoğunluğundan fazladır.
- Düzgün aralıklı bir gridde kırık çizgilere ait bilgiler bulunmamaktadır. Bunlar ancak grid çizgileri ile kesim noktalarının özel olarak depolanması ile dikkate alınabilir. Bu çalışma oldukça zor olup ilave bellek gereksinimi göstermektedir. En küçük kareler yönteminin kullanılması durumunda, hesaplama zamanı çözülmesi gereken denklem sisteminin büyüklüğüne ve dolayısı ile hesap biriminin büyüklüğüne bağlıdır.



Şekil 3. 5 Kullanılan bazı grid yapıları

3.4.2 Üçgen Veri

Bu yöntemde arazi, arazi yüzeyi, üçgen yüzeylerin toplamı şeklinde ifade edilir. Rastgele veya düzgün şekilde dağılmış olan referans noktaları, üçgenlerin köşe noktalarını oluşturur. Birbirleri üzerine binmeyen bu üçgenler, lineer veya lineer olmayan fonksiyonlarla ifade edilir [10].

Üçgenleme yöntemi, günümüzde artan bir şekilde arazi ya da yüzey modellemede kullanılmakta olup Düzensiz Üçgen Ağı (TIN-Triangular Irregular Network) biçiminde de kullanılmaktadır. Düzensiz olarak bulunan x,y koordinatlı ve z değerli noktalardan oluşan birbirlerine komşu ve bindirmesiz üçgen setlerinden oluşmaktadır. TIN veri yapısı, küme noktası ve kırıklı çizgi olarak yorumlanan, düzensiz olarak dağılmış nokta, çizgi ve poligon verilerinden oluşmaktadır. TIN modeli üçgenler ve komşu kenarları arasındaki topolojik ilişkileri saklar. Bu veri yapısı, arazi ve diğer yüzey çeşitlerinin görüntülenmesi ve analizi için kullanışlı yüzey modelleri oluşturulmasına olanak sağlamaktadır [9].

Bir TIN yüzeyi aşağıdaki kaynakların bir veya daha fazlasından oluşturulabilir:

- Nokta, çizgi ve poligon verileri,
- Eş yükseklik haritaları,

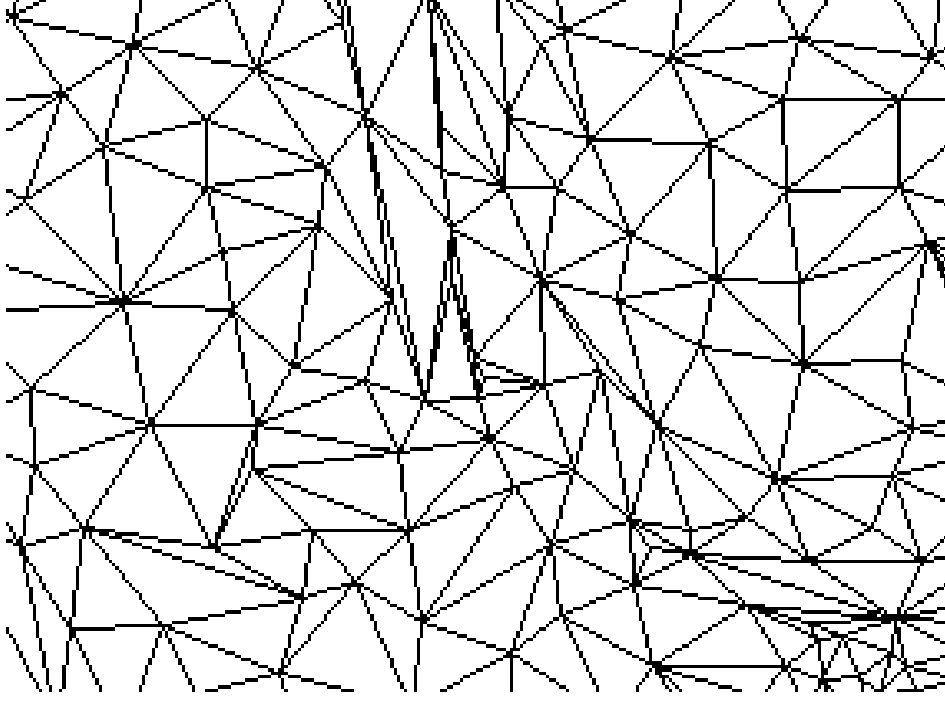
- Stereo kıymetlendirme verileri,
- ASCII formdaki rastgele dağılmış noktalar,
- Kırıklı çizgi verileri,
- SAM kafes yapısı

Arazi yüzeyine rastlantısal ya da düzgün olarak dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesi ile arazi düzlem üçgenlerden (TIN) oluşan çok yüzlü (polihedron) bir yüzeyle kaplanır (Şekil 3.6).

Üçgenleme yöntemi ile ilgili sonuçlar şunlardır:

- Dayanak noktalarının rastgele dağılmış olması üçgenlemede bir zorluk yaratmaz, aksine dayanak noktalarının ölçümünü kolaylaştırır.
- Veri noktalarının üçgen köşelerini oluşturması, yüzeyin gerçeğine daha uygun olduğunun bir göstergesidir. Gridlemede ise, elde edilen yüzey grid noktalarından geçmekte, yüzeyin gerçekten teorik olarak farklı olduğu da bilinmektedir.
- Arazinin yapısı ve yüzeyler doğrudan dikkate alınır, sınırların yeni bir poligonla tanımlanması gerekmez.
- Bellek gereksinimi grid yöntemine göre çok daha azdır.
- Üçgenleme ve enterpolasyon için gerekli zaman dayanak noktalarının sayısı ile doğru orantılıdır.
- Organizasyon, grid yöntemine göre daha karmaşıktır. Fakat gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte bu dezavantaj ortadan kalkmıştır.
- Özellikle büyük veri kümeleriyle çalışıldığında, hesap süresi açısından çok daha avantajlı olduğu görülmektedir [11].

TIN modeli, SYM' den daha az sayıda veriye ihtiyaç göstermektedir. Yakınlık ve komşuluk analizlerinin yapılabildiği topolojik olarak kodlanmış ve arazideki süreksizlikleri temsil eden kritik noktaların toplanması yeterlidir [9].



Şekil 3. 6 Üçgen veri yapısı

Şekildeki üçgen ağı, arazide rastgele veya düzenli referans noktalarının ölçülmesi ve birbirine en yakın üç noktanın birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Buradaki üçgenlerin mümkün olduğunca eşkenarlı olması, yapılacak olan enterpolasyonun da doğruluğunu ve bunun sonucunda arazinin en iyi şekilde modellenmesinde etkili olacaktır.

3.5 Yüzey Kestirimi İçin Uygun Fonksiyonun Seçilmesi

Yüzey modellemede, yapılan ölçümler kadar, bu ölçümlerle edinilen datanın, referans noktalarının konumuna göre ya da araziye en iyi şekilde modellendirme esasına sadık kalarak, uygun tanımlayıcı fonksiyonun seçilmesi de büyük önem taşımaktadır. Günümüzde yüzey tanımlamada birçok fonksiyon kullanılmasının sebebi, aslında hiçbir fonksiyonun kesin olarak araziye uyum sağlamamasından dolayıdır. Yani uygun fonksiyonun seçilmesi, genelde kullanıcının tasarrufundadır. Ancak her kullanıcın, fonksiyon seçiminden önce dikkat etmesi ve esas alması gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlar, şöyle açıklanabilir:

- Gridleme ile oluşacak yüzey sürekli olmalı, kesiklikler bulunmamalı,
- Hesaplama kolaylığı ve sürat sağlamalı,
- Matematiksel olarak çalışılan konu ile ilişkili olmalıdır.

Temelde üç farklı kestirim tekniği vardır. Nokta nokta (yerel) kestirim, tüm araziyi kapsayan bir tek (global) fonksiyonla kestirim ve yerel olarak tanımlanmış parça parça fonksiyonlarla kestirim.

Nokta Nokta Kestirim: Bu yöntemde, yüksekliği bulunacak noktayı çevreleyen kritik daire (veya kare)'nin iç tarafına düşecek biçimde ölçülmüş dayanak noktaları seçilir. Bu yaklaşımda, yerel kestirim fonksiyonlarının oluşturduğu yüzey süreklidir. Dayanak noktasının etkisinin mesafeyle azalması yada artması ağırlık kavramı ile açıklanır. Grid noktasına yakın olan ölçüler, kestirimde uzak noktadakilere göre daha etkilidir. Nokta nokta kestirimde, her noktaya ait yüksekliğin hesaplanmasında ayrı ölçü yada dayanak kümesi kullanıldığından, sonuçta grid kümeye ait yükseklikler düzenli ve sürekli bir yüzey oluşturacaktır [12]. Günümüzde SAM oluşturmak için genellikle nokta nokta kestirim yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin, esnek bir kullanım biçimi olduğundan, diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar vermesi beklenir.

Global Kestirim: Global kestirimde, tüm dayanak noktalarının kullanıldığı bir yüzey oluşturulup bir tek $Z = f(x,y)$ fonksiyonunu belirlemek için bütün dayanak noktalarını aynı anda kullanmak gerekir. Dolayısıyla oluşan yüzey bütün dayanak noktalarından geçer. Tüm alana, rastgele konumdaki ölçü noktalarının kullanılmasıyla yüksek dereceden bir polinom ile üç boyutlu bir yüzey uydurulur. Bu yüzey tanımlandıktan sonra, grid köşelerine ait yükseklikler kestirilir. Küçük ölçü kümelerinin kullanıldığı çalışmalarda global teknik oldukça iyi sonuçlar vermektedir [13]. Parça parça kestirim yaklaşımı, nokta nokta kestirim ile global kestirim arası bir yöntemdir.

Parça Parça Kestirim: Bu yöntemde bütün sayısal arazi modeli daha küçük ve eşit parçalara bölünür. Her bir parça, seçilen bir fonksiyonla gösterilir. Böylece, aynı anda çok sayıda bilinmeyen hesaplanması problemi çözülmüş olur. Ancak parçaların sınırları boyunca çatlaklar ve kesiklikler, süreksizlikler oluşabilir. Bu nedenle parça parça kestirim yöntemi uygulanırken sürekliliği sağlayan önlemlerin alınması gerekir. Global kestirime olan en büyük üstünlüğü her bir parça için bilinmeyenlerin ayrı hesaplanması, daha az sayıda bilinmeyen olmasıdır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise global kestirimden daha çok düzenleme gerektirmesidir. Bindirmeli yaklaşımın tercih edilmesi durumunda, alt bölgeler arasındaki bindirme oranının seçiminde, dayanak noktalarının sıklığı ve grid aralığı dikkate alınmalıdır [15]. Dayanak noktaları grid köşelerinde yer alabileceği gibi, rastgele konumda da bulunabilir.

Bu durum iki şekilde gerçekleşmektedir:

- Fotogrametrik model üzerinden doğrudan ölçmelerle,
- Arazi üzerinde rastlantısal olarak dağılmış dayanak noktalarının ölçülmesi ile.

Kullanılacak bir enterpolasyon yöntemi ile grid köşe noktalarındaki yükseklik değerleri belirlenir. Her bir grid, köşe noktalarındaki yükseklik değerleri ve gerekirse eğim değerlerine dayanan bir fonksiyon ile ifade edilir.

3.6 Yüzey Geçirme

Yüzey geçirme, gerçek bir arazinin dijital ortama kendi özelliklerini en doğru şekilde tanımlayacak şekilde aktarılması işlemidir. Yüzey geçirmede en önemli şey, enterpolasyon ve kestirimdir. Yani bazı noktalar referans alınır ve bu referans noktalarından hareket ile, diğer noktaların yükseklikleri belirlenir.

SAM uygulamalarında amaç, önce kestirim noktalarının düşey koordinatı olarak adlandırılan büyüklükleri hesaplamak daha sonra ihtiyaç duyulan diğer konuları, bu değerlerden yararlanarak çözüme kavuşturmadır. Yüzey geçirmede yüzeyin derecesi, polinom ile ifade edilen model yüzeyin, dayanak noktaları ile temsil edilen gerçek yüzeye ne kadar yaklaştığının bir göstergesidir. Oluşan model yüzeyin gerçek yüzeye uygunluğu için literatürde değişik kriterler geliştirilmiştir. Yüzey derecesinin yüksek seçilmesi durumunda, yüzey katsayılarının sayısı artacağından, ölçü sayısının çoğaltılması yanında normal denklemler matrisinin tersinin alınmasında problemlerle karşılaşılacaktır. Bu nedenle, çoğu mühendislik uygulamalarında düşük dereceli yüzeyler kullanılmaktadır.

Yüzey geçirme metotları, uygunluğun derecesi, destek derecesi veya matematiksel model tipi kriterlerine göre sınıflandırılabilir.

Ağırlıklı ortalama yönteminde herhangi bir konumdaki yükseklik değeri, ağırlığın mesafeye göre ters orantıda olduğu bütün veri noktalarından ağırlıklı ortalama ile elde edilir. Hesap karmaşıklığını azaltmak için bütün veri noktalarının dikkate alınmadığı lokal ortalama yöntemleri kullanılmaktadır.

SAM İÇİNDE KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada, “Surfer 9” programında mevcut olan “Kriging”(Geo istatistiksel), “Invers distance to a power” (mesafenin tersine göre enterpolasyon) ve “Triangulation with lineer enterpolation” (Lineer enterpolasyon ile üçgenleme) yöntemleri kullanılmıştır.

Enterpolasyon, dayanak noktalarındaki ölçme değerlerinden, ölçülmeyen noktalardaki büyüklüklerinin kestirimidir. SAM, koordinatları bilinen noktaların yüksekliklerini belirlemeyi ve yükseklikleri bilinen noktaların koordinatlarının bulunmasını, bu noktalara eğri uydurarak eş yükseklik eğrilerinin oluşturulmasını, eş yükseklik eğrilerinden faydalananarak kesitlerin çıkarılmasını ve hacim hesaplarını içermektedir [1].

Ortaya atılan birçok fikirden yola çıkarsak birçok enterpolasyon yöntemini görmemiz mümkündür. Örneğin, [14] sınıflandırmasına göre enterpolasyon yöntemleri;

- Kayan yüzeyler yöntemi
- Yüzeylerin toplamı
- Sürekli parça parça polinomlar
- Dikdörtgen bir grid’ de enterpolasyon
- Üçgenler ağında enterpolasyon
- Çizgisel bir sayısal arazi modelinde enterpolasyon

iken, [15] düzenli grid ağında bulunan noktalar için şu başlıkları ele almıştır;

- Ağırlıklı ortalama
- Kayan yüzeyler
- Lineer prediksiyon

- Minimum büyüklükteki polinom parçaları
- Bilineer polinom

[10]'da üç boyutlu verilerin görüntülenmesini amaçlayan yer bilimlerine yönelik olarak kullanılabilecek yüzey modelleme yöntemleri ele alınmaktadır ve bu yöntemler iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlardan birincisi, fonksiyon (yüzey) uydurma iken, ikincisi ise ağırlıklı ortalama ile enterpolasyondur. Yüzey uydurma yönteminde oluşturulan yüzeydeki noktalar, yükseklikleri bilinen noktalar ile çakışabildiği gibi, bu noktalardan farklı değerlere de sahip olabilir. Böyle bir durumda, gerçeğe yaklaşık bir yüzey oluşturulduğu ifade edilir.

Ağırlıklı ortalama ile yapılan enterpolasyon, noktasal enterpolasyon kavramını içerir. Enterpole edilecek noktanın belirli dayanak noktaları ile ve seçilen bir ağırlık modeli yardımı ile yüksekliği belirlenir. Kullanılacak olan alanın şekli ve büyüklüğü nedeniyle kullanılacak ağırlık modelleri çeşitlilik gösterdiğinden, birçok enterpolasyon yönteminin olabileceği kolayca anlaşılabılır.

[10]'da yüzey modelleme için kullanılabilecek enterpolasyon yöntemleri 5 ana başlıkta toplanmıştır.

- Uzunluğa bağlı yöntemler
- Uygun fonksiyon yöntemleri
- Üçgenlere dayanan yöntemler
- Dikdörtgenlere dayanan yöntemler
- Komşuluğa dayanan yöntemler

Hızla gelişen teknoloji ile modern enterpolasyon yöntemleri ortaya çıkmıştır.

4.1 Kriging (Geo İstatistiksel) Yöntem

Kriging, bu tekniği ilk geliştiren D.G. Krige isimli Güney Afrikalı bir maden mühendisinden adını almaktadır. Kriging konumsal tahmin için geoistatistiksel yöntemdir. Bu yöntem, matematiksel jeodezide kollokasyon olarak bilinen en iyi lineer yansız tahminci (BLUP [best linear unbiased predictor]) ya da en iyi lineer yansız hesaplayıcı BLUE (best linear unbiased estimator) olarak tanımlanır. Kriging ve kollokasyon yöntemlerinin karşılaştırılması [16] tarafından yapılmıştır [17]. Kriging yöntemi birçok alanda kullanılabilirliğini ve popularitesini kanıtlamış geoistatistiksel bir

enterpolasyon yöntemidir [18]. Bu metod düzensiz arazi dayanak noktalarından görsel yüzey çizimi ve uygun eş yükseklik eğrileri oluşturur. Kriging çok esnek bir gridleme metodudur. Kriging, aynı zamanda daha önceden tanımlanmış bir kovaryans modelinden hesap varyansını minimize eden lineer regresyon setidir. Kriging enterpolasyon yönteminde, bir bölgede enterpole edilecek olan parametrelerin bölgesel bir değişken olduğu kabul edilir. Birbirine yakın noktalardaki veri değerlerinin daha korelasyonlu olması için bölgesel değişken konumsal olarak sürekli bir çeşitlilik gösterir [23].

Kriging yönteminde, en uygun ağırlıkları bulmak için, ölçme noktaları arasındaki konumsal bağımlılığın bilinmesi gerekir. Bu konumsal bağımlılık ya bir kovaryans fonksiyonu ya da bir variogram fonksiyonu kullanmak suretiyle tanımlanabilir [24].

Surfer'ın içinde Kriging, kullanıcının belirlediği parametrelere bağlı olarak hem mutlak hem de düz bir enterpolasyon yöntemi olabilir [20].

Kriging yönteminin temeli bölgesel değişkenler teorisine dayanır. Yükseklikler tarafından temsil edilen olaylarda konumsal değişim, kriging yönteminde yüzey boyunca istatistiksel olarak homojendir iken, matematiksel jeodezide böyle bir durum söz konusu değildir. Yüzey, sabit bir ortalama ya da trend'den oluşan yapısal bir bileşen, rastgele fakat konumsal olarak korelasyonlu bileşen ve konumsal olarak korelasyonsuz kalıntı hata terimi olmak üzere üç ana bileşenin toplamı olarak ifade edilir [17]. Kriging yöntemi ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir şekilde yakındaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağırlık modeli kullanır. Kriging yönteminin genel denklemi,

$$N_p = \sum_{i=1}^n P_i N_i \quad (4.1)$$

(4.1)' deki gibi olup burada;

N_p : P noktasının aranan yükseklik değeri

P_i : N_p nin hesabında kullanılan her bir N_i ye karşılık ağırlık değeri

N_i : N_p nin hesabında kullanılan noktaların yükseklik değeri

n : N_p nin hesabında kullanılan nokta sayısıdır.

Buradaki hedef, ağırlık faktörü olan P' yi en iyi yolla belirlemek olacaktır. Burada ağırlık faktörü iki amaç doğrultusunda seçilmelidir;

i. Yansızlık için $E[N_p - N_i] = 0$, bu şartı sağlayabilmek için (4.1)' deki ifadede $\sum W_i = 1$ olmalıdır. (Burada, N_p kestirim edilen değeri, N_i ise gerçek fakat bilinmeyen değeri ifade etmektedir)

ii. Minimum varyans için $\text{Var } E[N_p - N_i] = \text{minimum}$ olmalıdır. (Burada belirtilen varyans kriging varyansı olarak bilinir).

Bu formüllerde N değerleri konumları ile belli ondülasyon değerlerini göstermektedir. Kriging yöntemi ile yapılan kestirimin doğruluğu ve geçerliliği aşağıda verilen faktörlere bağlıdır;

- Dayanak (Referans) noktalarının ölçümü ve kalitesi,
- Dayanak noktalarını alan içerisindeki konumları ve o alanı temsil edip etmeme durumları,
- Kestirimi yapılacak olan noktalar ile dayanak noktaları arasındaki uzaklık.
- Kestirimi yapılacak olan noktaların dayanak noktalarına yakın olması, daha iyi sonuç verecektir [26].

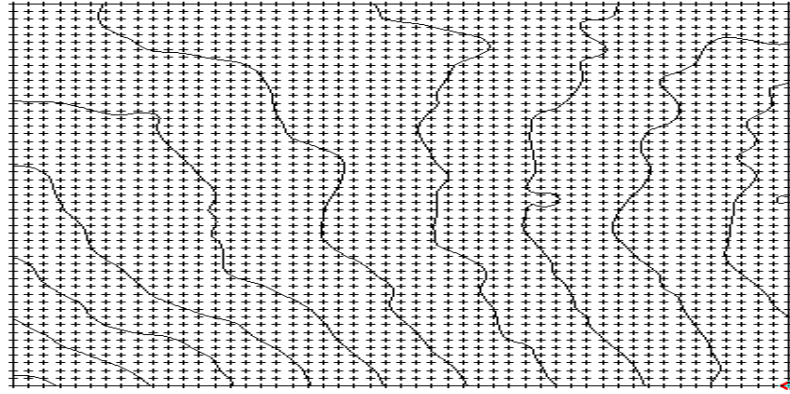
Bugün Kriging yöntemleri yaygın olarak aşağıda sıralanan adlarla çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler şöyle sıralanabilir;

- Simple Kriging
- Ordinary (Punctual) Kriging
- Universal Kriging
- Block Kriging
- Indicator Kriging
- Disjunctive Kriging
- Cokriging

Kriging enterpolasyon yönteminde (4.1) incelendiğinde en temel sorun W_i ağırlıklarının belirlenmesidir. Kriging yönteminde ağırlıklar variogram modellerinin doğrudan fonksiyonudur. Kriging ağırlıkları enterpolasyon değerini doğrudan etkilemektedir. Bu

durumda enterpolasyon değerinin iyi olması için ağırlıkların yansız olması gerekmektedir. Kriging yöntemine BLUE (Best Linear Unbiased Estimator) adı verilir. Bu ismin altında yatan tahmin hatasının minimum olması şartına göre ağırlıkların belirlenmesidir. Bu durum, Kriging yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en büyük özelliklerinden biridir [27].

“Ordinary Kriging” yönteminde bölgesel değişkenler durağan kabul edilir ve ortlamanın sabit olduğu varsayılır. Ancak uygulamada çoğu zaman bölgesel değişkenler durağan değildir ve bu değişkenler bir trend gösterir. Verilerin bir trend göstermesi ve bu trendin de hesaba katılarak çözüme gidilmesi işlemine “Universal Kriging” denir. Kriging yönteminin dezavantajı, fazla dayanak noktaları ile yapılan çalışmalarda oldukça yavaş olmasıdır.



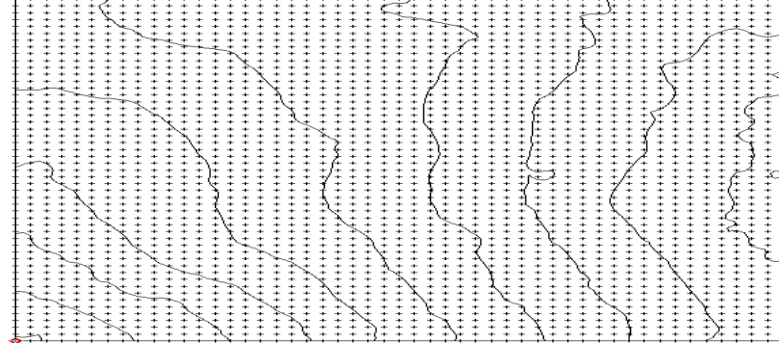
Şekil 4. 1 Kriging (geo istatistiksel) yöntemi ile oluşturulan SYM

4.2 Inverse Distance to a Power (Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon)

Mesafenin tersine göre gridleme metodu ortalama ağırlıklı bir enterpolasyon yöntemi veya hem mutlak hem de düz bir enterpolasyon yöntemi olabilir [20]. Belirli bir grid köşesi hesaplandığı zaman, bir dayanak noktasına verilen ağırlık, grid köşesinden gözlemlenen belirtilmiş kuvvete mesafenin tersiyle orantılıdır. Kuvvet parametreleri, bir grid köşesinden uzaklık artarken ağırlık etkisinin nasıl azaldığını gösterir. Küçük bir kuvvet için ağırlıklar, dayanak noktaları arasında daha düzgün bir şekilde dağılır, daha büyük bir kuvvet için yakın dayanak noktaları ortalama ağırlığın daha büyük bir kesri olarak verilir.

Bu yöntemin dezavantajı ise, dayanak noktaları etrafındaki “Bull’s Eye” modellerini ortak bir merkezde toplama eğiliminde olmasıdır. Böyle bir sonuç, araziye olduğundan

daha farklı gösterir. Bir grid köşesi hesaplandığı zaman, hesaplanan ağırlıklar kesirlidir ve toplamaları 1'e eşittir [20].



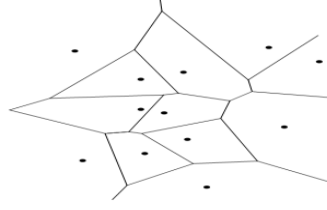
Şekil 4. 2 Mesafenin tersine göre enterpolasyon ile oluşturulan SYM

4.3 Triangulation With Lineer Enterpolation (Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme)

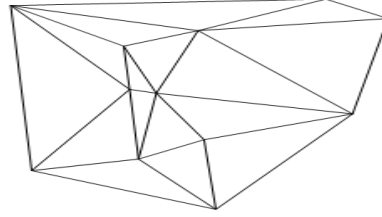
Bu yöntem ile yapılan uygulamalarda dikkat edilmesi gereken husus, oluşturulacak üçgenlerin mümkün olduğunca eş kenarlı olması ya da bir başka deyişle, üçgenlerin eş açılı olmasıdır. Üçgenleme yöntemi ile enterpolasyonda genellikle lineer enterpolasyon yöntemi kullanılır. Bu enterpolasyona göre, modellenmek istenen arazinin, üçgenlerden oluştuğu varsayılarak, arazi mümkün olduğunca eş kenarlı veya eş açılı üçgenlere bölünür. Her bir üçgenin her bir noktasını arazide ölçülen dayanak noktaları temsil ederken, enterpole edilecek olan noktalar, oluşturulan üçgenlerden hangi üçgenin içinde bulunuyorsa, o üçgen üzerinde bulunan üç dayanak noktasından lineer enterpolasyon metoduyla enterpole edilir. Üçgenleme yöntemi, harita mühendislerinin sıkça kullanmış olduğu bir yöntemdir.

4.3.1 Delaunay Üçgenleme Yöntemi ve Voronoi Diyagramı

Delaunay üçgenleme yöntemi, hacim hesaplamada kullanılan geometrik hesaplarda aktif rol oynamaktadır. Bu üçgenlemenin önemini anlayabilmek için geometrik olarak eşleniği sayılabilecek Voronoi diyagramının tanımlanması gerekir [26]. Düzlemde yer alan sonlu noktalar kümesine ait bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine, o noktanın Voronoi Çokgeni (poligonu) denilmektedir ve kümedeki tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını oluşturur [26].



Şekil 4. 3 Voronoi diyagramı



Şekil 4. 4 Delaunay üçgenlemesi

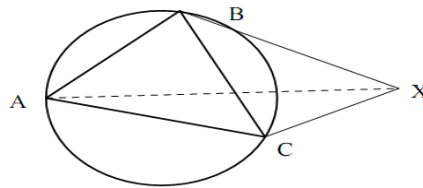
4.3.1.1 Delaunay Üçgenlemesinin Özellikleri

- Oluşan üçgenler olabildiğince eş kenarlıdır.
- Üçgenlemede yer alan doğru parçaları, dayanak noktalarından en yakın iki noktanın birleşiminden oluşmaktadır.
- Üçgenler, tek başına anlamlıdır ve başlangıç noktasından bağımsızdır.
- Üçgenlerin çevrel çemberi içerisinde başka nokta bulunmamaktadır.

4.3.1.2 Delaunay Üçgenlemesinde Kullanılan Kriterler

Delaunay üçgenlemesinde iki önemli kriter vardır. Bunlardan biri eş açılılık kriteri iken, bir diğeri ise çevrel çember özelliğidir.

Ortak bir kenarı paylaşan 2 üçgen bir dörtgen oluşturur. Bu dörtgenin köşegeni ortak olan kenardır. Eğer bu dörtgen dışbükey ise köşegenin alternatif köşegen ile değiştirilmesi, dörtgeni oluşturan 2 üçgenin 6 iç açısından minimum olanın değerini arttırmamalıdır. Bu kural bu şekilde tüm dışbükey dörtgenler için sağlanmalıdır [26].



Şekil 4. 5 Dışbükey dörtgen, altı iç açı ve alternatif köşegen

Kural gereği, bir üçgenin çevrel çemberi içerisinde başka bir dayanak noktası bulunamaz. Eğer bulunursa, Hesap sırasında bu durumda düşünölmeli ve bu durum ortadan kaldırılmalıdır. Çevrel çemberin içerisinde başka bir noktanın olması durumunda, fazladan bulunan bir nokta, oluşturulacak diğör bir üçgenin ilk noktası olarak düşünölür [26].

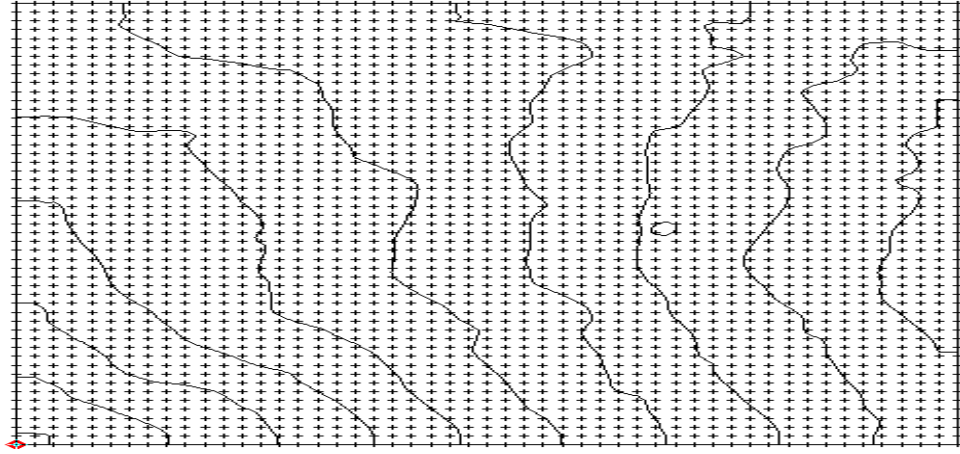
4.3.1.3 Delaunay Üçgenlemesinde Karşılaşılan Sorunlar

- Hız
- Depolama
- Veri Alanının Sınırlandırılması

Hız: Özellikle çevrel çember kriterinin sağlanabilmesi için ve verinin gereken kadarını kullanmak, kullanıcıları defalarca kontrole ve işlem yapmaya zorladığı için delaunay üçgenlemesinin çok hızlı olmadığını söylemek mümkündür. Verilere ulaşmak, kullanıcıya zaman kaybı yaşatmaktadır. Bunun önüne geçmek için verilerin sıralı bir şekilde olması gerekir ki bu, kullanıcıya aradığı veriyi çabucak bulmak imkanı sağlar. Diğör bir yöntem ise, çalışılan bölgenin parçalara ayrılmasıdır. Bu yöntem ile de hızdan tasarruf sağlanabilir.

Depolama: Çok sayıda dayanak noktası ile çalışmak bazen hassasiyeti arttırabildiği gibi, depolama alanını kısıtlayabilmektedir. İşlem hızını arttırmak için üzerinde çalışılan bölgelerin parçalara ayrılması, hız konusunda fayda sağlar ancak yine depolama sorunu ile karşılaşılmaktadır. Bilgisayar belleğinden yer kazanmak amacı ile uygulanabilecek bellek depolama yöntemleri için matrisin kare biçimde depolanması, yarı matrisin lineer depolanması, band matrisin dikdörtgen depolanması, band matrisin lineer depolanması ve değışken band matrisin lineer depolanması önerilebilir [26].

Veri Alanının Sınırlandırılması: Veri alanlarının sınırlandırılması, üçgenlemede yapılması gereken önemli bir uygulamadır. Özellikle arazide bulunan girinti ve çıkıntılar nedeniyle hatalı ve bozuk üçgenlerin oluşması olabildiğince muhtemeldir. Ayrıca, her noktadan üçgen oluşturmak isteyen yazılım programı, istenilen veri alanının belirtilmemesi durumunda kullanıcıya büyük bir zaman kaybı yaşatabilir.



Şekil 4. 6 Lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemiyle oluşturulan SYM

BÖLÜM 5

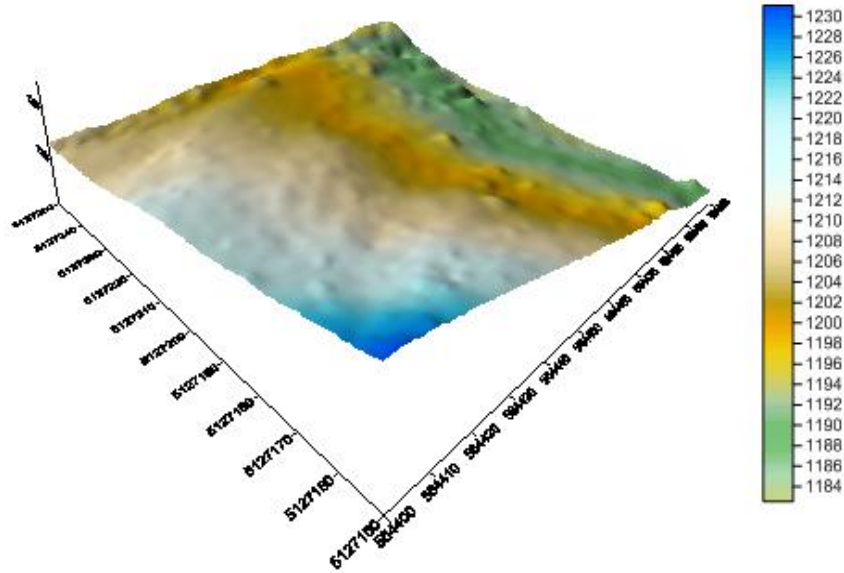
UYGULAMA

Yapılan uygulamanın amacı, farklı arazi tiplerinde farklı grid aralıkları ve enterpolasyon yöntemleri ile hacim hesaplarının yapılması ve karşılaştırılmasıdır. “Surfer” yazılım programında hazırlanan sayısal yükseklik modellerinin oluşumunda veri filtreleme işlemi verinin orijinalitesini bozacağı için, böyle bir işlem yapılmamıştır. Surfer’da veri filtreleme işlemi, “filter data” menüsünden yapılabilmektedir. Ayrıca uygulama çalışmalarında arama elipsi de kullanılmamıştır. Bu bölümde dört farklı arazide (A tipi, B tipi, C tipi ve D tipi) belirli referans kotlarına göre kazı, dolgu, işlemlerinin yapıldığı varsayımıyla bu arazilerden farklı yöntemler ile yapılan hacim hesapları incelenmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca, kazı ve dolgu hacimlerinin hesaplanabilmesi için arazi tiplerinin farklı grid aralıklarında ve farklı enterpolasyon yöntemlerinde hazırlanan sayısal yükseklik modelleri gösterilmiştir. Uygulama bölümünde üzerinde çalışılan arazi tipleri Çizelge 5.1’de özetlenmiştir ve özellikleri şu şekildedir.

Çizelge 5. 1 Uygulamada kullanılan arazi tipleri ve özellikleri

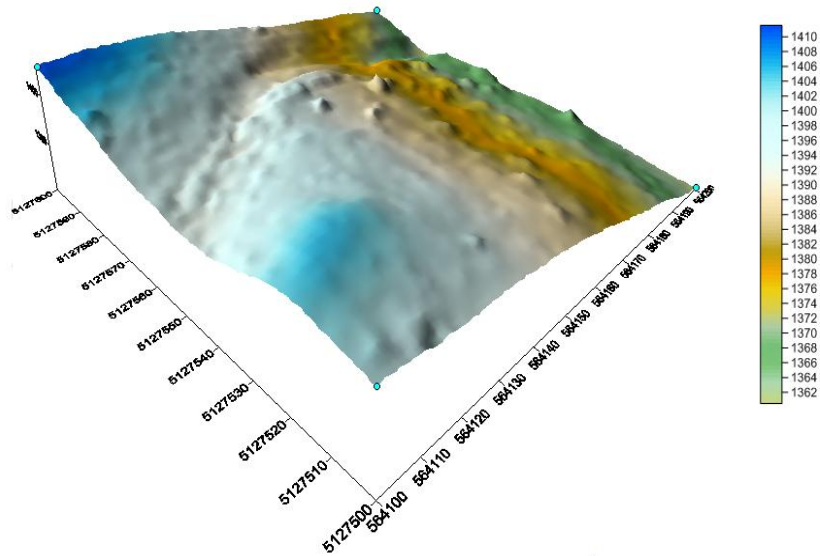
Arazi Tipi	A	B	C	D
Alan (m ²)	10000	10000	10000	10000
Referans Nokta Sayısı	2000	2337	2237	2108
Maksimum Yükseklik (m)	1230	1410	1250	1069
Minimum Yükseklik (m)	1180	1362	1212	1094
Kazı/Dolgu Yüksekliği (m)	1185	1355	1255	1080

A tipi arazi: Alanı 10000m² olan bu arazi modelinin maksimum ve minimum yükseklikleri, 1230m ve 1180m olup, Şekil 5.1’de görüldüğü gibi engebenin çok fazla olmadığı bir arazi tipidir.



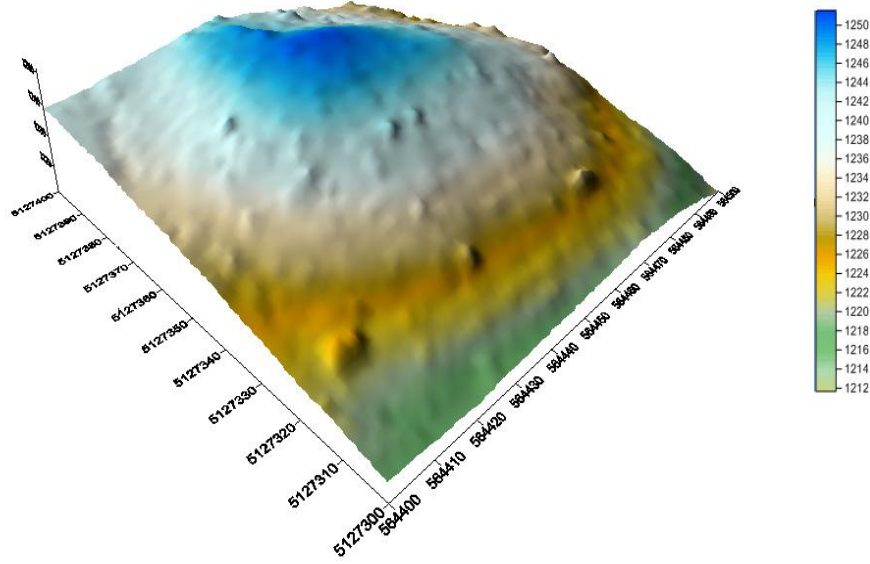
Şekil 5. 1 Kriging yöntemiyle SYM oluşturulan A tipi arazi

B tipi arazi: Alanı 10000m² olan bu arazi modelinin maksimum ve minimum yükseklikleri, 1410m ve 1362 m olup, Şekil 5.2’de görüldüğü gibi engebeli bir arazi tipidir.



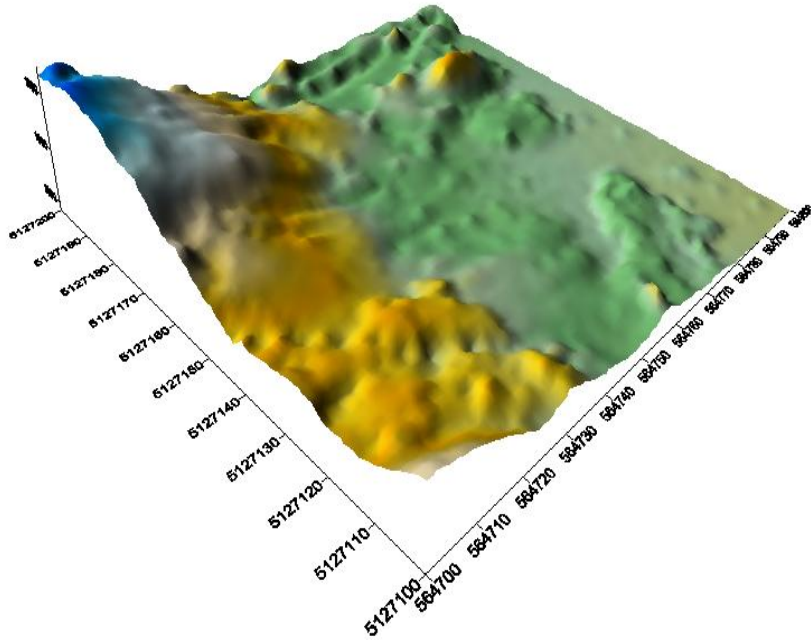
Şekil 5. 2 Kriging yöntemiyle SYM oluşturulan B tipi arazi

C tipi arazi: Alanı 10000m² olan bu arazi modelinin maksimum ve minimum yükseklikleri, 1250m ve 1212 m olup, Şekil 5.3’de görüldüğü gibi eğimli ve engebeli bir arazidir.



Şekil 5. 3 Kriging yöntemiyle SYM oluşturulan C tipi arazi

D tipi arazi: Bu arazi modelinin maksimum ve minimum yükseklikleri, 1069m ve 1094 m’ dir. Şekil 5.4’de görüldüğü gibi engebeli bir arazi tipidir.



Şekil 5. 4 Kriging yöntemiyle SYM oluşturulan D tipi arazi

5.1 A Tipi Arazi için SYM Oluşturulması ve Hacim Hesabının Yapılması

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde anlatılan kavramların, esasların, yöntemlerin vb. hususların, pratikteki etkileri analiz edilecek ve yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan sonuçlardan bahsedilecektir.

Uygulamanın bu bölümünde lidar verileri Surfer 9 yazılım programında işleme sokulmuş ve bu işlem sonucunda ortaya çıkan sonuçlar dikkate alınmıştır. Yapılan uygulamada, grid aralığının, veri sıklığının, hacim hesaplama yöntemlerinin ve enterpolasyon yöntemlerinin SYM oluşumuna ve hacim hesaplarına olan etkisi irdelenmiş olup, aşağıdaki kriterlere göre sayısal arazi modelleri oluşturulup, hacim hesabına gidilmiştir:

- **Grid Aralığı:** 1m, 2m, 5m ve 10m aralıklar ile gridleme yapılmıştır.
- **Veri Sıklığı:** Mevcut veriler rastgele azaltılarak homojen dağılımlı noktalar ile sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur.
- **Hacim Hesaplama Yöntemleri:** Trapez kuralı, Simpson kuralı ve Simpson 3/8 kuralı kullanılmıştır.
- **Enterpolasyon Yöntemleri:** Mesafenin tersine göre enterpolasyon, lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemi ve kriging metodu ile enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

A tipi arazi için yapılan uygulamada referans kazı yüksekliği 1185m olup, farklı enterpolasyon yöntemleri, farklı nokta yoğunlukları ve farklı grid aralıklarında hazırlanmış sayısal arazi modelleri oluşturulduktan sonra, hacim hesabı yapılmıştır.

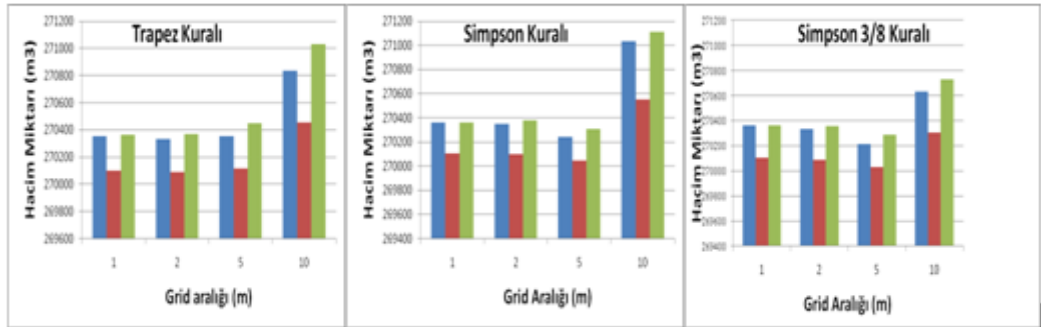
Grid Aralığı (m)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Kriging Metodu
1			
2			
5			
10			

Şekil 5. 5 5 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.5’de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Bir başka deyiş ile grid aralığı ne kadar fazla ise, arazide gösterilmek istenen detay, o kadar azalır.

Çizelge 5. 2 Nokta yoğunluğu 5 m² / nokta olan arazide hacim hesabı

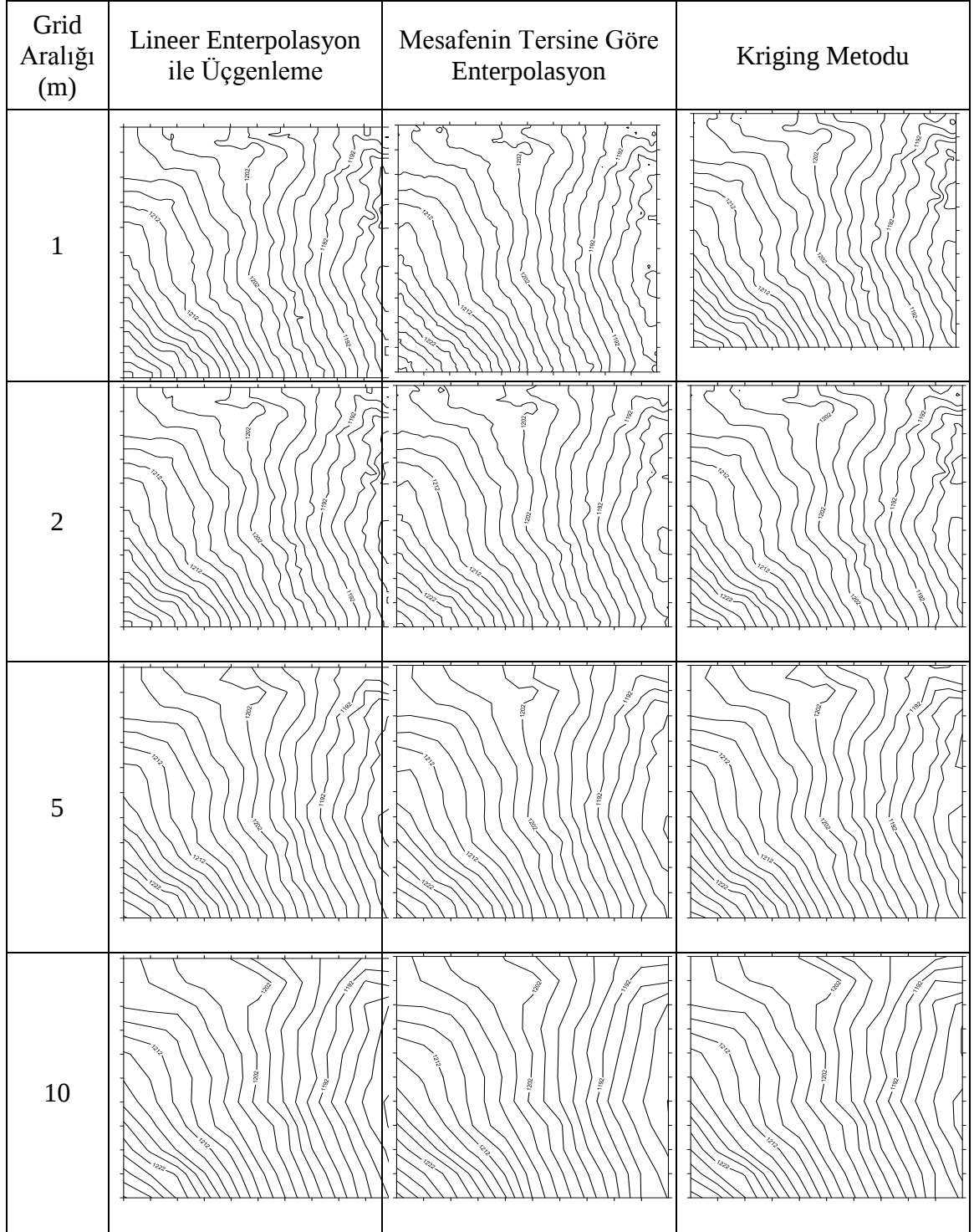
HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMI (m3)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	270353.942	0.000	270099.787	0.000	270362.204	0.000
	2	270330.906	-0.230	270086.909	-0.129	270367.428	0.052
	5	270355.342	0.014	270116.461	0.167	270448.878	0.867
	10	270837.241	4.833	270454.021	3.542	271033.286	6.711
Simpson Kuralı	1	270361.910	0.000	270106.323	0.000	270360.311	0.000
	2	270350.986	-0.109	270099.874	-0.064	270376.244	0.159
	5	270239.950	-1.220	270043.121	-0.632	270306.979	-0.533
	10	271035.095	6.732	270550.497	4.442	271111.034	7.507
Simpson 3/8 Kuralı	1	270364.156	0.000	270104.327	0.000	270361.459	0.000
	2	270334.451	-0.297	270089.176	-0.152	270357.413	-0.040
	5	270213.992	-1.502	270031.805	-0.725	270288.520	-0.729
	10	270630.575	2.664	270303.098	1.988	270730.093	3.686



Şekil 5. 6 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.6’da görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı lineer bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.2’ye bakıldığında grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden elde edilen kazı hacimlerinin oransal farkları görülebilir.

Oransal farklara bakıldığında ise, genel olarak 5 metreden sonraki grid aralıklarında, fark miktarlarının arttığı çok açık bir şekilde görülmektedir.

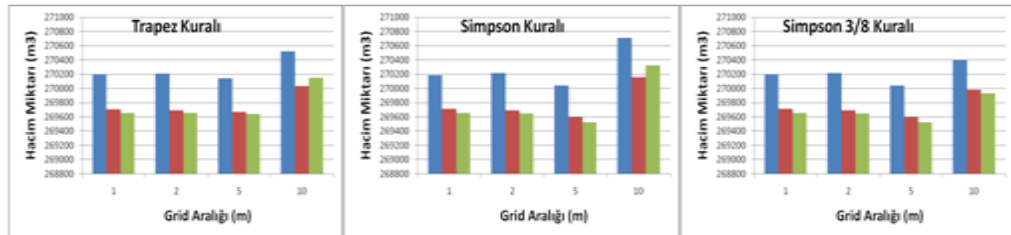


Şekil 5. 7 10 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.7’de görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

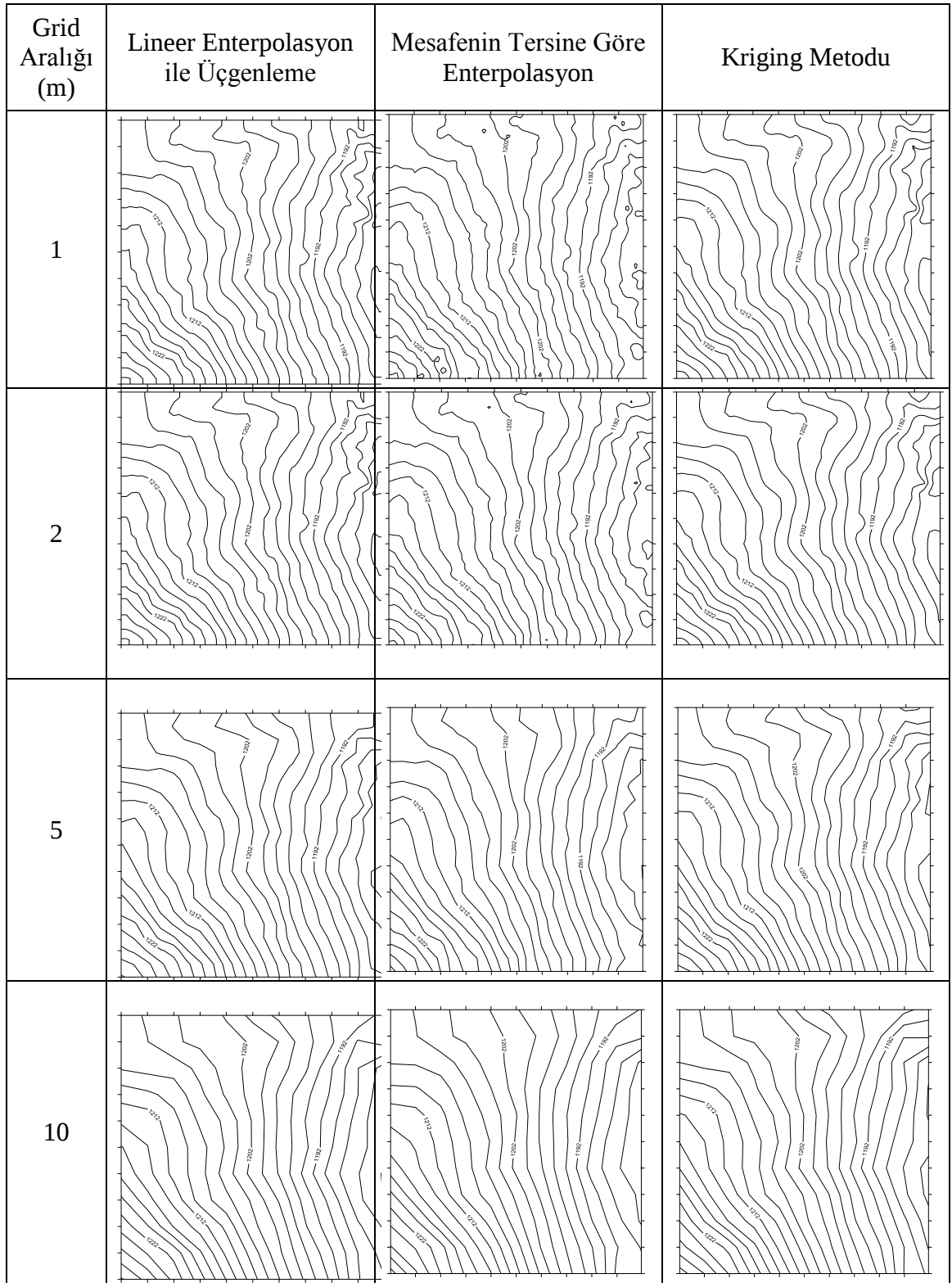
Çizelge 5. 3 Nokta yoğunluğu $10 \text{ m}^2 / \text{nokta}$ olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	270192.040	0.000	269707.694	0.000	269651.633	0.000
	2	270207.253	0.152	269690.987	-0.167	269651.725	0.001
	5	270141.075	-0.510	269670.338	-0.374	269639.085	-0.125
	10	270520.422	3.284	270035.154	3.275	270149.129	4.975
Simpson Kuralı	1	270187.176	0.000	269714.181	0.000	269651.526	0.000
	2	270213.112	0.259	269694.024	-0.202	269650.052	-0.015
	5	270040.807	-1.464	269598.319	-1.159	269521.521	-1.300
	10	270712.760	5.256	270156.257	4.421	270322.771	6.712
Simpson 3/8 Kuralı	1	270192.936	0.000	269710.559	0.000	269651.372	0.000
	2	270212.160	0.192	269689.860	-0.207	269647.316	-0.041
	5	270040.638	-1.523	269595.456	-1.151	269521.413	-1.300
	10	270395.002	2.021	269981.316	2.708	269934.254	2.829



Şekil 5. 8 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.8’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.3’e bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden farklı interpolasyon yöntemleri ile elde edilen hacim miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

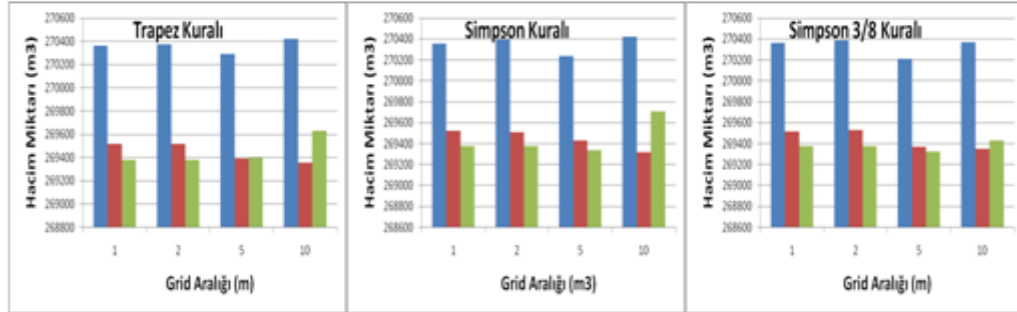


Şekil 5. 9 20 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.9’da görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge 5. 4 Nokta yoğunluğu 20 m² / nokta olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	270362.344	0.000	269516.856	0.000	269380.176	0.000
	2	270374.147	0.118	269517.021	0.002	269382.720	0.025
	5	270292.493	-0.699	269390.609	-1.262	269395.196	0.150
	10	270421.399	0.591	269353.607	-1.632	269629.228	2.491
Simpson Kuralı	1	270358.088	0.000	269520.161	0.000	269380.196	0.000
	2	270396.824	0.387	269510.487	-0.097	269377.907	-0.023
	5	270234.935	-1.232	269427.877	-0.923	269338.299	-0.419
	10	270419.678	0.616	269319.933	-2.002	269710.388	3.302
Simpson 3/8 Kuralı	1	270363.482	0.000	269518.910	0.000	269379.260	0.000
	2	270387.169	0.237	269530.365	0.115	269377.229	-0.020
	5	270213.235	-1.502	269369.671	-1.492	269324.270	-0.550
	10	270369.267	0.058	269349.489	-1.694	269432.636	0.534



Şekil 5. 10 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.10 'da görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.4'e bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

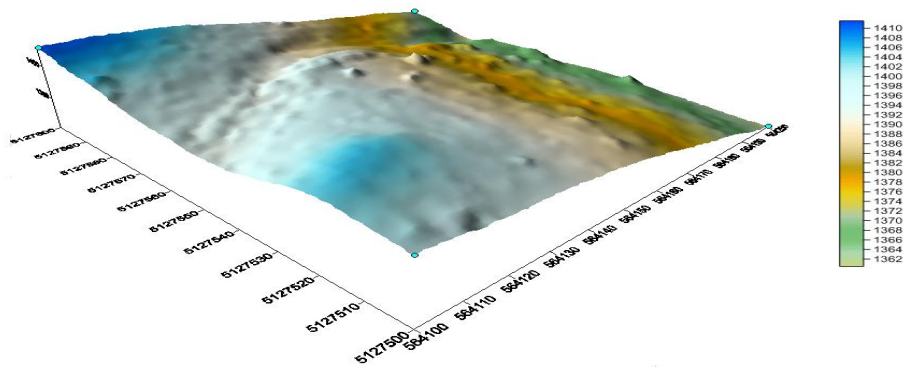
5.2 B Tipi Arazi için SYM Oluşturulması ve Hacim Hesabının Yapılması

Bu bölümde, uygulama öncesindeki bölümlerde anlatılan kavramların, esasların, yöntemlerin vb. hususların, pratikteki etkileri analiz edilecek ve yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan sonuçlardan bahsedilecektir.

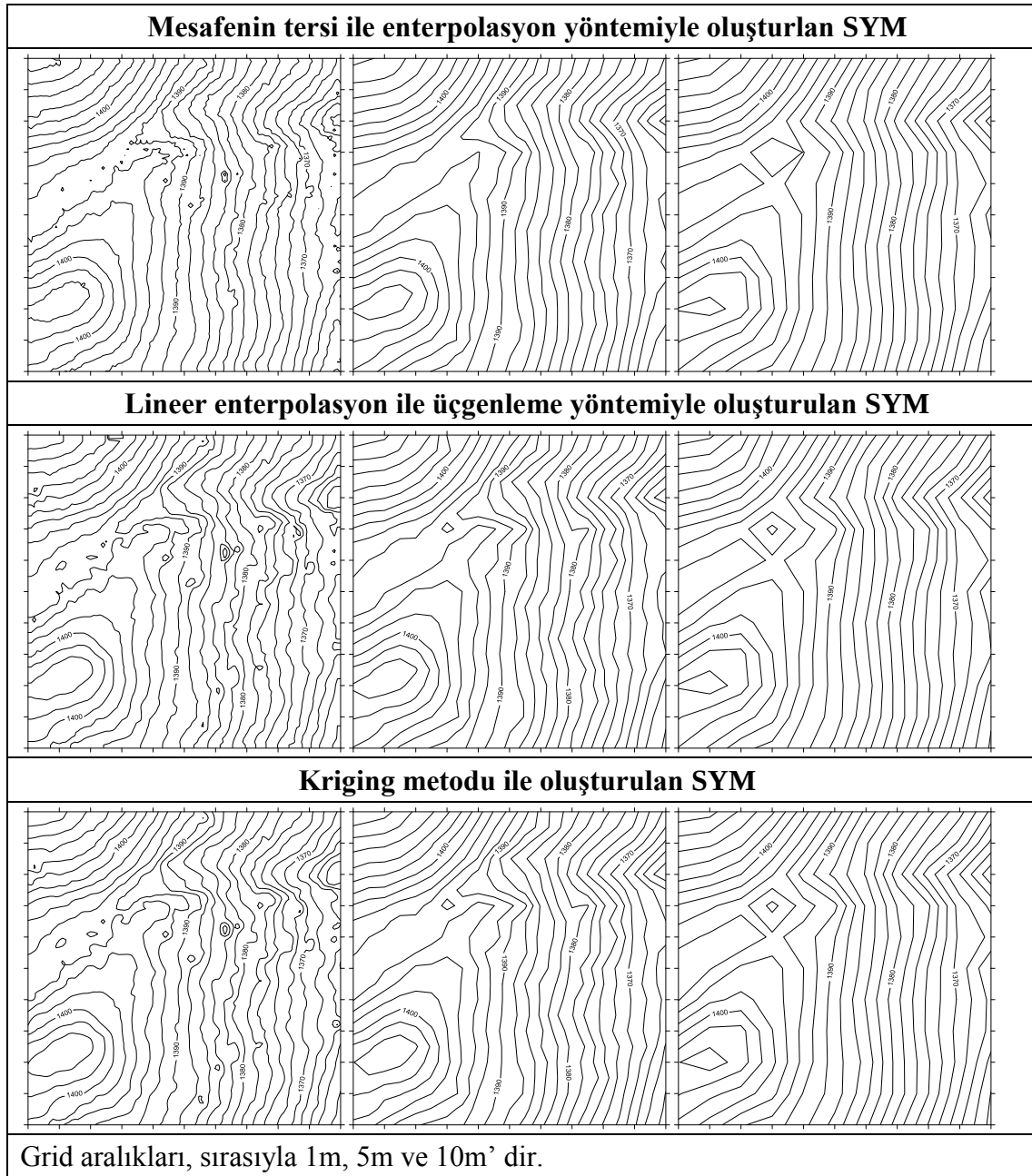
A tipi arazide olduğu gibi, yine lidar verileri Surfer 9 yazılım programında işleme sokulmuş ve bu işlem sonucunda ortaya çıkan sonuçlar dikkate alınmıştır. Yapılan uygulamada, grid aralığının, veri sıklığının, hacim hesaplama yöntemlerinin ve enterpolasyon yöntemlerinin SYM oluşumuna ve hacim hesaplarına olan etkisi irdelenmiş olup, aşağıdaki kriterlere göre sayısal arazi modelleri oluşturulup, hacim hesabına gidilmiştir:

- **Grid Aralığı:** 1m, 5m ve 10m aralıklar ile gridleme yapılmıştır.
- **Veri Sıklığı:** Mevcut veriler rastgele azaltılarak homojen dağılımlı noktalar ile sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur.
- **Hacim Hesaplama Yöntemleri:** Trapez kuralı, Simpson kuralı ve Simpson 3/8 kuralı kullanılmıştır.
- **Enterpolasyon Yöntemleri:** Mesafenin tersine göre enterpolasyon, lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemi ve kriging metodu ile enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

B tipi arazi için yapılan uygulamada referans kazı yüksekliği 1355m olup, farklı enterpolasyon yöntemleri, farklı nokta yoğunlukları ve farklı grid aralıklarında hazırlanmış sayısal arazi modelleri oluşturulduktan sonra, hacim hesabı yapılmıştır.



Şekil 5. 11 Kriging yöntemi ile B tipi arazisi için oluşturulan SYM



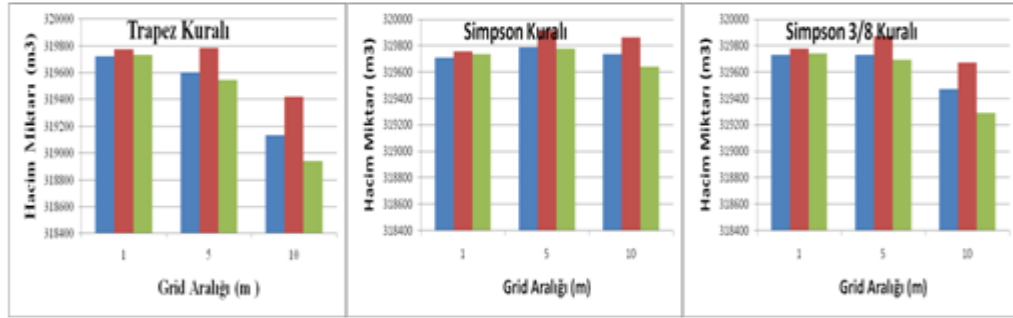
Şekil 5. 12 4.35 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.12'de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Yani grid aralıkları arttıkça arazide gösterilmek istenen detay azalmaktadır.

Burada, 10m aralıklar ile yapılan çalışmalara dikkat edildiği zaman, yükseklik eğrilerinin ne kadar çubuksu bir görünüm aldığını görmek mümkündür.

Çizelge 5. 5 Nokta yoğunluğu 4.35 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı

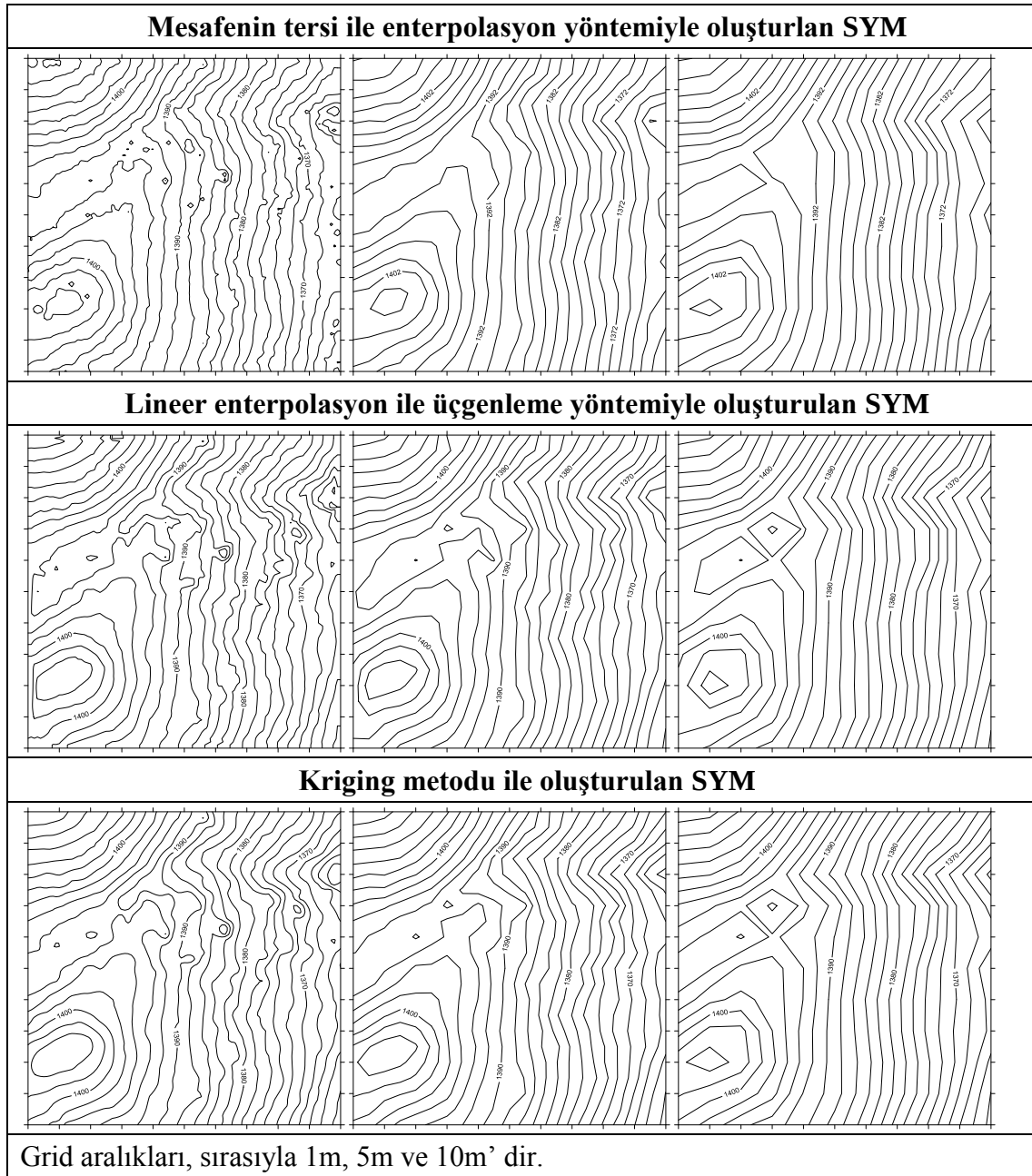
HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m ³)					
		Lineer Entropolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Entropolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	319725.564	0.000	319773.379	0.000	319735.303	0.000
	5	319602.959	-1.226	319783.406	0.100	319547.574	-1.877
	10	319135.089	-5.905	319421.722	-3.517	318941.088	-7.942
Simpson Kuralı	1	319711.606	0.000	319757.945	0.000	319738.408	0.000
	5	319789.364	0.778	319914.209	1.563	319778.052	0.396
	10	319734.806	0.232	319863.920	1.060	319642.136	-0.963
Simpson 3/8 Kuralı	1	319729.880	0.000	319776.440	0.000	319740.174	0.000
	5	319731.977	0.021	319874.701	0.983	319694.479	-0.457
	10	319470.389	-2.595	319674.648	-1.018	319289.689	-4.505



Şekil 5. 13 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.13’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.5’e bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

Hacimler grafiğinin yükseklik farkı çok olmayana arazi yapılarında, yani engebelerin çok sık görülmediği arazilerde artan ya da azalan yönde lineer olması beklenirken, B tipi arazisinde yükseklik farkları arazinin her yerinde aynı olmadığından, bazı durumlarda parabolik ya da düzensiz grafiklere rastlamak mümkündür.

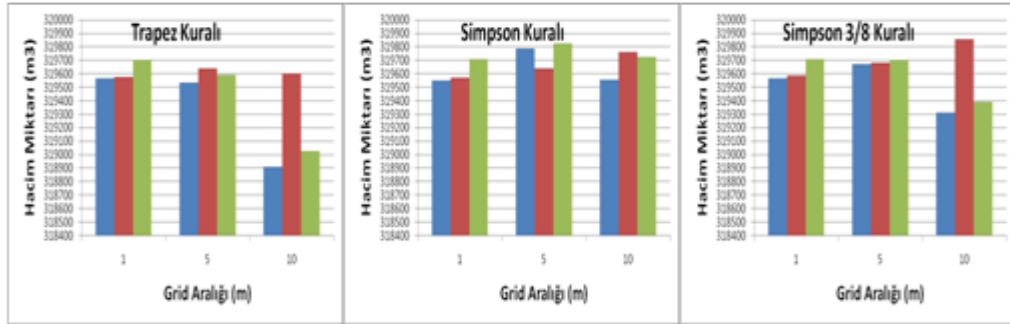


Şekil 5. 14 8.33 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.14'de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge 5. 6 Nokta yoğunluğu 8.33 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı

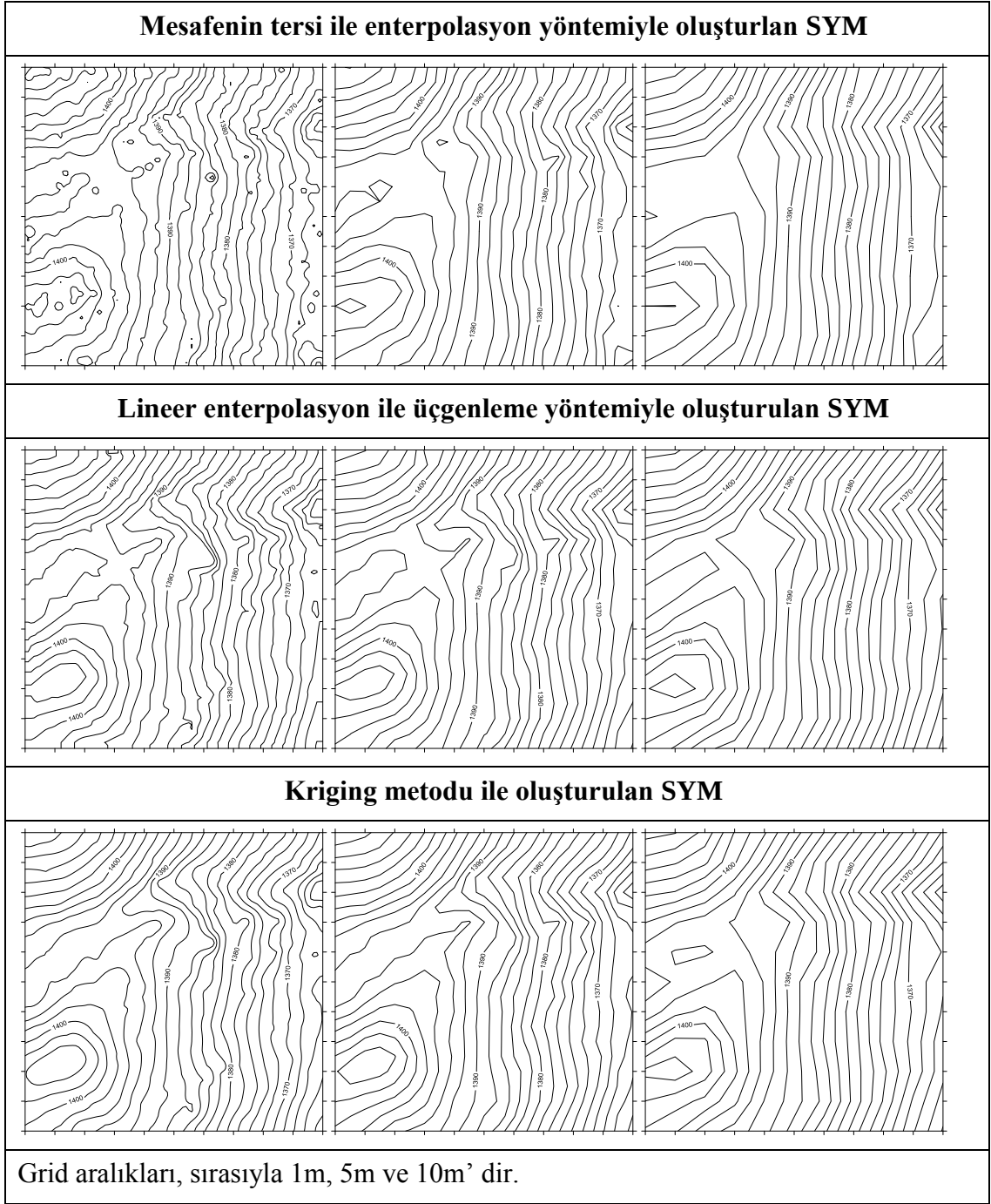
HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	319565.360	0.000	319577.871	0.000	319705.122	0.000
	5	319533.293	-0.321	319639.976	0.621	319590.995	-1.141
	10	318908.820	-6.565	319605.553	0.277	319028.648	-6.765
Simpson Kuralı	1	319549.143	0.000	319570.902	0.000	319708.190	0.000
	5	319790.574	2.414	319638.776	0.679	319825.859	1.177
	10	319557.471	0.083	319759.989	1.891	319725.221	0.170
Simpson 3/8 Kuralı	1	319569.155	0.000	319586.038	0.000	319709.053	0.000
	5	319674.693	1.055	319683.875	0.978	319703.069	-0.060
	10	319311.972	-2.572	319858.936	2.729	319393.282	-3.158



Şekil 5. 15 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.15’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.6’ya bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

Hacimler grafiğinin yükseklik farkı çok olmayana arazi yapılarında, yani engebenin çok sık görülmediği arazilerde artan ya da azalan yönde lineer olması beklenirken, B tipi arazisinde yükseklik farkları arazinin her yerinde aynı olmadığından, bazı durumlarda parabolik ya da düzensiz grafiklere rastlamak mümkündür.

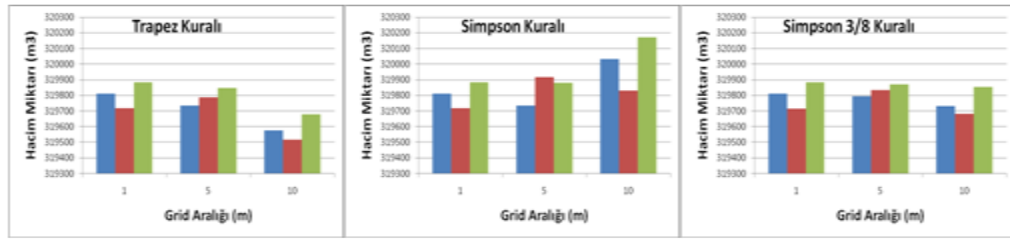


Şekil 5. 16 16.67 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.16'da görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge 5. 7 Nokta yoğunluğu $16.67 \text{ m}^2 / \text{nokta}$ olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	319809.406	0.000	319719.568	0.000	319883.049	0.000
	5	319734.756	-0.746	319788.984	0.694	319847.066	-0.360
	10	319576.105	-2.333	319516.896	-2.027	319677.648	-2.054
Simpson Kuralı	1	319809.302	0.000	319719.679	0.000	319884.825	0.000
	5	319734.749	-0.746	319916.496	1.968	319881.965	-0.029
	10	320031.982	2.227	319831.327	1.116	320172.235	2.874
Simpson 3/8 Kuralı	1	319809.558	0.000	319716.145	0.000	319883.933	0.000
	5	319793.734	-0.158	319833.325	1.172	319871.049	-0.129
	10	319730.209	-0.793	319680.205	-0.359	319853.402	-0.305



Şekil 5. 17 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.17’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.7’ye bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

Hacimler grafiğinin yükseklik farkı çok olmayana arazi yapılarında, yani engebenin çok sık görülmediği arazilerde artan yada azalan yönde lineer olması beklenirken, B tipi arazisinde yükseklik farkları arazinin her yerinde aynı olmadığından, bazı durumlarda parabolik ya da düzensiz grafiklere rastlamak mümkündür.

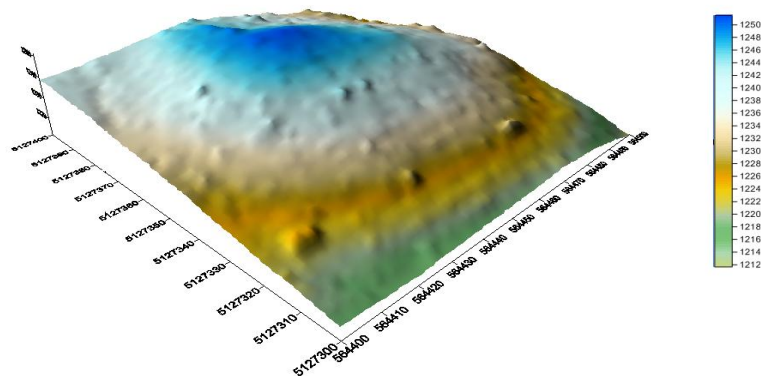
5.3 C Tipi Arazi için SYM Oluşturulması ve Hacim Hesabının Yapılması

Bu bölümde, uygulama öncesindeki bölümlerde anlatılan kavramların, esasların, yöntemlerin vb. hususların, pratikteki etkileri analiz edilecek ve yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan sonuçlardan bahsedilecektir.

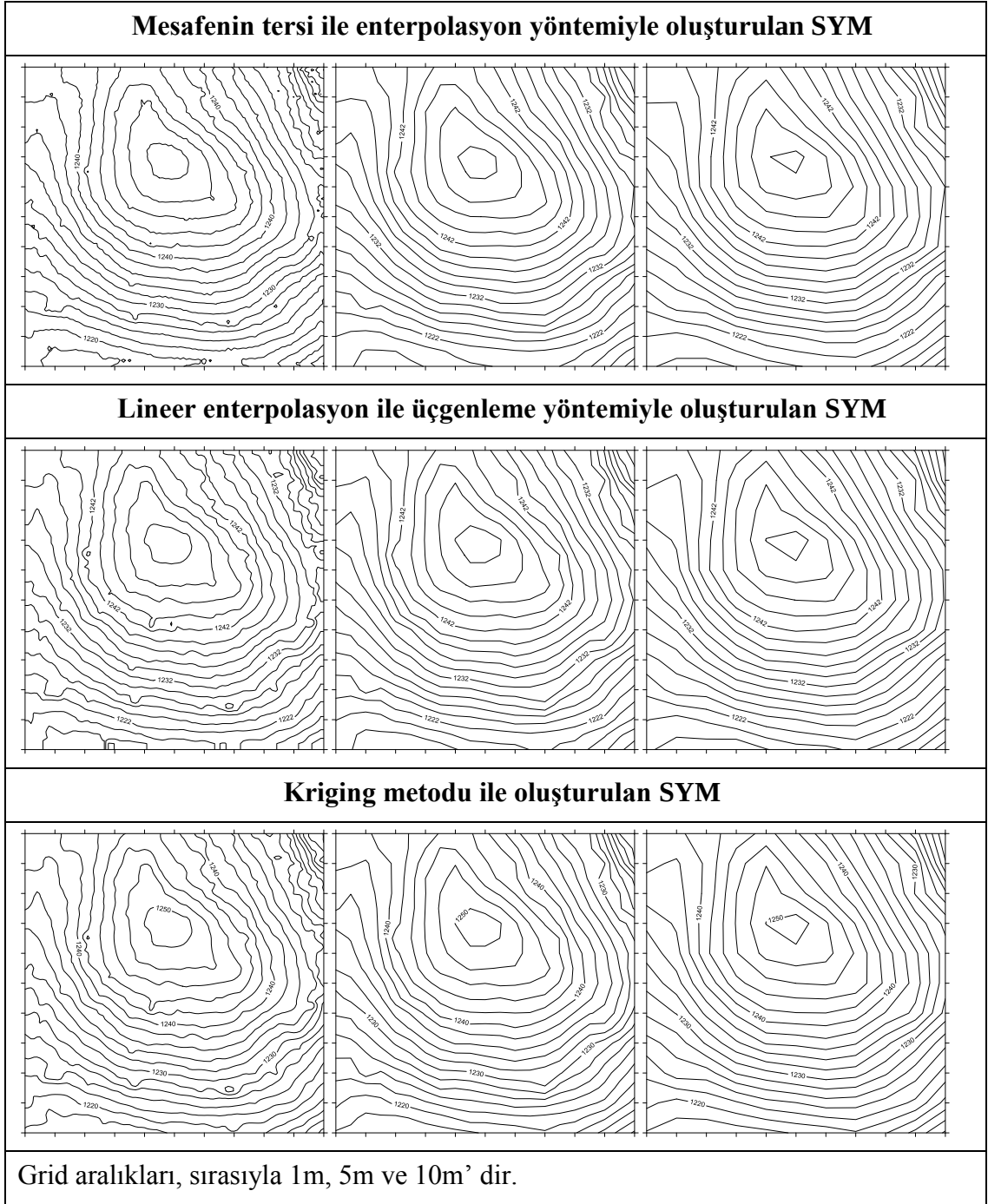
A ve B tipi arazilerde olduğu gibi, lidar arazi verileri Surfer 9 yazılım programında işleme sokulmuş ve bu işlem sonucunda ortaya çıkan sonuçlar dikkate alınmıştır. Yapılan uygulamada, grid aralığının, veri sıklığının, hacim hesaplama yöntemlerinin ve enterpolasyon yöntemlerinin SYM oluşumuna ve hacim hesaplarına olan etkisi irdelenmiş olup, aşağıdaki kriterlere göre sayısal arazi modelleri oluşturulup, hacim hesabına gidilmiştir:

- **Grid Aralığı:** 1m, 5m ve 10m aralıklar ile gridleme yapılmıştır.
- **Veri Sıklığı:** Mevcut veriler rastgele azaltılarak homojen dağılımlı noktalar ile sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur.
- **Hacim Hesaplama Yöntemleri:** Trapez kuralı, Simpson kuralı ve Simpson 3/8 kuralı kullanılmıştır.
- **Enterpolasyon Yöntemleri:** Mesafenin tersine göre enterpolasyon, lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemi ve kriging metodu ile enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

B tipi arazi için yapılan uygulamada referans kazı yüksekliği 1355m olup, farklı enterpolasyon yöntemleri, farklı nokta yoğunlukları ve farklı grid aralıklarında hazırlanmış sayısal arazi modelleri oluşturulduktan sonra, hacim hesabı yapılmıştır.



Şekil 5. 18 Kriging yöntemi oluşturulan C tipi arazisine ait SYM

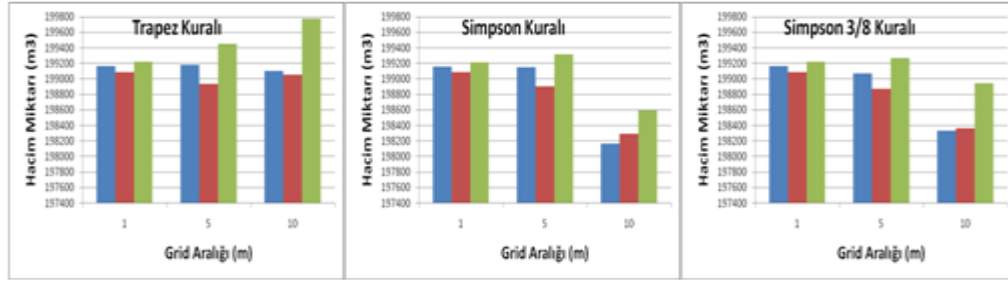


Şekil 5. 19 4.55 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.19'da görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

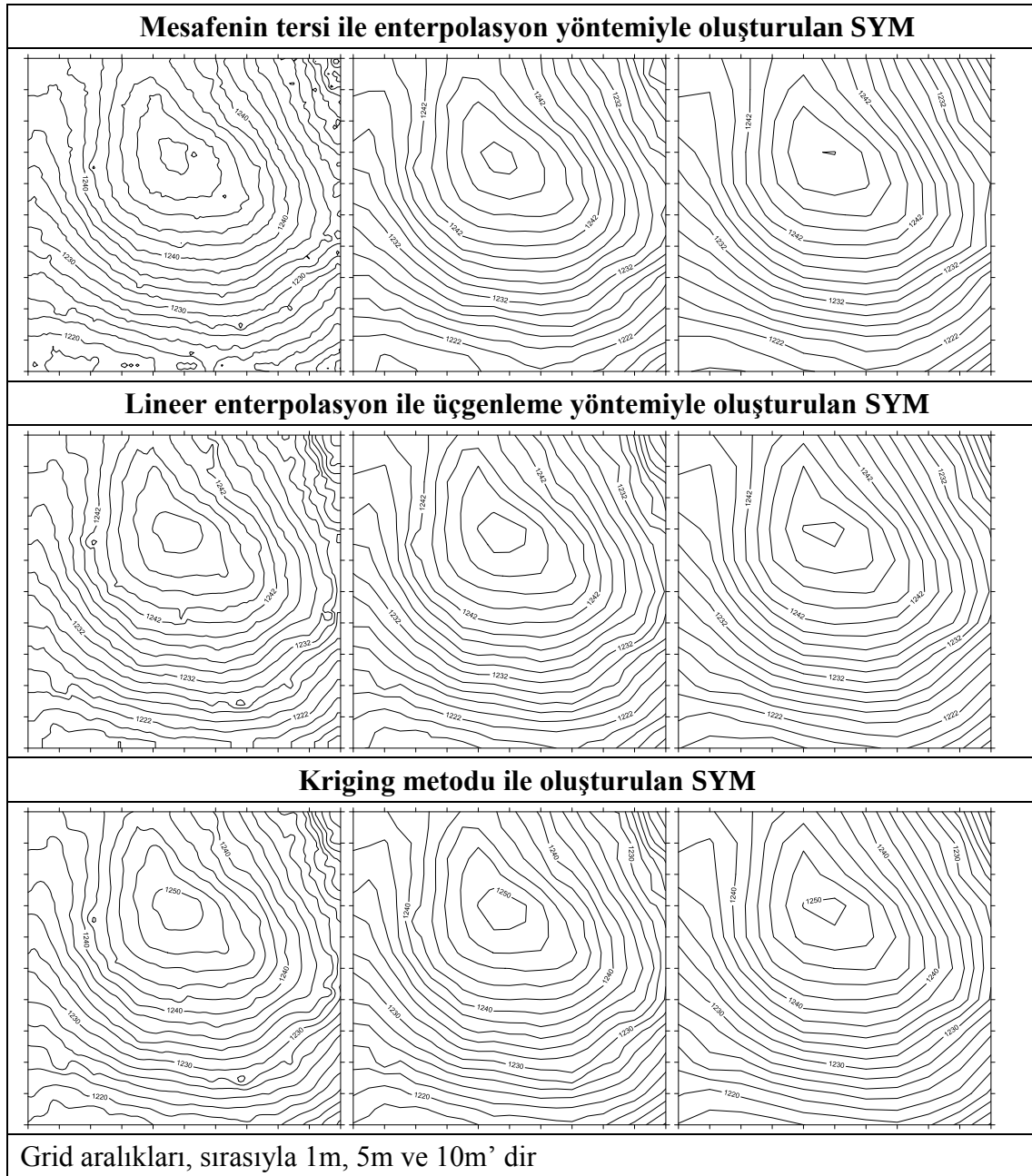
Çizelge 5. 8 Nokta yoğunluğu 4.55 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN DOLGU HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	199162.418	0.000	199087.035	0.000	199224.087	0.000
	5	199180.046	0.176	198937.797	-1.492	199454.503	2.304
	10	199101.990	-0.604	199051.608	-0.354	199780.901	5.568
Simpson Kuralı	1	199161.816	0.000	199089.723	0.000	199216.967	0.000
	5	199151.166	-0.106	198906.211	-1.835	199314.056	0.971
	10	198168.864	-9.930	198294.249	-7.955	198591.544	-6.254
Simpson 3/8 Kuralı	1	199162.141	0.000	199090.024	0.000	199217.893	0.000
	5	199072.744	-0.894	198869.438	-2.206	199266.201	0.483
	10	198335.193	-8.269	198362.057	-7.280	198945.399	-2.725



Şekil 5. 20 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.20’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.8’e bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir. C tipi arazide de yükseklik farkı yer yer değiştiğinden dolayı, çalışmalar sonucunda lineer grafiklerin yanı sıra, lineer olmayan grafikler de görmek mümkündür. Ayrıca, Çizelge 5.8’de, hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimleri görülmektedir. Grid aralıkları 10m iken hacim miktarlarının diğer grid aralıklarında olan değerlere kıyas ile hayli değiştiğini görebilmek mümkündür.

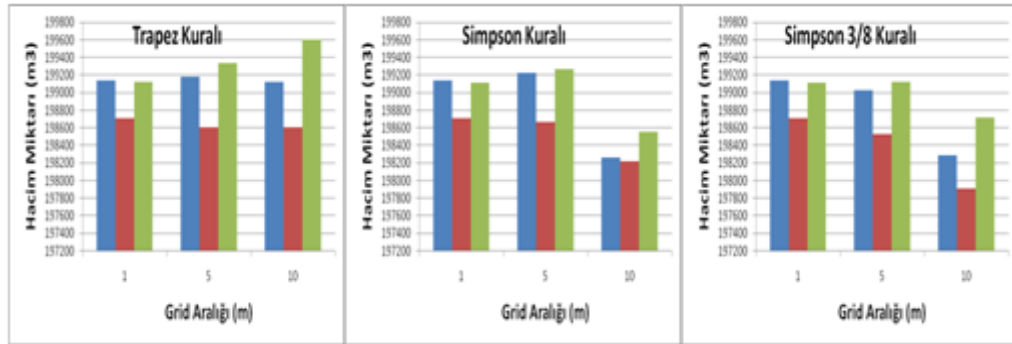


Şekil 5. 21 9.09 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.21'de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

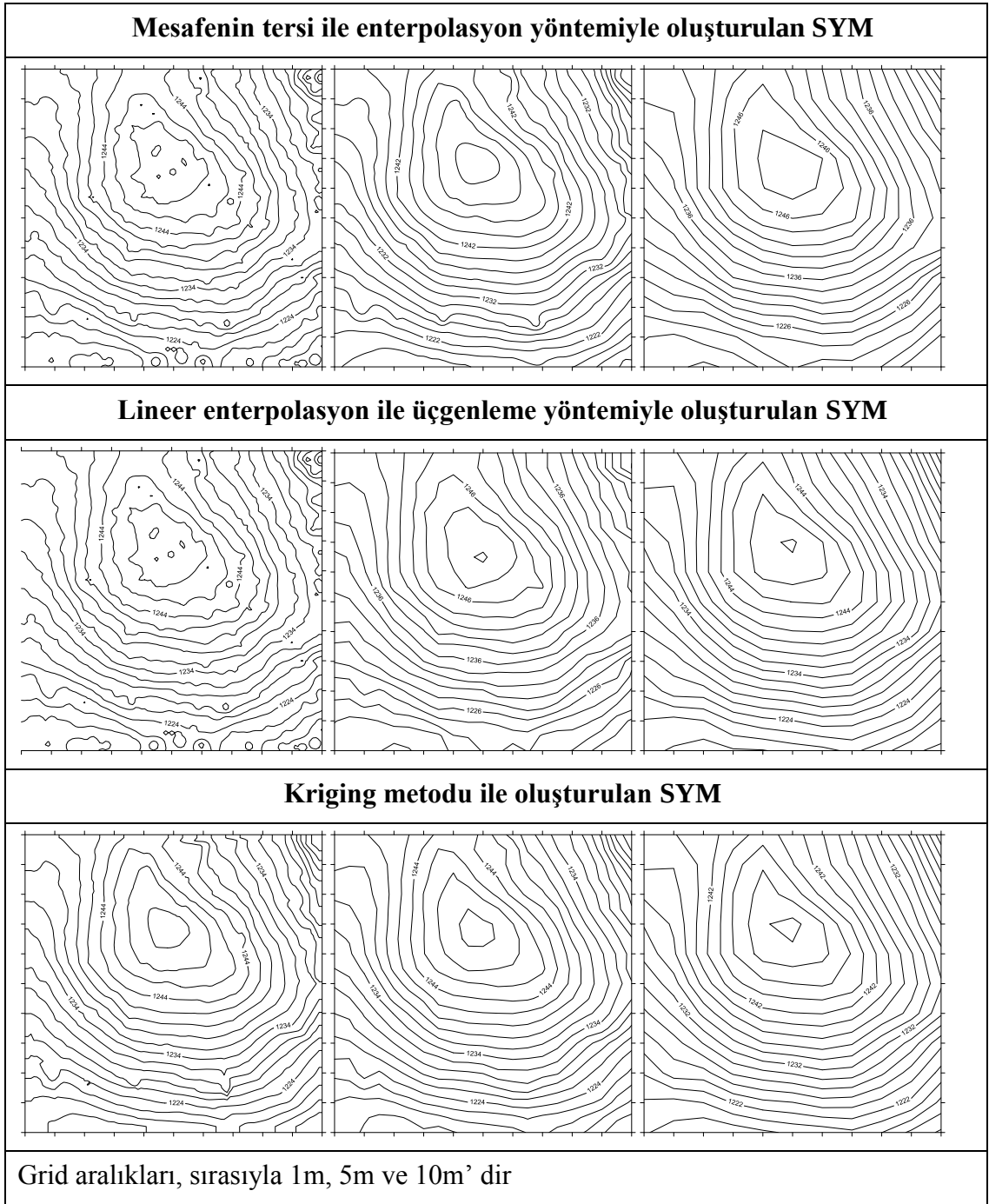
Çizelge 5. 9 Nokta yoğunluğu 9.09 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN DOLGU HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	199139.711	0.000	198709.114	0.000	199123.071	0.000
	5	199185.764	0.461	198609.391	-0.997	199335.471	2.124
	10	199124.216	-0.155	198608.997	-1.001	199601.856	4.788
Simpson Kuralı	1	199143.074	0.000	198708.668	0.000	199116.936	0.000
	5	199226.897	0.838	198668.829	-0.398	199270.067	1.531
	10	198261.674	-8.814	198215.533	-4.931	198556.038	-5.609
Simpson 3/8 Kuralı	1	199135.771	0.000	198710.455	0.000	199117.077	0.000
	5	199023.643	-1.121	198526.486	-1.840	199120.859	0.038
	10	198290.241	-8.455	197911.364	-7.991	198714.989	-4.021



Şekil 5. 22 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.22’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.9’a bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir. C tipi arazide de yükseklik farkı yer yer değiştiğinden dolayı, çalışmalar sonucunda lineer grafiklerin yanı sıra, lineer olmayan grafikler de görmek mümkündür.

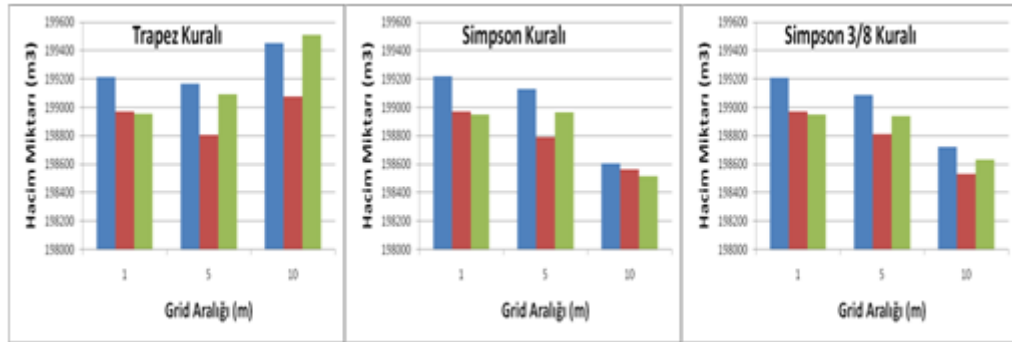


Şekil 5. 23 16.67 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.23'de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge 5. 10 Nokta yoğunluğu $16.67 \text{ m}^2 / \text{nokta}$ olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN DOLGU HACMI (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	199215.036	0.000	198970.467	0.000	198956.729	0.000
	5	199168.906	-0.461	198808.460	-1.620	199090.843	1.341
	10	199454.382	2.393	199075.564	1.051	199511.997	5.553
Simpson Kuralı	1	199217.949	0.000	198969.067	0.000	198949.623	0.000
	5	199129.393	-0.886	198791.710	-1.774	198967.200	0.176
	10	198604.934	-6.130	198564.718	-4.043	198514.715	-4.349
Simpson 3/8 Kuralı	1	199210.357	0.000	198970.615	0.000	198950.646	0.000
	5	199084.684	-1.257	198811.619	-1.590	198941.749	-0.089
	10	198723.905	-4.865	198533.051	-4.376	198632.278	-3.184



Şekil 5. 24 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil 5.24’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge 5.10’a bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

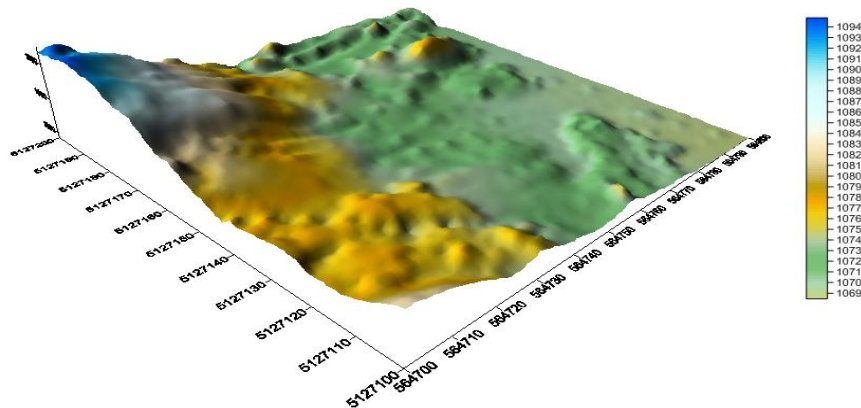
5.4 D tipi Arazide SYM'nin Oluşturulması ve Hacim Hesabının Yapılması

Bu bölümde, uygulama öncesindeki bölümlerde anlatılan kavramların, esasların, yöntemlerin vb. hususların, pratikteki etkileri analiz edilecek ve yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan sonuçlardan bahsedilecektir.

A, B ve C tipi arazilerde olduğu gibi, lidar arazi verileri Surfer 9 yazılım programında işleme sokulmuş ve bu işlem sonucunda ortaya çıkan sonuçlar dikkate alınmıştır. Yapılan uygulamada, grid aralığının, veri sıklığının, hacim hesaplama yöntemlerinin ve enterpolasyon yöntemlerinin SYM oluşumuna ve hacim hesaplarına olan etkisi irdelenmiş olup, aşağıdaki kriterlere göre sayısal arazi modelleri oluşturulup, hacim hesabına gidilmiştir:

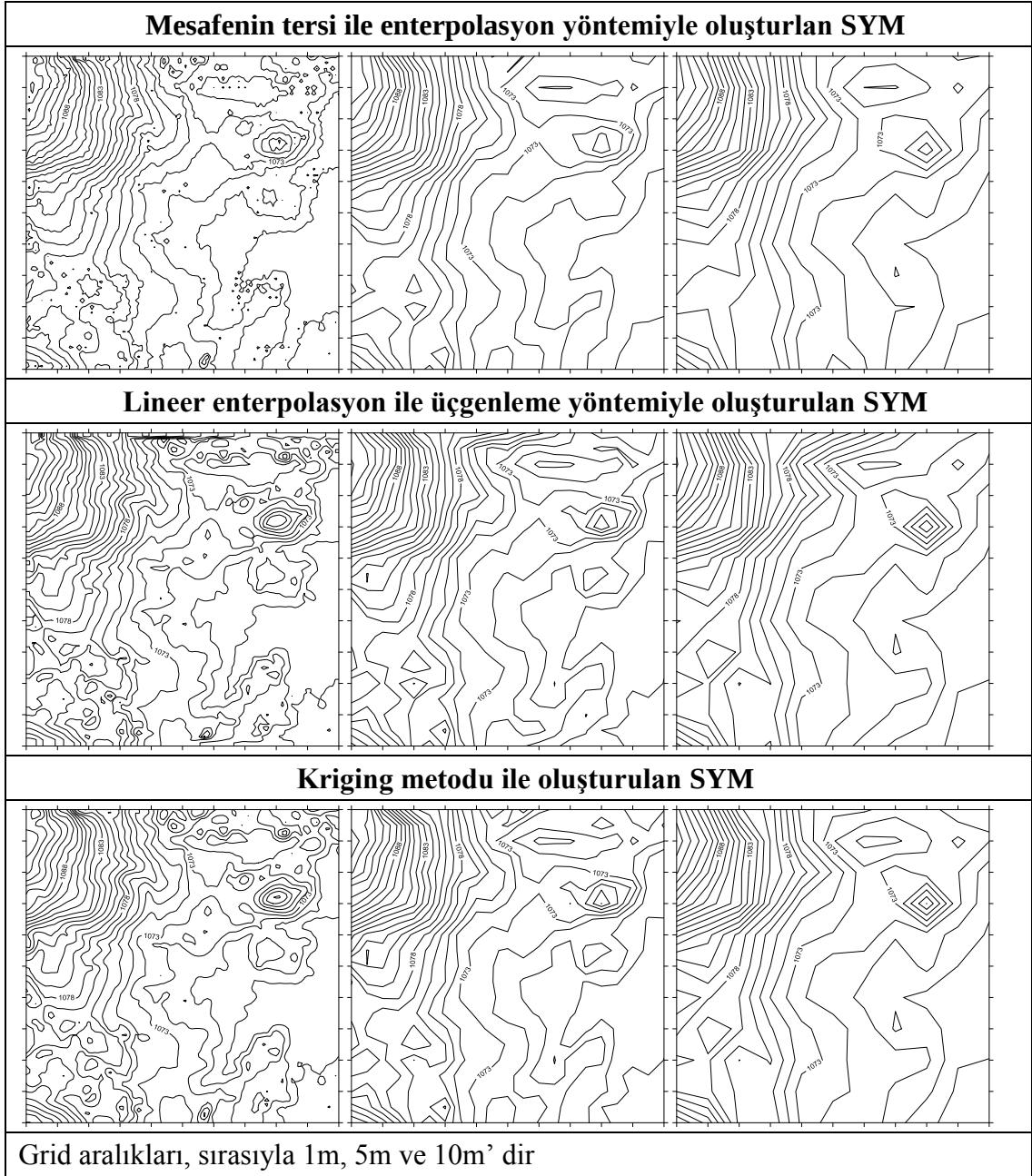
- **Grid Aralığı:** 1m, 5m ve 10m aralıklar ile gridleme yapılmıştır.
- **Veri Sıklığı:** Mevcut veriler rastgele azaltılarak homojen dağılımlı noktalar ile sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur.
- **Hacim Hesaplama Yöntemleri:** Trapez kuralı, Simpson kuralı ve Simpson 3/8 kuralı kullanılmıştır.
- **Enterpolasyon Yöntemleri:** Mesafenin tersine göre enterpolasyon, lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemi ve kriging metodu ile enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

B tipi arazi için yapılan uygulamada referans kazı yüksekliği 1355m olup, farklı enterpolasyon yöntemleri, farklı nokta yoğunlukları ve farklı grid aralıklarında hazırlanmış sayısal arazi modelleri oluşturulduktan sonra, hacim hesabı yapılmıştır.



Şekil 5. 25 Kriging yöntemi ile D tipi arazi için oluşturulan SYM

D tipi arazide diğer arazilerden farklı olarak kazı ve dolgu hacimlerinin hesabı birlikte yapılmış olup, farklı enterpolasyon yöntemlerinin kazı ve dolgu grafikleri çizdirilmiş ve farklı grid aralıklarındaki değişimler gözlenmiştir.

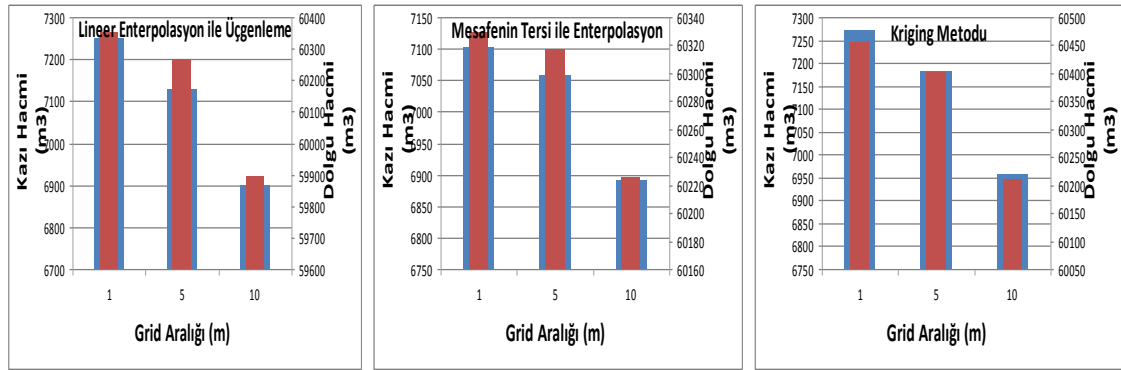


Şekil 5. 26 4.66 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.26'da görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge 5. 11 Nokta yoğunluğu $4.66 \text{ m}^2 / \text{nokta}$ olan arazide hacim hesabı

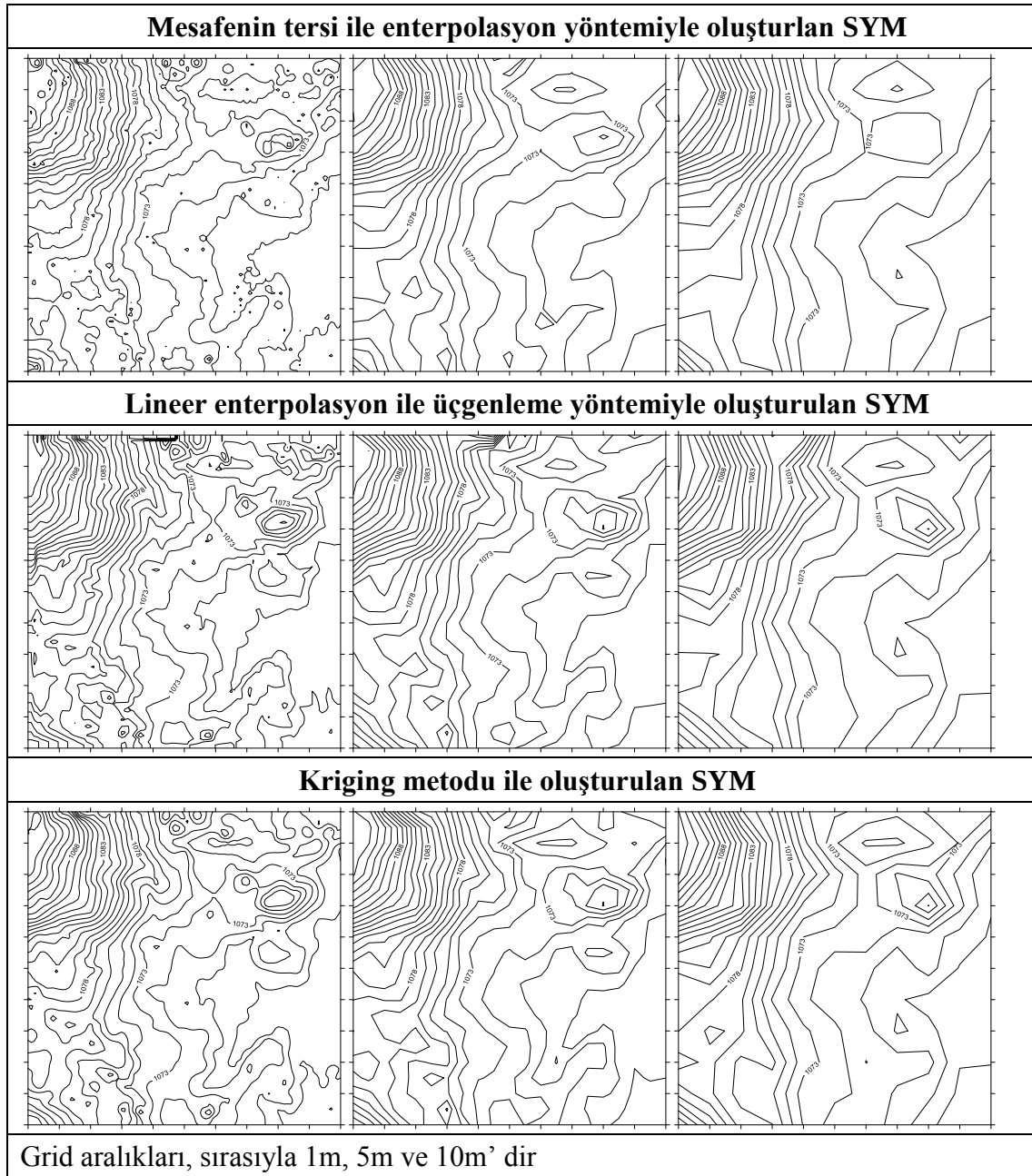
GRİD ARALIKLARINA GÖRE ORTALAMA HACİM HESABI						
ENTERPOLASYON YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	DOLGU (m3)	FARK %	KAZI (m3)	FARK %	KAZI-DOLGU (m3)
Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	1	60353.338	0.000	7249.242	0.000	-53104.096
	5	60269.111	-0.842	7127.514	-1.217	-53141.596
	10	59894.547	-4.588	6899.341	-3.499	-52995.207
Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	1	60330.167	0.000	7102.993	0.000	-53227.175
	5	60317.261	-0.129	7059.123	-0.439	-53258.137
	10	60225.451	-1.047	6891.635	-2.114	-53333.817
Kriging Metodu	1	60456.358	0.000	7272.514	0.000	-53183.844
	5	60402.124	-0.542	7183.641	-0.889	-53218.483
	10	60211.450	-2.449	6957.206	-3.153	-53254.244



Şekil 5. 27 Grid aralığına bağlı hacim değişimleri

Şekil 5.27’de görüldüğü gibi, farklı enterpolasyon yöntemlerinden farklı grid aralıklarında elde edilen hacim miktarları, grid aralıklarına bağlı olarak kazı ve dolgu hacimlerinde lineer bir grafik çizmiştir.

Farklı enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen kazı ve dolgu miktarları ve bu miktarların birbirleri ile olan yüzdesel farkları Çizelge 5.11’de gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 5.11’de kazı ile dolgu miktarlarının birbirlerinden farkları belirtilmiştir. Bu fark değerleri, uygulamada nakliye veya depo işleri için önem taşımaktadır.

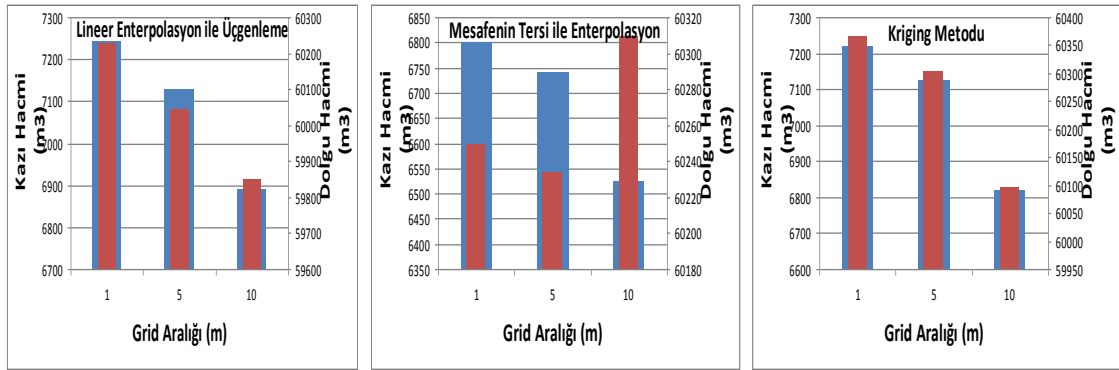


Şekil 5. 28 9.09 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.28'de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Bir başka deyişle, grid aralıkları arttıkça, arazide gösterilmek istenen detaylar azalmaktadır.

Çizelge 5. 12 Nokta yoğunluğu $9.09 \text{ m}^2 / \text{nokta}$ olan arazide hacim hesabı

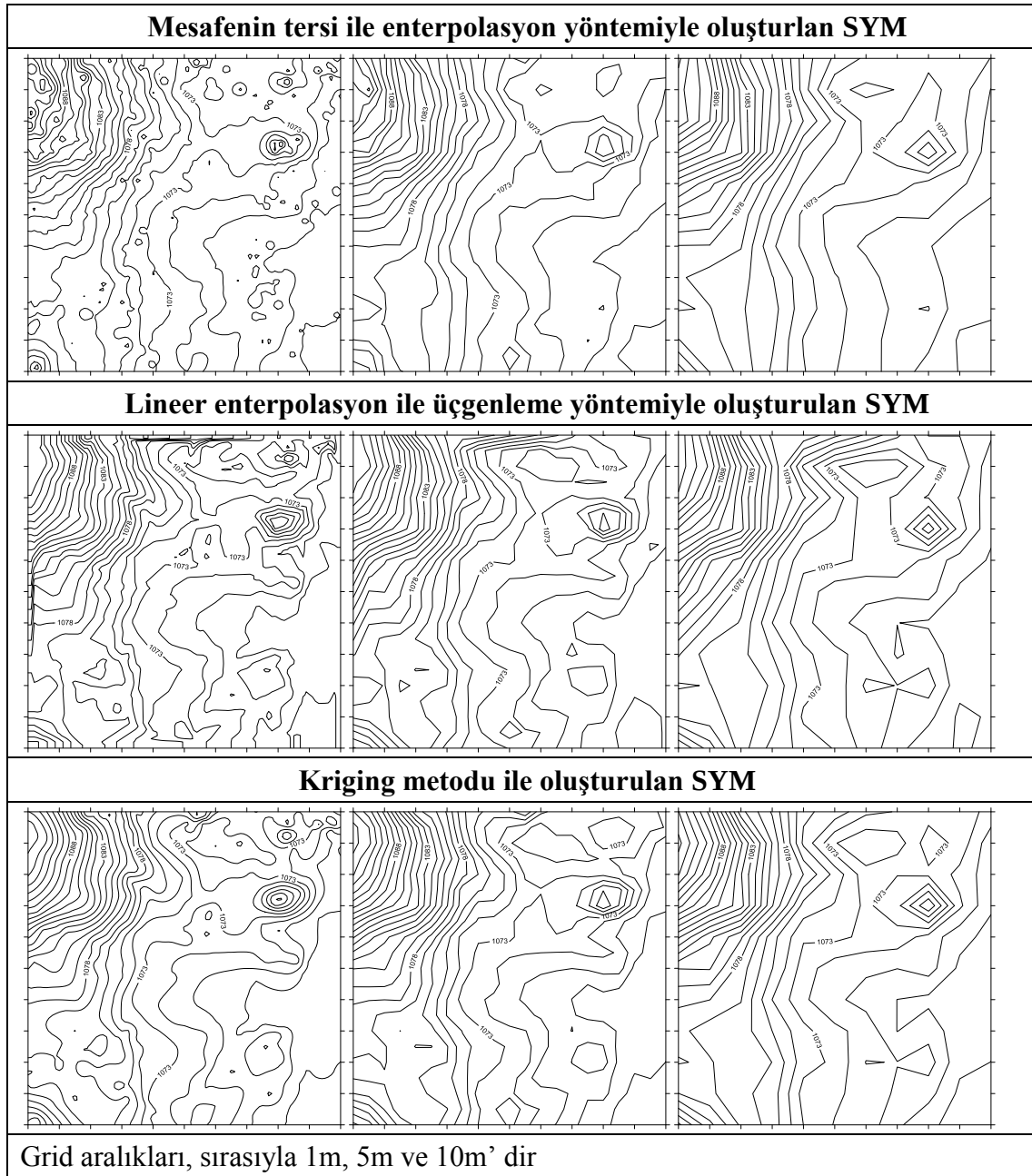
GRİD ARALIKLARINA GÖRE ORTALAMA HACİM HESABI						
ENTERPOLASYON YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	DOLGU (m3)	FARK %	KAZI (m3)	FARK %	KAZI-DOLGU (m3)
Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	1	60226.844	0.000	7242.919	0.000	-52983.925
	5	60044.897	-1.819	7130.004	-1.129	-52914.894
	10	59849.036	-3.778	6889.339	-3.536	-52959.696
Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	1	60249.966	0.000	6800.510	0.000	-53449.456
	5	60233.730	-0.162	6741.282	-0.592	-53492.448
	10	60310.140	0.602	6522.770	-2.777	-53787.370
Kriging Metodu	1	60366.989	0.000	7218.636	0.000	-53148.353
	5	60304.013	-0.630	7124.545	-0.941	-53179.468
	10	60096.669	-2.703	6817.392	-4.012	-53279.277



Şekil 5. 29 Grid aralığına bağlı hacim değişimleri

Şekil 5.29’da görüldüğü gibi, farklı enterpolasyon yöntemlerinden farklı grid aralıklarında elde edilen hacim miktarları, grid aralıklarına bağlı olarak kazı ve dolgu hacimlerinde lineer bir grafik çizmiştir.

Farklı enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen kazı ve dolgu miktarları ve bu miktarların birbirleri ile olan yüzdesel farkları Çizelge 5.12’de gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 5.12’de kazı ile dolgu miktarlarının birbirlerinden farkları belirtilmiştir. Bu fark değerleri, uygulamada nakliye veya depo işleri için önem taşımaktadır.

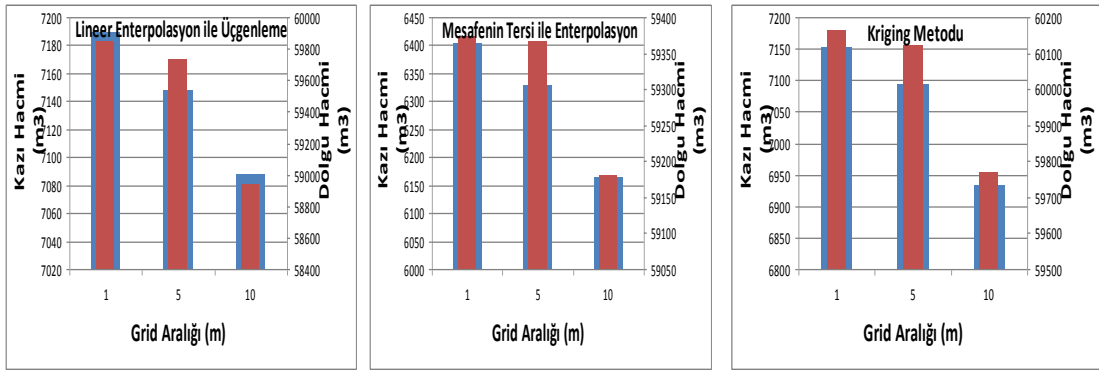


Şekil 5. 30 20 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil 5.30'da görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Bir başka deyişle, grid aralıkları arttıkça, arazide gösterilmek istenen detaylar azalmaktadır.

Çizelge 5. 13 Nokta yoğunluğu 20 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı

GRİD ARALIKLARINA GÖRE ORTALAMA HACİM HESABI						
ENTERPOLASYON YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	DOLGU (m3)	FARK %	KAZI (m3)	FARK %	KAZI-DOLGU (m3)
Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	1	59850.169	0.000	7190.184	0.000	-52659.985
	5	59738.755	-1.114	7147.537	-0.426	-52591.218
	10	58939.590	-9.106	7088.221	-1.020	-51851.369
Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	1	59375.419	0.000	6404.362	0.000	-52971.057
	5	59368.229	-0.072	6328.581	-0.758	-53039.648
	10	59180.862	-1.946	6163.894	-2.405	-53016.968
Kriging Metodu	1	60165.450	0.000	7152.002	0.000	-53013.448
	5	60125.179	-0.403	7094.439	-0.576	-53030.740
	10	59766.812	-3.986	6932.860	-2.191	-52833.952



Şekil 5. 31 Grid aralığına bağlı hacim değişimleri

Şekil 5.31’de görüldüğü gibi, farklı enterpolasyon yöntemlerinden farklı grid aralıklarında elde edilen hacim miktarları, grid aralıklarına bağlı olarak kazı ve dolgu hacimlerinde lineer bir grafik çizmiştir.

Farklı enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen kazı ve dolgu miktarları ve bu miktarların birbirleri ile olan yüzdesel farkları Çizelge 5.13’de gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 5.13’de kazı ile dolgu miktarlarının birbirlerinden farkları belirtilmiştir. Bu fark değerleri, uygulamada nakliye veya depo işleri için önem taşımaktadır.,

Çizelge 5. 14 A tipi arazide farklı enterpolasyon yöntemlerine göre hacim değişimleri

A Tipi Arazide Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme Yöntemine Göre Hacim Değişimleri										
Grid Aralığı (m)	Nokta Yoğunluğu (adet/m ²)	Trapez Kuralı (m ³)	Fark		Simpson Kuralı (m ³)	Fark		Simpson 3/8 Kuralı (m ³)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
1	0.20	270353.942	0.000	0.000	270361.910	0.000	0	270364.156	0.000	0
	0.10	270192.040	-161.902	-1.619	270187.176	-174.734	-1.747	270192.936	-171.220	-1.712
	0.05	270362.344	8.403	0.084	270358.088	-3.822	-0.038	270363.482	-0.674	-0.007
5	0.20	270355.342	0.000	0.000	270239.950	0.000	0	270213.992	0.000	0
	0.10	270141.075	-214.267	-2.143	270040.807	-199.143	-1.991	270040.638	-173.354	-1.734
	0.05	270292.493	-62.849	-0.628	270234.935	-5.015	-0.05	270213.235	-0.757	-0.008
10	0.20	270837.241	0.000	0.000	271035.095	0.000	0	270630.575	0.000	0
	0.10	270520.422	-316.818	-3.168	270712.760	-322.335	-3.223	270395.002	-235.572	-2.356
	0.05	270421.399	-415.842	-4.158	270419.678	-615.417	-6.154	270369.267	-261.308	-2.613
A Tipi Arazide Mesafenin Tersine ile Enterpolasyon Yöntemine Göre Hacim Değişimleri										
Grid Aralığı (m)	Nokta Yoğunluğu (adet/m ²)	Trapez Kuralı (m ³)	Fark		Simpson Kuralı (m ³)	Fark		Simpson 3/8 Kuralı (m ³)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
1	0.20	270099.787	0.000	0.000	270106.323	0.000	0	270104.327	0.000	0
	0.10	269707.694	-392.093	-3.921	269714.181	-392.142	-3.921	269710.559	-393.768	-3.938
	0.05	269516.856	-582.931	-5.829	269520.161	-586.162	-5.862	269518.910	-585.416	-5.854
5	0.20	270116.461	0.000	0.000	270043.121	0.000	0	270031.805	0.000	0
	0.10	269670.338	-446.123	-4.461	269598.319	-444.802	-4.448	269595.456	-436.349	-4.363
	0.05	269390.609	-725.853	-7.259	269427.877	-615.243	-6.152	269369.671	-662.135	-6.621
10	0.20	270454.021	0.000	0.000	270550.497	0.000	0	270303.098	0.000	0
	0.10	270035.154	-418.867	-4.189	270156.257	-394.240	-3.942	269981.316	-321.782	-3.218
	0.05	269353.607	-1100.413	-11.004	269319.933	-1230.564	-12.31	269349.489	-953.609	-9.536
A Tipi Arazide Kriging Yöntemine Göre Hacim Değişimleri										
Grid Aralığı (m)	Nokta Yoğunluğu (adet/m ²)	Trapez Kuralı (m ³)	Fark		Simpson Kuralı (m ³)	Fark		Simpson 3/8 Kuralı (m ³)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
1	0.20	270362.204	0.000	0.000	270360.311	0.000	0	270361.459	0.000	0
	0.10	269651.633	-710.570	-7.106	269651.526	-708.786	-7.088	269651.372	-710.087	-7.101
	0.05	269380.176	-982.027	-9.820	269380.196	-980.115	-9.801	269379.260	-982.199	-9.822
5	0.20	270448.878	0.000	0.000	270306.979	0.000	0	270288.520	0.000	0
	0.10	269639.085	-809.793	-8.098	269521.521	-785.459	-7.855	269521.413	-767.107	-7.671
	0.05	269395.196	-1053.682	-10.537	269338.299	-968.680	-9.687	269324.270	-964.250	-9.642
10	0.20	271033.286	0.000	0.000	271111.034	0.000	0	270730.093	0.000	0
	0.10	270149.129	-884.157	-8.842	270322.771	-788.263	-7.883	269934.254	-795.839	-7.958
	0.05	269629.228	-1404.059	-14.041	269710.388	-1400.646	-14.01	269432.636	-1297.458	-12.97

Çizelge 5. 15 B tipi arazide farklı grid aralıklarındaki hacim değişimleri

B Tipi Arazide 1m Grid Aralığında Hacim Değişimleri										
Hesap Yöntemi	Nokta Yoğunluğu (adet/m ²)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme (m ³)	Fark		Mesafenin Tersi ile Enterpolasyon (m ³)	Fark		Kriging Yöntemi (m ³)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
Trapez Kuralı	0.23	319725.564	0.000	0.000	319773.379	0.000	0.000	319735.303	0.000	0.000
	0.12	319565.360	-160.204	-1.602	319577.871	-195.508	-1.955	319705.122	-30.181	-0.302
	0.06	319809.406	83.842	0.838	319719.568	-53.812	-0.538	319883.049	147.745	1.477
Simpson Kuralı	0.23	319711.606	0.000	0.000	319757.945	0.000	0.000	319738.408	0.000	0.000
	0.12	319549.143	-162.463	-1.625	319570.902	-187.043	-1.870	319708.190	-30.218	-0.302
	0.06	319809.302	97.696	0.977	319719.679	-38.266	-0.383	319884.825	146.417	1.464
Simpson 3/8 Kuralı	0.23	319729.880	0.000	0.000	319776.440	0.000	0.000	319740.174	0.000	0.000
	0.12	319569.155	-160.725	-1.607	319586.038	-190.403	-1.904	319709.053	-31.121	-0.311
	0.06	319809.558	79.678	0.797	319716.145	-60.296	-0.603	319883.933	143.759	1.438
B Tipi Arazide 5m Grid Aralığında Hacim Değişimleri										
Hesap Yöntemi	Nokta Yoğunluğu (adet/m ²)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme (m ³)	Fark		Mesafenin Tersi ile Enterpolasyon (m ³)	Fark		Kriging Yöntemi (m ³)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
Trapez Kuralı	0.23	319602.959	0.000	0.000	319783.406	0.000	0.000	319547.574	0.000	0.000
	0.12	319533.293	-69.666	-0.697	319639.976	-143.430	-1.434	319590.995	43.422	0.434
	0.06	319734.756	131.798	1.318	319788.984	5.578	0.056	319847.066	299.493	2.995
Simpson Kuralı	0.23	319789.364	0.000	0.000	319914.209	0.000	0.000	319778.052	0.000	0.000
	0.12	319790.574	1.210	0.012	319638.776	-275.434	-2.754	319825.859	47.807	0.478
	0.06	319734.749	-54.616	-0.546	319916.496	2.287	0.023	319881.965	103.912	1.039
Simpson 3/8 Kuralı	0.23	319731.977	0.000	0.000	319874.701	0.000	0.000	319694.479	0.000	0.000
	0.12	319674.693	-57.283	-0.573	319683.875	-190.826	-1.908	319703.069	8.590	0.086
	0.06	319793.734	61.757	0.618	319833.325	-41.376	-0.414	319871.049	176.570	1.766
B Tipi Arazide 10m Grid Aralığında Hacim Değişimleri										
Hesap Yöntemi	Nokta Yoğunluğu (adet/m ²)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme (m ³)	Fark		Mesafenin Tersi ile Enterpolasyon (m ³)	Fark		Kriging Yöntemi (m ³)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
Trapez Kuralı	0.23	319135.089	0.000	0.000	319421.722	0.000	0.000	318941.088	0.000	0.000
	0.12	318908.820	-226.270	-2.263	319605.553	183.830	1.838	319028.648	87.560	0.876
	0.06	319576.105	441.016	4.410	319516.896	95.174	0.952	319677.648	736.560	7.366
Simpson Kuralı	0.23	319734.806	0.000	0.000	319863.920	0.000	0.000	319642.136	0.000	0.000
	0.12	319557.471	-177.336	-1.773	319759.989	-103.931	-1.039	319725.221	83.085	0.831
	0.06	320031.982	297.176	2.972	319831.327	-32.593	-0.326	320172.235	530.098	5.301
Simpson 3/8 Kuralı	0.23	319470.389	0.000	0.000	319674.648	0.000	0.000	319289.689	0.000	0.000
	0.12	319311.972	-158.417	-1.584	319858.936	184.289	1.843	319393.282	103.593	1.036
	0.06	319730.209	259.819	2.598	319680.205	5.558	0.056	319853.402	563.713	5.637

Çizelge 5. 16 C tipi arazide farklı nokta yoğunluklarındaki hacim değişimleri

C Tipi Arazide 0.22 nokta/alan Yoğunluğundaki Hacim Değişimleri										
Hesap Yöntemi	Grid Aralığı (m)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme (m3)	Fark		Mesafenin Tersi ile Enterpolasyon (m3)	Fark		Kriging Yöntemi (m3)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
Trapez Kuralı	1	199162.418	0.000	0.000	199087.035	0.000	0.000	199224.087	0.000	0.000
	5	199180.046	17.628	0.176	198937.797	-149.239	-1.492	199454.503	230.416	2.304
	10	199101.990	-60.428	-0.604	199051.608	-35.427	-0.354	199780.901	556.814	5.568
Simpson Kuralı	1	199161.816	0.000	0.000	199089.723	0.000	0.000	199216.967	0.000	0.000
	5	199151.166	-10.649	-0.106	198906.211	-183.512	-1.835	199314.056	97.089	0.971
	10	198168.864	-992.952	-9.930	198294.249	-795.474	-7.955	198591.544	-625.423	-6.254
Simpson 3/8 Kuralı	1	199162.141	0.000	0.000	199090.024	0.000	0.000	199217.893	0.000	0.000
	5	199072.744	-89.397	-0.894	198869.438	-220.586	-2.206	199266.201	48.308	0.483
	10	198335.193	-826.949	-8.269	198362.057	-727.967	-7.280	198945.399	-272.494	-2.725
C Tipi Arazide 0.11 nokta/alan Yoğunluğundaki Hacim Değişimleri										
Hesap Yöntemi	Grid Aralığı (m)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme (m3)	Fark		Mesafenin Tersi ile Enterpolasyon (m3)	Fark		Kriging Yöntemi (m3)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
Trapez Kuralı	1	199139.711	0.000	0.000	198709.114	0.000	0.000	199123.071	0.000	0.000
	5	199185.764	46.053	0.461	198609.391	-99.723	-0.997	199335.471	212.400	2.124
	10	199124.216	-15.496	-0.155	198608.997	-100.117	-1.001	199601.856	478.785	4.788
Simpson Kuralı	1	199143.074	0.000	0.000	198708.668	0.000	0.000	199116.936	0.000	0.000
	5	199226.897	83.823	0.838	198668.829	-39.839	-0.398	199270.067	153.131	1.531
	10	198261.674	-881.400	-8.814	198215.533	-493.135	-4.931	198556.038	-560.899	-5.609
Simpson 3/8 Kuralı	1	199135.771	0.000	0.000	198710.455	0.000	0.000	199117.077	0.000	0.000
	5	199023.643	-112.127	-1.121	198526.486	-183.969	-1.840	199120.859	3.782	0.038
	10	198290.241	-845.530	-8.455	197911.364	-799.091	-7.991	198714.989	-402.088	-4.021
C Tipi Arazide 0.06 nokta/alan Yoğunluğundaki Hacim Değişimleri										
Hesap Yöntemi	Grid Aralığı (m)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme (m3)	Fark		Mesafenin Tersi ile Enterpolasyon (m3)	Fark		Kriging Yöntemi (m3)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
Trapez Kuralı	1	199215.036	0.000	0.000	198970.467	0.000	0.000	198956.729	0.000	0.000
	5	199168.906	-46.130	-0.461	198808.460	-162.007	-1.620	199090.843	134.114	1.341
	10	199454.382	239.347	2.393	199075.564	105.097	1.051	199511.997	555.269	5.553
Simpson Kuralı	1	199217.949	0.000	0.000	198969.067	0.000	0.000	198949.623	0.000	0.000
	5	199129.393	-88.555	-0.886	198791.710	-177.357	-1.774	198967.200	17.576	0.176
	10	198604.934	-613.014	-6.130	198564.718	-404.349	-4.043	198514.715	-434.908	-4.349
Simpson 3/8 Kuralı	1	199210.357	0.000	0.000	198970.615	0.000	0.000	198950.646	0.000	0.000
	5	199084.684	-125.673	-1.257	198811.619	-158.996	-1.590	198941.749	-8.896	-0.089
	10	198723.905	-486.452	-4.865	198533.051	-437.564	-4.376	198632.278	-318.367	-3.184

Çizelge 5. 17 D tipi arazide kurallar ortalamasına göre dolgu ve kazı hacim değişimleri

D Tipi Arazide Kurallar Ortalamasına Göre Dolgu Hacim Değişimleri										
Grid Aralığı (m)	Nokta Yoğunluğu (adet/m ²)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme (m ³)	Fark		Mesafenin Tersine Enterpolasyon (m ³)	Fark		Kriging Yöntemi (m ³)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
1	0.21	60353.338	0.000	0.000	60330.167	0.000	0.000	60456.358	0.000	0.000
	0.11	60226.844	-126.494	-1.265	60249.966	-80.201	-0.802	60366.989	-89.369	-0.894
	0.05	59850.169	-503.169	-5.032	59375.419	-954.749	-9.547	60165.450	-290.908	-2.909
5	0.21	60269.111	0.000	0.000	60317.261	0.000	0.000	60402.124	0.000	0.000
	0.11	60044.897	-224.213	-2.242	60233.730	-83.531	-0.835	60304.013	-98.111	-0.981
	0.05	59738.755	-530.356	-5.304	59368.229	-949.032	-9.490	60125.179	-276.945	-2.769
10	0.21	59894.547	0.000	0.000	60225.451	0.000	0.000	60211.450	0.000	0.000
	0.11	59849.036	-45.512	-0.455	60310.140	84.689	0.847	60096.669	-114.781	-1.148
	0.05	58939.590	-954.957	-9.550	59180.862	-1044.589	-10.446	59766.812	-444.638	-4.446
D Tipi Arazide Kurallar Ortalamasına Göre Kazı Hacim Değişimleri										
Grid Aralığı (m)	Nokta Yoğunluğu (adet/m ²)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme (m ³)	Fark		Mesafenin Tersine Enterpolasyon (m ³)	Fark		Kriging Yöntemi (m ³)	Fark	
			Değer	%		Değer	%		Değer	%
1	0.21	7249.242	0.000	0.000	7102.993	0.000	0.000	7272.514	0.000	0.000
	0.11	7242.919	-6.323	-0.063	6800.510	-302.483	-3.025	7218.636	-53.878	-0.539
	0.05	7190.184	-59.058	-0.591	6404.362	-698.631	-6.986	7152.002	-120.512	-1.205
5	0.21	7127.514	0.000	0.000	7059.123	0.000	0.000	7183.641	0.000	0.000
	0.11	7130.004	2.489	0.025	6741.282	-317.842	-3.178	7124.545	-59.096	-0.591
	0.05	7147.537	20.023	0.200	6328.581	-730.543	-7.305	7094.439	-89.202	-0.892
10	0.21	6899.341	0.000	0.000	6891.635	0.000	0.000	6957.206	0.000	0.000
	0.11	6889.339	-10.001	-0.100	6522.770	-368.865	-3.689	6817.392	-139.814	-1.398
	0.05	7088.221	188.880	1.889	6163.894	-727.741	-7.277	6932.860	-24.346	-0.243

Çizelge 5.14'e bakıldığında, sabit bir kural ile farklı grid aralıkları ve farklı nokta yoğunlukları sonucu elde edilen değerler, beklendiği gibi, grid aralığının artması ya da nokta yoğunluğun azalması durumlarında, hacim miktarındaki farkın artması yönündedir.

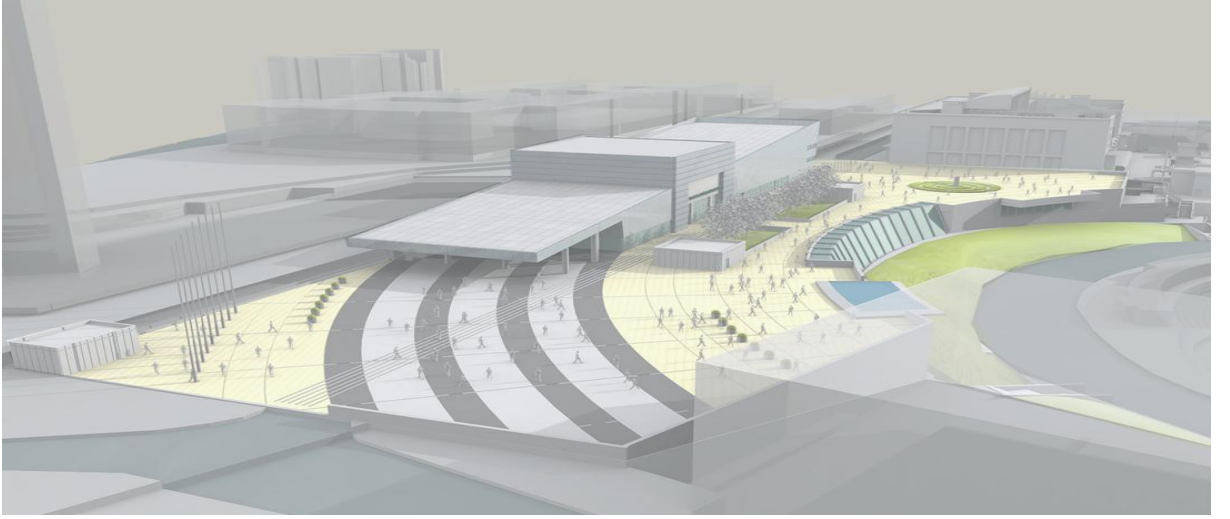
Çizelge 5.15'de, tüm grid aralıklarında farklı yoğunluklardaki arazilerde hacim farkı değerleri öne azalma, sonra artma eğilimindedir.

Çizelge 5.16'da, hacim miktarları arasındaki farkın, tüm kurallarda grid aralığına ve nokta yoğunluğuna bakıldığında lineer olarak değiştiği söylenebilirken, bazı kurallar ve enterpolasyon yöntemlerinde lineer değişim gözlenmemiştir.

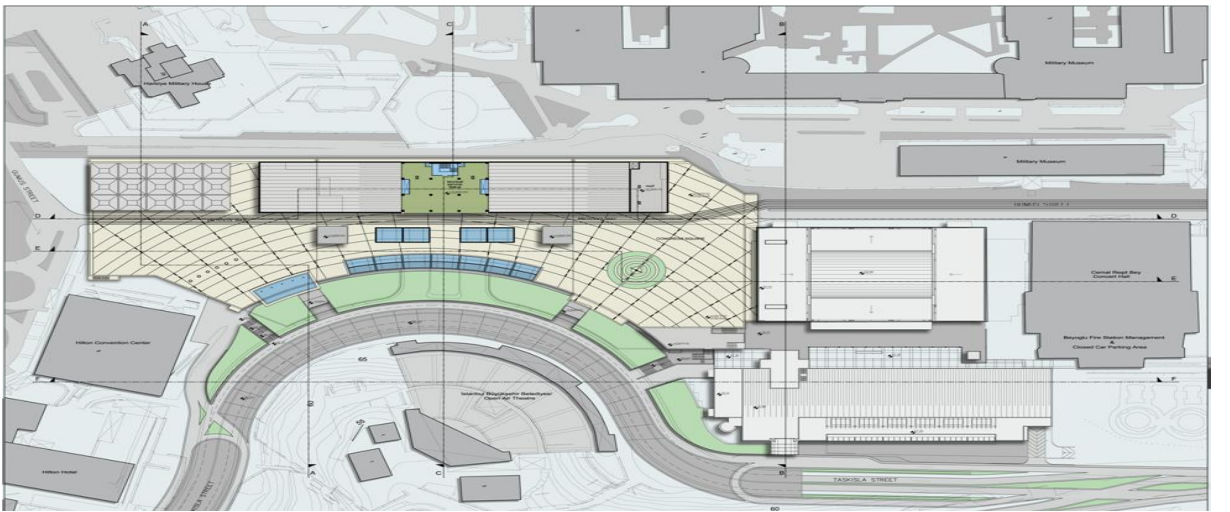
Çizelge 5.17’de kurallar ortalamasına göre, kazı ve dolgu hacimlerinin grid aralığına ve nokta yoğunluğuna bağlı lineer değişim gösterdiği söylenebilir.

5.5 İstanbul Kongre Merkezi İnşaatı Kazı Hesabı

Uygulamanın bu bölümünde, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan İstanbul Kongre Merkezi’nin kazı hesabı yapılmıştır. Yersel ölçüm yöntemiyle Total Station ölçme aleti kullanılarak referans noktalarına ulaşılan bu inşaatın uygulamada ele alınacak kazı alanı, 19480m^2 ’dir. Yaklaşık olarak 30m derinliğinde yapılan bu kazı çalışmasının nokta yoğunluğu 0.12 (nokta/ m^2) olup, hacim hesabı Surfer 9 yazılım programında yapılmış, ortalama grid aralığı ise 2m olarak seçilmiştir.



Şekil 5. 32 İstanbul kongre merkezine ait genel görünüm



Şekil 5. 33 İstanbul kongre merkezine ait plan



Şekil 5. 34 Yapılan kazı çalışmasına ait fotoğraflar

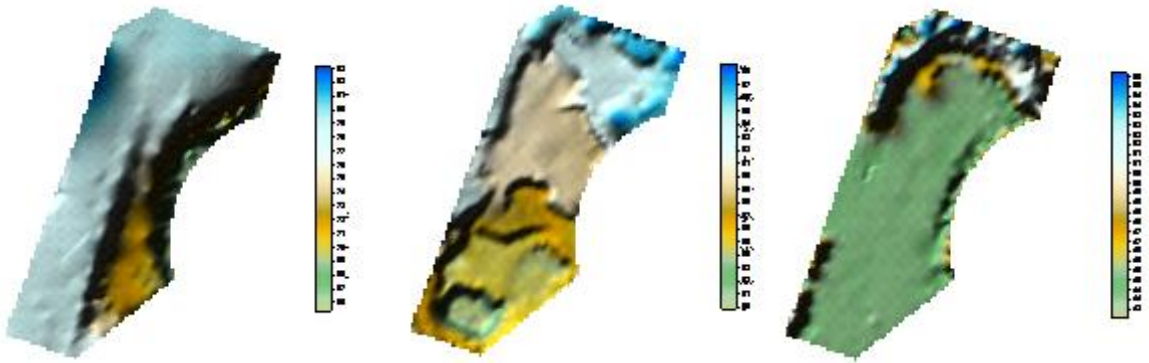
Bu çalışmadaki amaç, farklı enterpolasyon yöntemlerinin irdelenmesi ve hesaplanan kazı miktarının, yüklenici firmanın hakediş zamanlarında getirmiş olduğu kazı miktarı (608761.01m^3) ile uyuşup uyuşmadığını tespit etmektir. Zira kazı hesabı, yüklenici tarafından, sıkça adını duyduğumuz NetCAD yazılım programında yapılmış olup, bu hesap işlemi için birçok en kesit oluşturulmuştur.

NetCAD programında yapılan kazı hesabı kısaca, arazinin üçgen modelinin oluşturulması ve model üzerine çizilen en kesitlerin alanlar ortalaması ile ara mesafelerinin çarpımı ile yapılır. Bu hesap klasik hacim hesabıdır. Surfer 9 programında ise noktaların ilk ve son yükseklikleri arasındaki farklardan yola çıkılarak hesaplanan ortalama yükseklik değerinin alan ile çarpımı sonucunda toplam hacim miktarı hesaplanır. Bu nedenle aynı enterpolasyon yönteminin farklı hacim hesaplama yöntemlerinde uygulanması sonucunda ulaşılacak hacim değerlerinin, kendi aralarında farklılık göstermesi, beklenmeyen bir durum değildir.

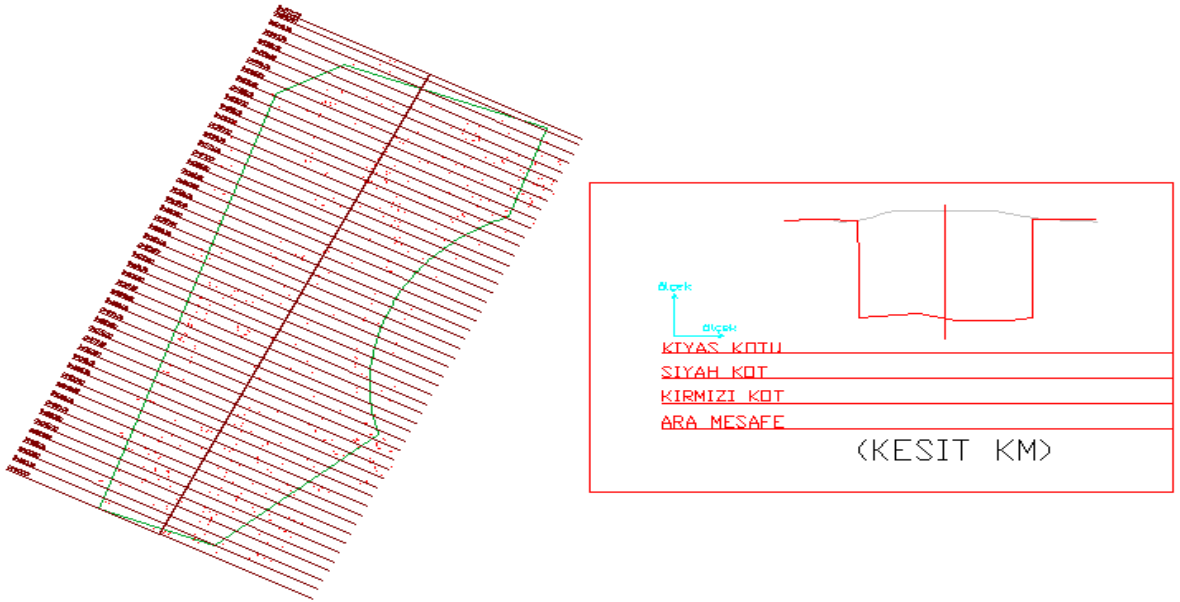
Surfer 9 programında yapılan kazı veya dolgu hesabında kesitlere gereksinim duyulmadığı gibi kullanımı oldukça basit ve hızlıdır. Golden Software firmasının çıkardığı "Surfer" yazılımı, gelişigüzel dağılmış verilerin gridlenmesinde, kontur

haritalarının çizdirilmesinde ve 3 boyutlu görüntüler elde edilmesinde kullanılır.

Arazinin kazı öncesindeki hali hazır durumunda ölçülen referans noktalarının yanı sıra belirli bir kazı sonrasında ölçülen noktalar ve kazı kotuna ulaşıldığı anda ölçülen noktalar ile yapılacak olan çalışmanın kendi içinde de kontrolünün sağlanabilmesi için, hesap işlemi üç defa, bu farklı katmanlar ile yapılmıştır. Bu katmanlara, anlatım içerisinde sırasıyla; üst, orta ve alt yüzeyler denilecektir.



Şekil 5. 35 Surfer 9.0’ da kriging yöntemi ile oluşturulan üst, orta ve alt yüzeyler



Şekil 5. 36 NetCAD 5.0’da hazırlanan kesit planı ve tip kesit görünümü

Şekil 5.35’de Surfer 9 yazılım programında, kriging yöntemi ile oluşturulan üst, orta ve alt yüzeylerin sayısal yükseklik modelleri gösterilmektedir.

Bu modellerden yola çıkılarak üç farklı interpolasyon yöntemi ile kazı hacimleri hesaplanmıştır.

Şekil 5.36’da ise, aynı arazinin NetCAD 5.0’da hazırlanmış sayısal yükseklik modeli gösterilmektedir. Burada bir çok CAD tabanlı yazılım programlarının esas aldığı lineer interpolasyon yöntemi ile üçgenleme metodu ele alınmış olup, arazi üzerinde ardışık kesitler oluşturulup, kazı hacimleri bu kesitlerin ortalama alanları ile ara mesafelerin çarpımı ile hesaplanmıştır.

Çizelge 5. 18 Üst ile alt yüzeyler arasındaki kazı hacmi

HESAP YÖNTEMİ	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m3)					
	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	603977.327	0.000	600714.113	0.000	605392.174	0.000
Simpson Kuralı	604044.450	0.671	600714.174	0.001	605429.563	0.374
Simpson 3/8 Kuralı	604037.110	0.598	600758.313	0.442	605419.474	0.273

Çizelge 5. 19 Farklı yüzeyler arasındaki kazı hacmi

HESAP YÖNTEMİ	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m3)					
	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Üst yüzey ile orta yüzey arasındaki hacim						
Trapez Kuralı	337609.936	0.000	330051.182	0.000	339104.044	0.000
Simpson Kuralı	337677.806	-0.260	330086.493	0.353	339150.528	0.465
Simpson 3/8 Kuralı	337561.850	0.134	330020.934	-0.302	339098.201	-0.058
Orta yüzey ile alt yüzey arasındaki hacim						
Trapez Kuralı	266367.392	0.000	270662.932	0.000	266288.130	0.000
Simpson Kuralı	266366.645	-0.007	270627.682	-0.352	266279.036	-0.091
Simpson 3/8 Kuralı	266475.261	1.079	270737.379	0.744	266321.274	0.331
Toplam Hacim						
Trapez Kuralı	603977.327	0.000	600714.114	0.000	605392.174	0.000
Simpson Kuralı	604044.450	0.671	600714.175	0.001	605429.564	0.374
Simpson 3/8 Kuralı	604037.110	0.598	600758.313	0.442	605419.475	0.273

Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19'dan çıkan sonuçlar yorumlanacak olursa, alt ve üst yüzey modelleri ile hesap yapılması ile elde edilen miktarlar, tüm yöntemlerde her iki hesap türünde de aynı sonuçları vermiştir. NetCAD yazılımı ile hesaplanan kazı hacminde ortaya çıkan sonuç Çizelge 5.20'de görüldüğü üzere 608761.01m³ iken bu sonuca en yakın sonuçlar, lineer enterpolasyon ile üçgenleme ve kriging metodunda gözlenmiştir.

Çizelge 5. 20 NetCAD programı ile elde edilen kazı hacmi

Kilometre	Ara (m) Uzaklık	ALAN (m ²)		HACİM (m ³)		KUMULATIF HACİM(m ³)		KAZI-DOLGU (m ³)
		KAZI	DOLGU	KAZI	DOLGU	KAZI	DOLGU	
	0.00			-	-	-	-	+0.00
0+000.00	5.00	1815.42	-	9790.46	-	9790.46	-	+9790.46
0+005.00	5.00	2100.76	-	10883.34	-	20673.79	-	+20673.79
0+010.00	5.00	2252.57	-	11657.47	-	32331.26	-	+32331.26
0+015.00	5.00	2410.42	-	12177.42	-	44508.68	-	+44508.68
0+020.00	5.00	2460.55	-	12326.83	-	56835.51	-	+56835.51
0+025.00	5.00	2470.18	-	12296.06	-	69131.57	-	+69131.57
0+030.00	5.00	2448.24	-	12663.64	-	81795.20	-	+81795.20
0+035.00	5.00	2617.22	-	13059.00	-	94854.20	-	+94854.20
0+040.00	5.00	2606.38	-	12858.12	-	107712.32	-	+107712.32
0+045.00	5.00	2536.86	-	12745.90	-	120458.22	-	+120458.22
0+050.00	5.00	2561.50	-	12805.39	-	133263.61	-	+133263.61
0+055.00	5.00	2560.66	-	12722.86	-	145986.47	-	+145986.47
0+060.00	5.00	2528.49	-	12655.36	-	158641.83	-	+158641.83
0+065.00	5.00	2533.66	-	12639.74	-	171281.56	-	+171281.56
0+070.00	5.00	2522.24	-	12602.67	-	183884.23	-	+183884.23
0+075.00	5.00	2518.83	-	12589.13	-	196473.36	-	+196473.36
0+080.00	5.00	2516.82	-	12573.18	-	209046.54	-	+209046.54
0+085.00	5.00	2512.45	-	12520.56	-	221567.10	-	+221567.10
0+090.00	5.00	2495.77	-	12455.87	-	234022.97	-	+234022.97
0+095.00	5.00	2486.57	-	12435.00	-	246457.97	-	+246457.97
0+100.00	5.00	2487.43	-	12327.23	-	258785.20	-	+258785.20
0+105.00	5.00	2443.47	-	12221.87	-	271007.07	-	+271007.07
0+110.00	5.00	2445.28	-	12225.74	-	283232.80	-	+283232.80
0+115.00	5.00	2445.01	-	12245.02	-	295477.82	-	+295477.82
0+120.00	5.00	2453.00	-	12260.86	-			
		YARMA	DOLGU	YARMA	DOLGU	YARMA	DOLGU	
0+125.00	5.00	2451.35	-	12156.72	-	307738.68	-	+307738.68
0+130.00	5.00	2411.34	-	12108.22	-	319895.40	-	+319895.40
0+135.00	5.00	2431.94	-	12161.79	-	332003.62	-	+332003.62
0+140.00	5.00	2432.77	-	12064.65	-	344165.41	-	+344165.41
0+145.00	5.00	2393.09	-	11919.05	-	356230.05	-	+356230.05
0+150.00	5.00	2374.53	-	11913.99	-	368149.10	-	+368149.10
0+155.00	5.00	2391.06	-	12006.28	-	380063.09	-	+380063.09
0+160.00	5.00	2411.45	-	12038.60	-	392069.37	-	+392069.37
0+165.00	5.00	2403.99	-	12078.36	-	404107.97	-	+404107.97
0+170.00	5.00	2427.35	-	12314.66	-	416186.33	-	+416186.33
0+175.00	5.00	2498.51	-	12550.26	-	428500.99	-	+428500.99
0+180.00	5.00	2521.59	-	12600.73	-	441051.24	-	+441051.24
0+185.00	5.00	2518.70	-	12599.93	-	453651.97	-	+453651.97
0+190.00	5.00	2521.27	-	12687.95	-	466251.90	-	+466251.90
0+195.00	5.00	2553.90	-	12810.30	-	478939.84	-	+478939.84
0+200.00	5.00	2570.22	-	12883.10	-	491750.15	-	+491750.15
0+205.00	5.00	2583.02	-	12885.69	-	504633.24	-	+504633.24
0+210.00	5.00	2571.26	-	12620.73	-	517518.93	-	+517518.93
0+215.00	5.00	2477.04	-	12203.87	-	530139.67	-	+530139.67
0+220.00	5.00	2404.51	-	11725.76	-	542343.54	-	+542343.54
0+225.00	5.00	2285.79	-	11435.50	-	554069.30	-	+554069.30
0+230.00	5.00	2288.41	-	11580.84	-	565504.80	-	+565504.80
0+235.00	5.00	2343.92	-	12120.68	-	577085.64	-	+577085.64
0+240.00	5.00	2504.35	-	12679.32	-	589206.32	-	+589206.32
0+245.00	5.00	2567.38	-	6875.36	-	601885.65	-	+601885.65
0+247.71	2.71	2501.07	-			608761.01	-	+608761.01

Çizelge 5. 21 Farklı yazılım programlarında elde edilen kazı hacimleri ve maliyet hesabı

SURFER ve NETCAD'DE ELDE EDİLEN KAZI HACİMLERİ VE MALİYET HESABI							
Enterpolasyon Yöntemi (Trapez Kuralı)	Kazı Hacmi (m3)	Kazı Birim Fiyatı (TL/m3)	Kazı Bedeli (TL)	Kazı Yoğunluğu (Ton/m3)	Kazı Ağırlığı (Ton)	Nakliye Birim Fiyatı (TL/Ton)	Nakliye Bedeli (TL)
Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	603,977.327	5.850	3,533,267.363	1.600	966,363.723	8.080	7,808,218.883
Mesafenin Tersi ile Enterpolasyon	600,714.113	5.850	3,514,177.561	1.600	961,142.581	8.080	7,766,032.053
Kriging Yöntemi	605,392.174	5.850	3,541,544.218	1.600	968,627.478	8.080	7,826,510.025
NetCAD' de Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	608,761.010	5.850	3,561,251.909	1.600	974,017.616	8.080	7,870,062.337

Çizelge 5. 22 Kazı değerlerinin maliyet açısından farkları

SURFER'DA HESAPLANAN KAZI MİKTARLARININ NETCAD'DE HESAPLANAN MİKTAR İLE FİYAT FARKLARI				
Enterpolasyon Yöntemleri	Kazı Bedeli (TL)	Fark (TL)	Nakliye Bedeli (TL)	Fark (TL)
NetCAD' de Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	3561251.909	0	7870062.337	0
Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	3533267.363	27984.546	7808218.883	61843.454
Mesafenin Tersi ile Enterpolasyon	3514177.561	47074.347	7766032.053	104030.28
Kriging Yöntemi	3541544.218	19707.691	7826510.025	43552.312

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Çalışmada Surfer 9 programı ile hacim hesapları yapılmıştır. Tez metni içerisinde anlatılan bazı parametrelerin (grid aralığı, hesap yöntemi, enterpolasyon yöntemleri, nokta yoğunluğu) hacim hesabına etkisi gözlenmiştir. Bu parametreler için sırasıyla şu yorumlar yapılabilir;

A tipi arazide yapılan hesap çalışmasında lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemine göre minimum grid aralığında, maksimum ve minimum nokta yoğunlukları arasındaki fark % 0.084 iken, mesafenin tersi ile enterpolasyon yönteminde % -5.829 ve kriging yönteminde ise % -9.820'dir.

B tipi arazide yapılan hesap çalışmasında 1m grid aralığında maksimum ve minimum nokta yoğunlukları arasında değişim kriging yönteminde % 1.477 iken, 5m grid aralığında % 2.995 ve 10m grid aralığında % 7.366'dır.

C tipi arazide yapılan hesap çalışmasında maksimum nokta yoğunluğunda lineer enterpolasyon ile üçgenleme yönteminde 1m ve 10m grid aralıklarındaki değişim, trapez kuralına göre % -0.604 iken, simpson kuralına göre % -9.930 ve simpson 3/8 kuralına göre, % -8.269'dur.

D tipi arazide kurallar ortalamasına göre yapılan hesap çalışmasında maksimum ve minimum nokta yoğunluklarında 1m grid aralığındaki değişim, lineer enterpolasyon ile üçgenleme yönteminde % -5.032 iken, mesafenin tersi ile enterpolasyon yönteminde % -9.547 ve kriging yönteminde % -2.909'dur.

İstanbul Kongre Merkezi kazı hesap çalışmasında ise 2m grid aralığında elde edilen

sonuçlara göre NetCAD 5.0 programında hesaplanmış olan kazı hacim değeri 608761.010 m³ iken, Surfer'da hesaplanan kazı hacim değerleri lineer interpolasyon yöntemine göre 603977.327 m³, mesafenin tersine göre interpolasyon yönteminde 600714.113 m³ ve kriging yöntemine göre 605392.174 m³'dür.

Grid aralığı ve nokta yoğunluğu, hacim hesabına en çok etki eden nedenlerdendir. Grafikler ve şekillerde görüldüğü gibi farklı grid aralıklarında daima farklı sonuçlar elde edilmiş ve genelde grid aralıklarına paralel olarak lineer grafikler oluşmuştur. Bu çalışmada 5m' lik grid aralığı maksimum grid aralığı olarak kullanılabilir.

Simpson, Simpson 3/8 ve Trapez kuralları, genel olarak birbirlerine paralel bir şekilde sonuç verirken, Trapez kuralının farklı parametreler için yapılan çalışmalarda Simpson ve Simpson 3/8 kuralı göre daha iyi sonuç verdiğini söylemek mümkündür.

Enterpolasyon yöntemleri genellikle birbirlerine yakın sonuç vermelerine rağmen, mesafenin tersine göre enterpolasyon yöntemi, kriging metodu ve lineer enterpolasyon yöntemine göre daha farklı sonuçlar vermiştir. Bu yöntemlerden kriging yöntemi, diğerlerine oranla daha yavaş çalışmaktadır ancak yine de her çeşit dayanak noktası için önerilen ve doğruluğu yüksek olarak değerlendirilen bir yöntemdir.

Mesafenin tersine göre enterpolasyon yöntemi, hızlı bir yöntemdir ancak özellikle, oluşturulan sayısal yükseklik modellerine bakılırsa, diğer iki yönteme yakın modeller vermemektedir. Nokta yoğunluğu az iken oluşturulan SYM'de bu yöntemin "Bull's Eye" hatasını görmek mümkündür.

Lineer enterpolasyon yöntemi ile üçgenleme yöntemi oldukça hızlı bir yöntem ve önerilen yöntemlerden biri olsa da, bu uygulamalarda arazi kenar noktalarının enterpolasyonunda yeterince iyi olduğu söylenemez. Nitekim kenardaki noktaların enterpole edilebilmesi için, mutlaka o hatlar üzerinde birkaç noktaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Nokta yoğunluğunun hacim hesabına etkisi, özellikle uygulamalar bölümünde oluşturulan sayısal arazi modelleri izlenerek anlaşılabilir. Farklı yoğunlukta, farklı arazi modelleri elde edilmiş ve bu arazi modelleri ile hacim hesaplarına gidildiğinden dolayı da, farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan deneysel araştırmalar sonucunda, hacim hesaplarında grid aralığının, arazinin

en iyi şekilde modellenebilmesi için olabildiğince sık olması; kullanılacak enterpolasyon yöntemi olarak lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemi veya kriging yöntemi; hesap yöntemi için de trapez kuralının kullanılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yanalak. M., (1997). Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Özgen, M.G., Öztan, O., (1988). Kartometri, İ.T.Ü Matbaası, İstanbul.
- [3] Miller, C.L., Laflamme, R.A., (1958), “The Digital Terrain Model – Theory and Application” , Photogrametric Engineering, 14:3.
- [4] Yastıklı, N., Jacobsen, K., (2003). Automatic Digital Elevation Model Generation, Problems and Restrictions in Urban Areas, YTÜ Dergisi, İstanbul.
- [5] Acar, U., (1994). Sayısal Arazi Modelleri ve Kullanılan Enterpolasyon Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Öztürk. E., (2006). Farklı Kaynaklardan Değişik Yöntem Ve Ölçeklerle Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] Yılmaz, A., (2002). Farklı Kaynaklardan Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Gruen, A., (1998). “DTM Generation and Visulization, Symposium on Digital Photogrametry”, İstanbul.
- [9] Heipke, C., (1996). Overview of Image Matching Techniques, Official Publication, OEEPE.
- [10] Watson, D.F., (1992). Contouring: A Guide to The Analysis and Display of Spatial Data, Pergamon Pres.
- [11] Özer. H., (1986). Sayısal Arazi Modeli Yöntemleri Yazılımlar ve Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] Öztürk, E., (2004). “Digital Hava Kameraları”, Yüksek Lisans Semineri, Z.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [13] Torlegard, K., (1988). Some Photogrammetric Experiments with Digital Image Processing, ISPRS88.

- [14] Schut, G. H., (1976). "Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models", The Canadian Surveyor, 30:5.
- [15] Leberl, F. (1973). "Interpolation In a Square Grid DTM, ITC Journal", 75.
- [16] Dermanis. A., (1984). "Kriging and Collocation – A Comparison". Manuscripta Geodetica, 9(3):159 – 167.
- [17] Martensson S.G., (2002). "Height Determination By GPS-Accuracy with Respect to Different Geoid Models in Sweden, International Congress", 2002, Washington DC.USA
- [18] Golden Software, Surfer 9.0 programı yardım menüsü.
- [19] İnal, C., Yiğit, Ö., (2003). "Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği", TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-25-26 Eylül 2003, Konya
- [20] Soycan, A., Soycan, M., (2002). "Yol Projelerinde Sayısal Arazi Modellerinin Kullanılması", Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002, Konya.

**A TİPİ ARAZİDE FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ VE
PARAMETRELER İLE HACİM HESABI**

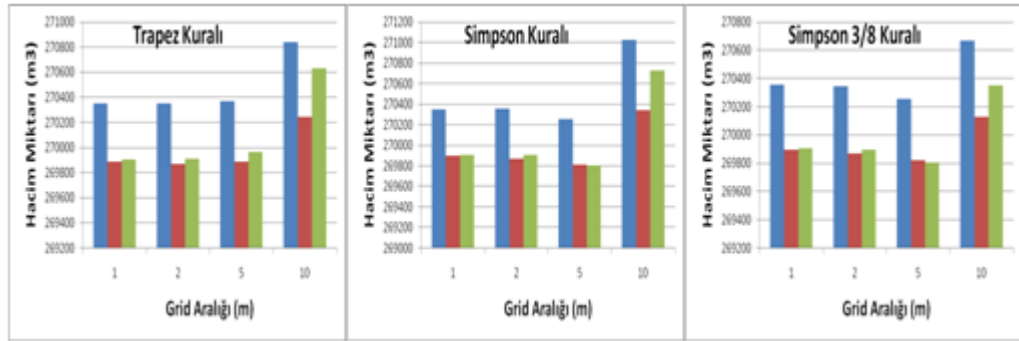
Grid Aralığı (m)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Kriging Metodu
1			
2			
5			
10			

Şekil Ek-A. 1 5.71 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-A. 1’ de görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge Ek-A. 1 5.71 m² / nokta olan arazide hacim hesabı

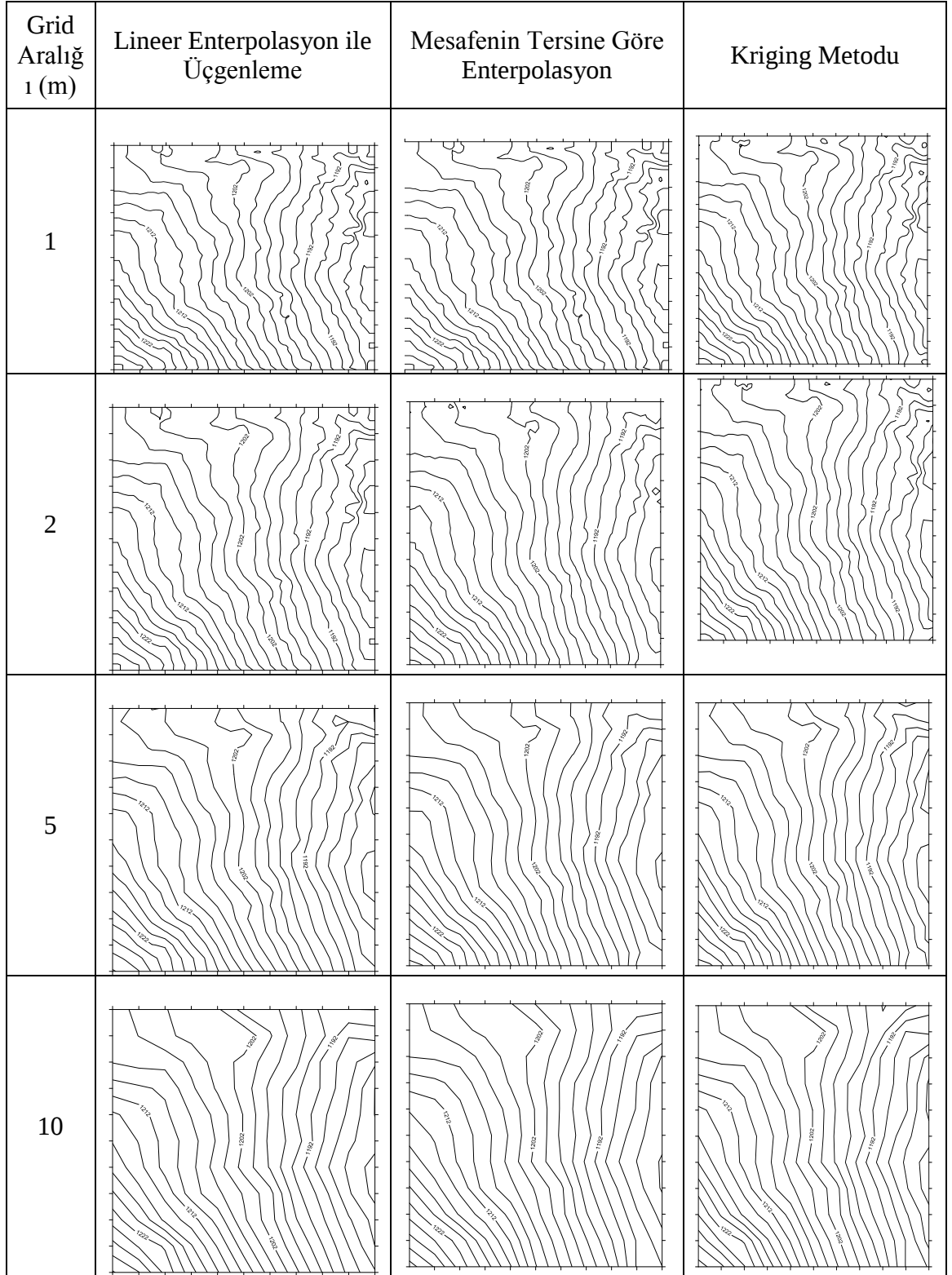
HESAP YÖNTEMİ	GRID ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m3)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	270350.470	0.000	269888.083	0.000	269907.231	0.000
	2	270349.677	-0.008	269870.417	-0.177	269910.624	0.034
	5	270370.029	0.196	269889.379	0.013	269965.846	0.586
	10	270841.766	4.913	270242.762	3.547	270634.028	7.268
Simpson Kuralı	1	270350.821	0.000	269895.589	0.000	269905.714	0.000
	2	270356.847	0.060	269867.259	-0.283	269907.074	0.014
	5	270255.412	-0.954	269813.325	-0.823	269806.437	-0.993
	10	271023.674	6.729	270340.376	4.448	270725.032	8.193
Simpson 3/8 Kuralı	1	270356.308	0.000	269893.554	0.000	269906.986	0.000
	2	270347.246	-0.091	269869.189	-0.244	269895.682	-0.113
	5	270255.004	-1.013	269821.548	-0.720	269807.584	-0.994
	10	270666.076	3.098	270131.125	2.376	270353.260	4.463



Şekil Ek A. 2 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-A.2’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek A-1’e bakıldığında ise grid

aralıklarına bağılı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağılı olarak oransal farkları görülebilir.

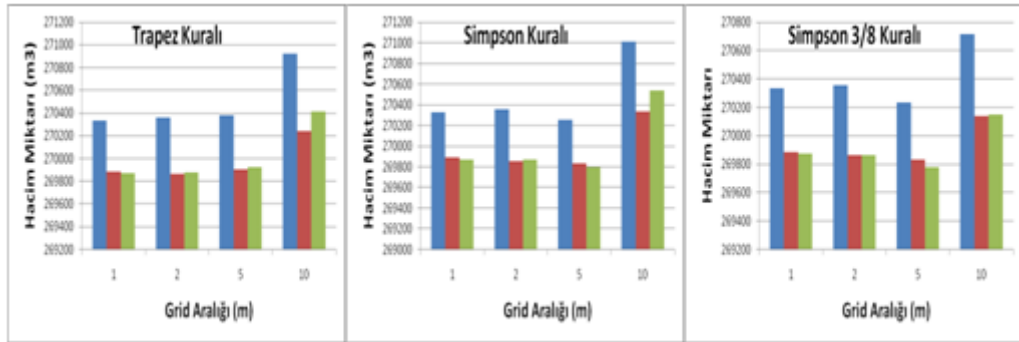


Şekil Ek-A. 3 6.67 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-A.3’de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge Ek-A. 2 Nokta yoğunluğu $6.67 \text{ m}^2 / \text{nokta}$ olan arazide hacim hesabı

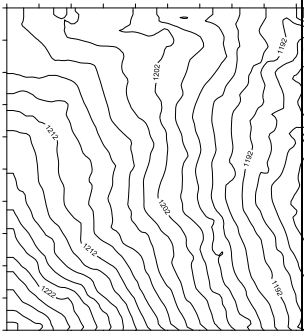
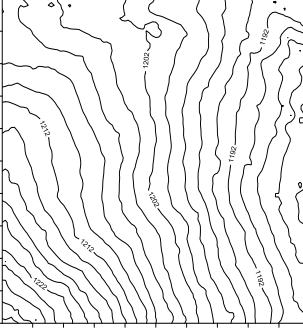
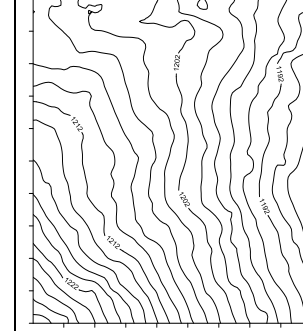
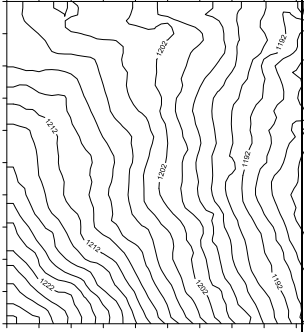
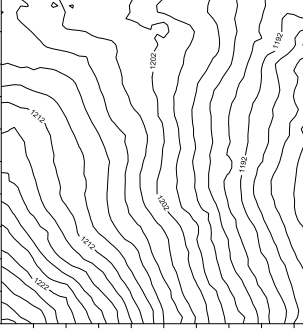
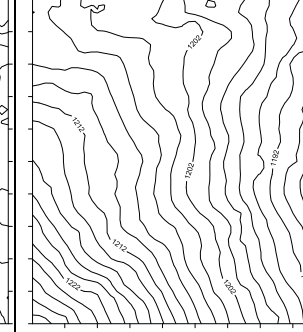
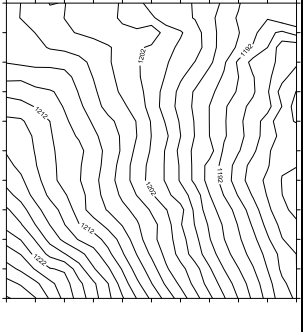
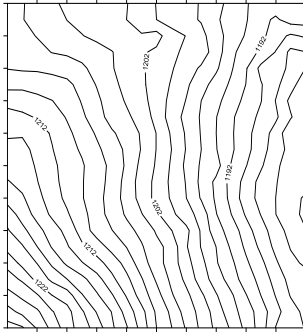
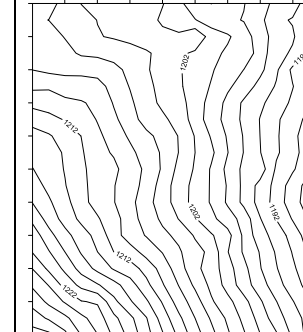
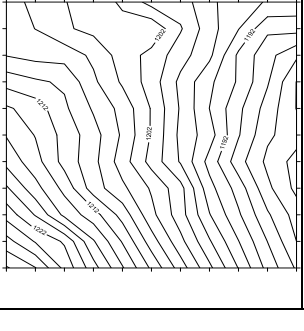
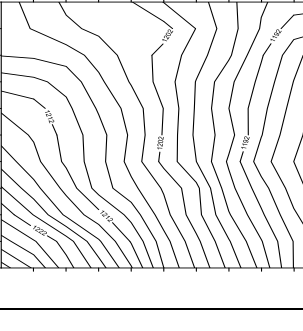
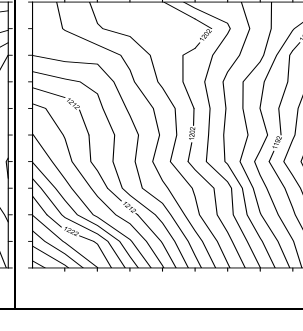
HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	270335.128	0.000	269883.707	0.000	269873.951	0.000
	2	270359.393	0.243	269864.130	-0.196	269877.456	0.035
	5	270379.225	0.441	269904.187	0.205	269921.434	0.475
	10	270924.933	5.898	270242.480	3.588	270414.160	5.402
Simpson Kuralı	1	270327.646	0.000	269891.757	0.000	269872.458	0.000
	2	270353.493	0.258	269854.602	-0.372	269871.138	-0.013
	5	270252.296	-0.754	269835.058	-0.567	269797.741	-0.747
	10	271010.946	6.833	270331.537	4.398	270540.221	6.678
Simpson 3/8 Kuralı	1	270333.470	0.000	269886.940	0.000	269872.989	0.000
	2	270355.258	0.218	269864.629	-0.223	269861.956	-0.110
	5	270236.608	-0.969	269834.000	-0.529	269781.521	-0.915
	10	270718.410	3.849	270137.524	2.506	270147.222	2.742



Şekil Ek-A. 4 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-A.4’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının

hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek-A.2'ye bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

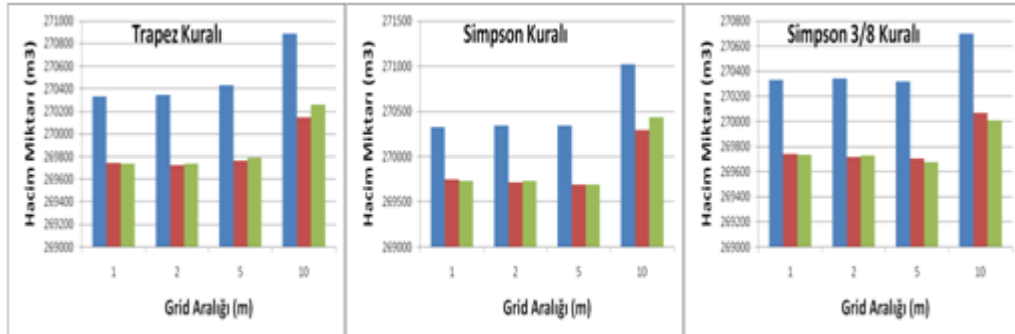
Grid Aralığı (m)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Kriging Metodu
1			
2			
5			
10			

Şekil Ek-A. 5 8 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-A.5’de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Dolayısı ile grid aralığı arttıkça, arazide gösterilmek istenen detay azalmaktadır.

Çizelge Ek-A. 3 Nokta yoğunluğu 8 m^2 / nokta 2 olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m3)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	270333.407	0.000	269740.689	0.000	269735.840	0.000
	2	270348.129	0.147	269723.370	-0.173	269737.774	0.019
	5	270434.049	1.006	269764.412	0.237	269788.181	0.523
	10	270887.100	5.537	270145.943	4.053	270260.569	5.247
Simpson Kuralı	1	270328.476	0.000	269747.315	0.000	269734.977	0.000
	2	270344.047	0.156	269716.863	-0.305	269735.254	0.003
	5	270342.252	0.138	269692.461	-0.549	269690.149	-0.448
	10	271024.657	6.962	270291.899	5.446	270434.538	6.996
Simpson 3/8 Kuralı	1	270331.734	0.000	269742.787	0.000	269735.244	0.000
	2	270343.937	0.122	269719.647	-0.231	269730.246	-0.050
	5	270317.030	-0.147	269707.741	-0.350	269674.091	-0.612
	10	270697.224	3.655	270068.276	3.255	270009.198	2.740



Şekil Ek-A.6 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-A.6'da görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek-A.3'e bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

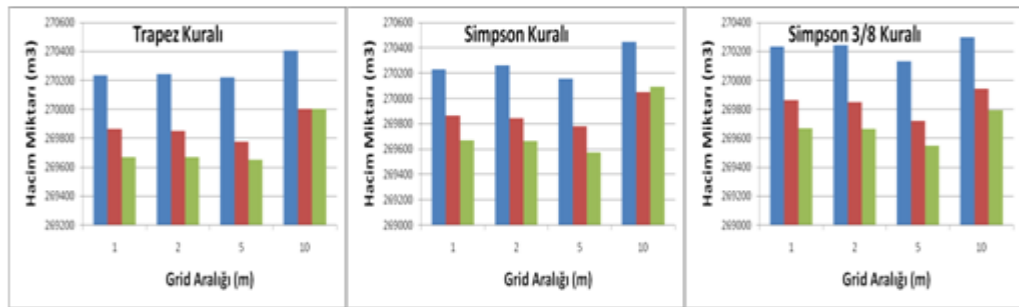
Grid Aralığı (m)	Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Kriging Metodu
1			
2			
5			
10			

Şekil Ek-A. 7 13.33 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-A.7’de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge Ek-A. 4 Nokta yoğunluğu $13.33 \text{ m}^2 / \text{nokta}$ olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	270234.878	0.000	269862.191	0.000	269668.173	0.000
	2	270246.191	0.113	269850.447	-0.117	269667.880	-0.003
	5	270219.415	-0.155	269777.406	-0.848	269650.421	-0.178
	10	270408.347	1.735	270001.820	1.396	270002.189	3.340
Simpson Kuralı	1	270231.383	0.000	269866.725	0.000	269668.239	0.000
	2	270262.033	0.306	269842.000	-0.247	269664.286	-0.040
	5	270154.815	-0.766	269782.965	-0.838	269573.639	-0.946
	10	270445.289	2.139	270051.958	1.852	270091.111	4.229
Simpson 3/8 Kuralı	1	270234.083	0.000	269864.323	0.000	269667.159	0.000
	2	270240.895	0.068	269847.719	-0.166	269663.252	-0.039
	5	270131.071	-1.030	269718.962	-1.454	269549.271	-1.179
	10	270299.965	0.659	269943.175	0.789	269795.149	1.280

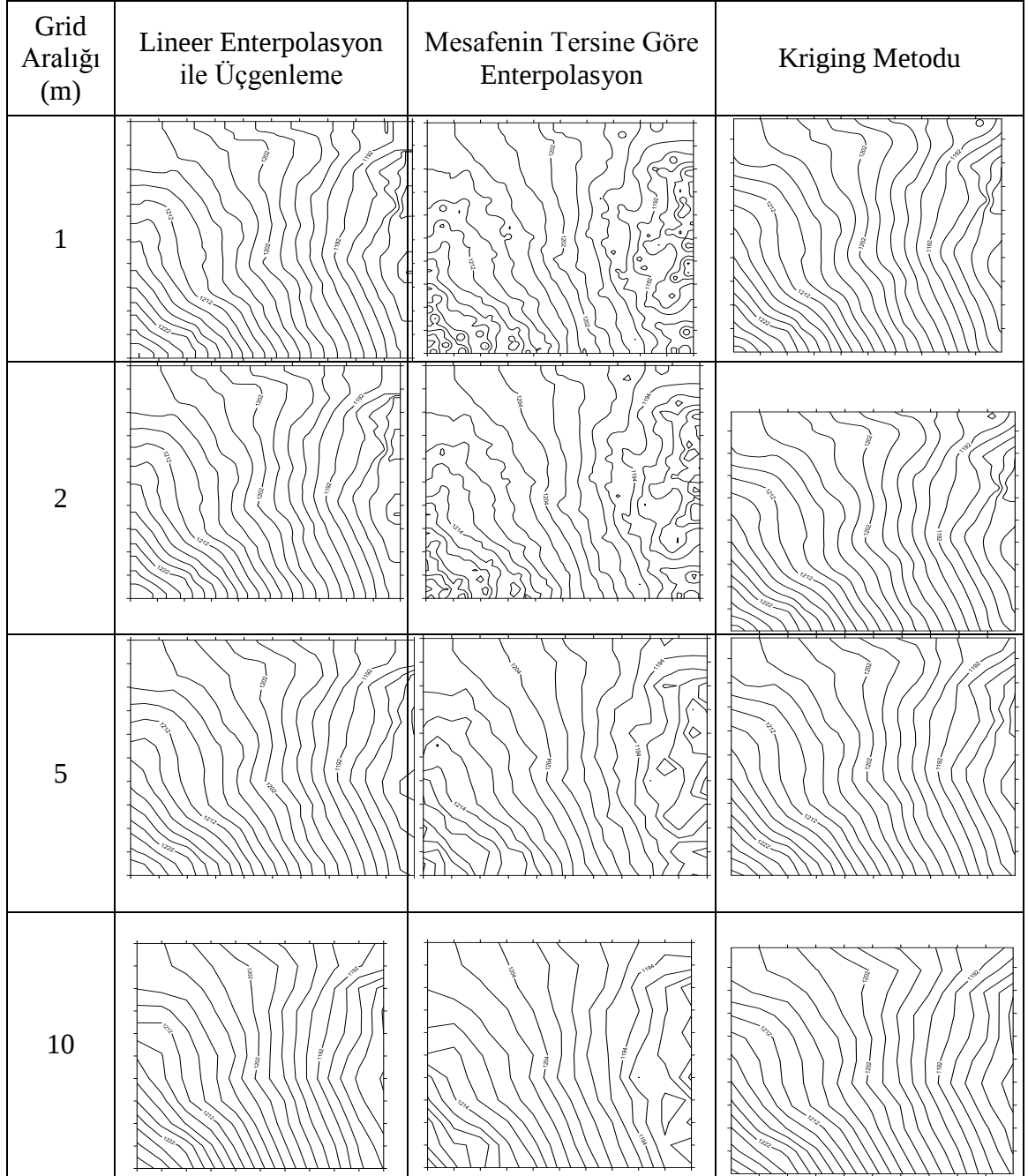


Şekil Ek-A. 8 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-A.8’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek-A.4’e bakıldığında ise grid

aralıklarına bağılı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağılı olarak oransal farkları görülebilir.

Oransal farklar incelendiğinde, açıkça görülebilir ki 1m ile 5m arasındaki grid aralıklarında sonuçlar birbirlerine yakın iken, 10m grid aralığında farkların arttığı görülebilir.

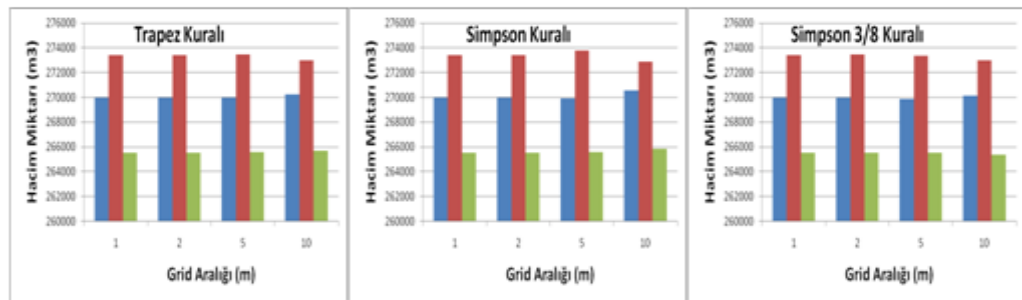


Şekil Ek-A. 9 40 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-A.9’da görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Nokta yoğunluğu az iken, mesafenin tersine göre enterpolasyon yönteminde sıkça karşılaşılan “Bull’s Eye” hatasını görmek mümkündür.

Çizelge Ek-A. 5 Nokta yoğunluğu 40 m² / nokta olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m3)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	269962.835	0.000	273437.445	0.000	265552.810	0.000
	2	269980.128	0.173	273433.514	-0.039	265552.974	0.002
	5	269961.747	-0.011	273463.942	0.265	265573.877	0.211
	10	270245.993	2.832	272982.794	-4.547	265660.478	1.077
Simpson Kuralı	1	269957.302	0.000	273438.620	0.000	265552.721	0.000
	2	269975.431	0.181	273430.350	-0.083	265547.259	-0.055
	5	269894.364	-0.629	273762.734	3.241	265584.735	0.320
	10	270529.963	5.727	272871.883	-5.667	265863.564	3.108
Simpson 3/8 Kuralı	1	269963.350	0.000	273433.270	0.000	265552.228	0.000
	2	269981.226	0.179	273454.085	0.208	265551.591	-0.006
	5	269882.839	-0.805	273362.815	-0.705	265546.803	-0.054
	10	270108.735	1.454	272966.403	-4.669	265369.120	-1.831

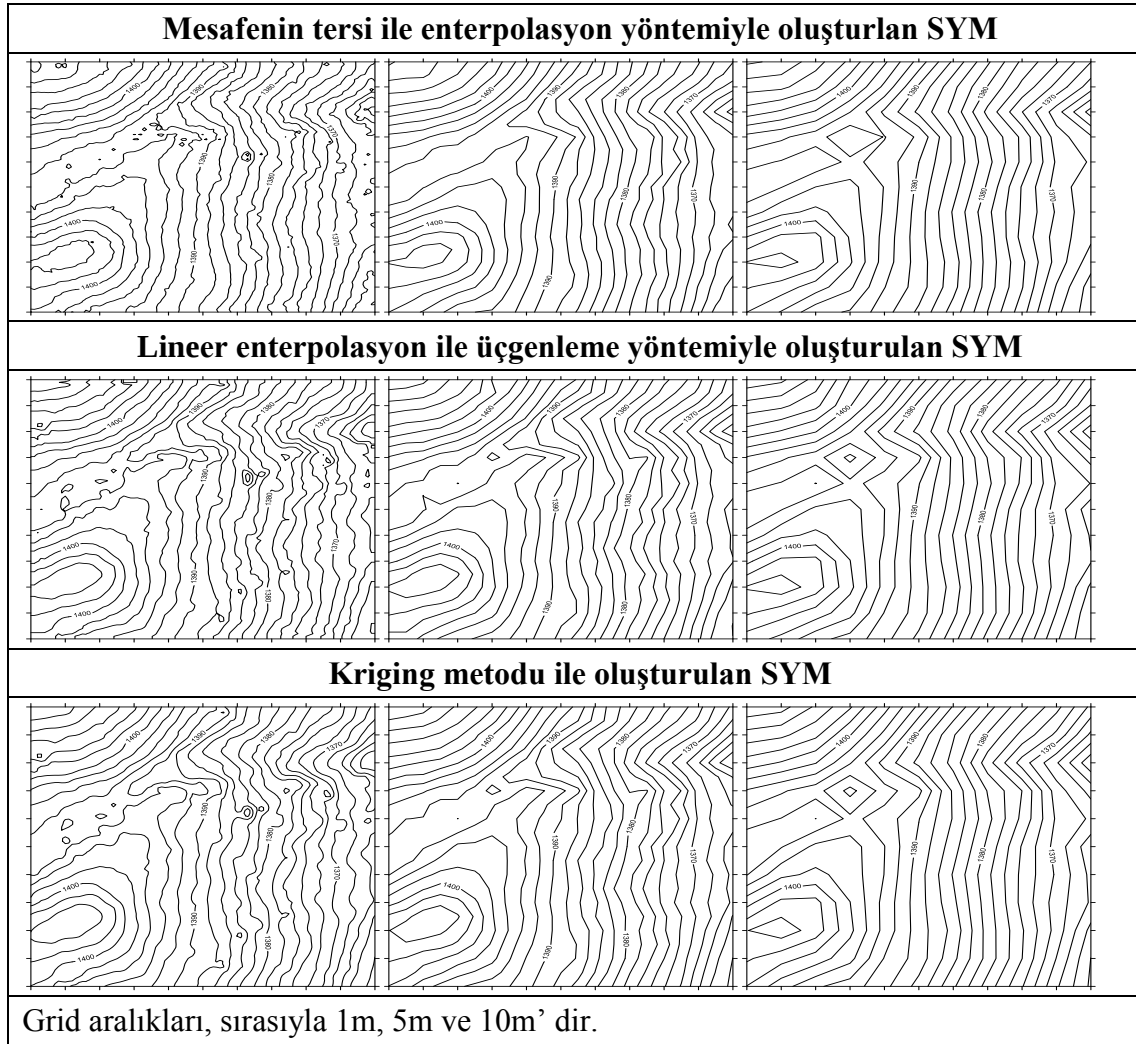


Şekil Ek-A. 10 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-A.10’da görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının

hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek-A. 5'e bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

B TİPİ ARAZİDE FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELER İLE HACİM HESABI

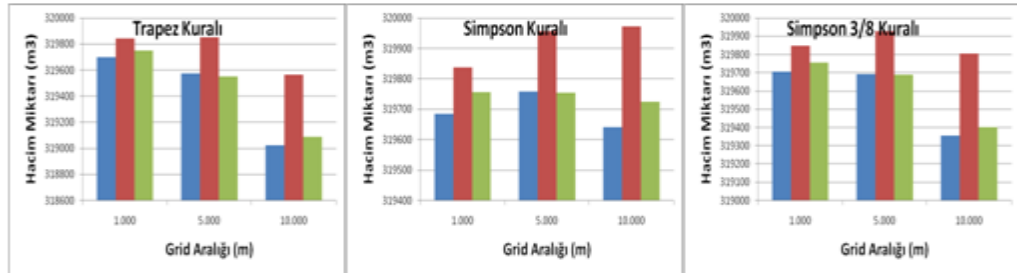


Şekil Ek-B. 1 5.56 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-B.1’de görüldüğü üzere, farklı enterpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Bir başka deyiş ile, grid aralıklarının artması ile, arazide gösterilmek istenen detaylar azalır.

Çizelge Ek-B. 1 Nokta yoğunluğu $5.56 \text{ m}^2 / \text{nokta}$ olan arazide hacim hesabı

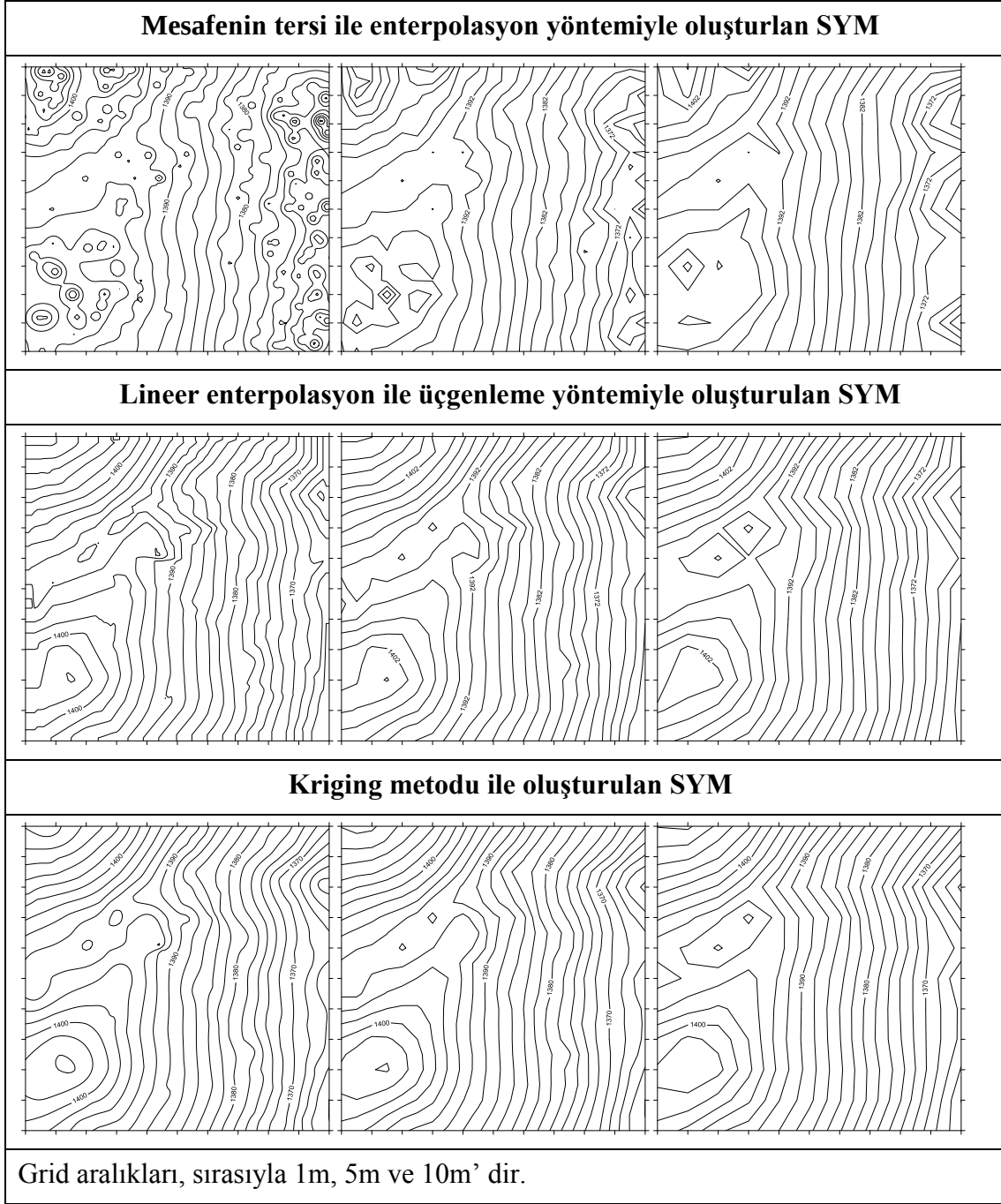
HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	319701.056	0.000	319845.449	0.000	319750.901	0.000
	5	319575.620	-1.254	319853.968	0.085	319553.652	-1.972
	10	319024.911	-6.761	319564.620	-2.808	319087.878	-6.630
Simpson Kuralı	1	319683.970	0.000	319837.513	0.000	319755.185	0.000
	5	319758.482	0.745	319956.328	1.188	319754.202	-0.010
	10	319641.635	-0.423	319973.124	1.356	319723.670	-0.315
Simpson 3/8 Kuralı	1	319705.752	0.000	319848.279	0.000	319754.989	0.000
	5	319692.055	-0.137	319926.975	0.787	319690.570	-0.644
	10	319353.854	-3.519	319803.958	-0.443	319401.367	-3.536



Şekil Ek-B. 2 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-B.2’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek-B.1’e bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

Hacimler grafiğinin, yükseklik farkı çok olmayan arazi yapılarında, yani engebenin çok sık görülmediği arazilerde artan ya da azalan yönde lineer olması beklenirken, B tipi arazide yükseklik farkları arazinin her yerinde aynı olmadığından, bazı durumlarda parabolik ya da düzensiz grafiklere rastlamak mümkündür.

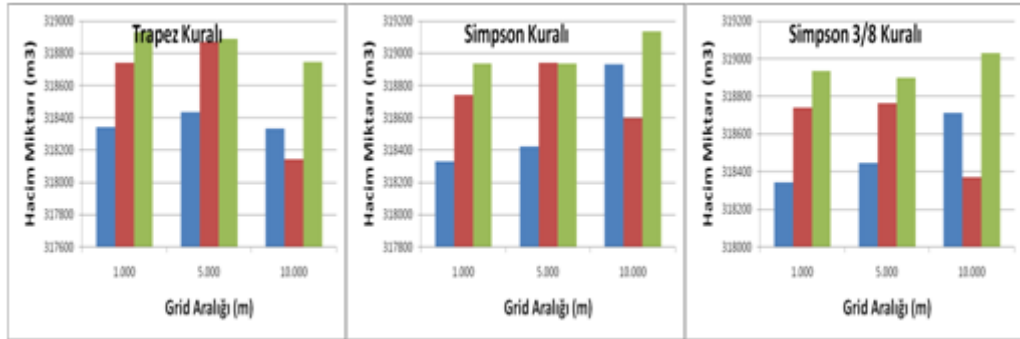


Şekil Ek-B. 3 50 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-B.3’de görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

Çizelge Ek-B. 2 Nokta yoğunluğu 50 m² / nokta olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN KAZI HACMİ (m3)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	318341.197	0.000	318742.076	0.000	318933.280	0.000
	5	318433.398	0.922	318871.650	1.296	318891.762	-0.415
	10	318332.355	-0.088	318144.804	-5.973	318745.849	-1.874
Simpson Kuralı	1	318329.191	0.000	318741.578	0.000	318934.394	0.000
	5	318421.603	0.924	318941.584	2.000	318935.305	0.009
	10	318930.962	6.018	318597.894	-1.437	319133.633	1.992
Simpson 3/8 Kuralı	1	318344.639	0.000	318739.371	0.000	318935.321	0.000
	5	318447.890	1.033	318761.900	0.225	318897.203	-0.381
	10	318711.758	3.671	318369.891	-3.695	319031.212	0.959

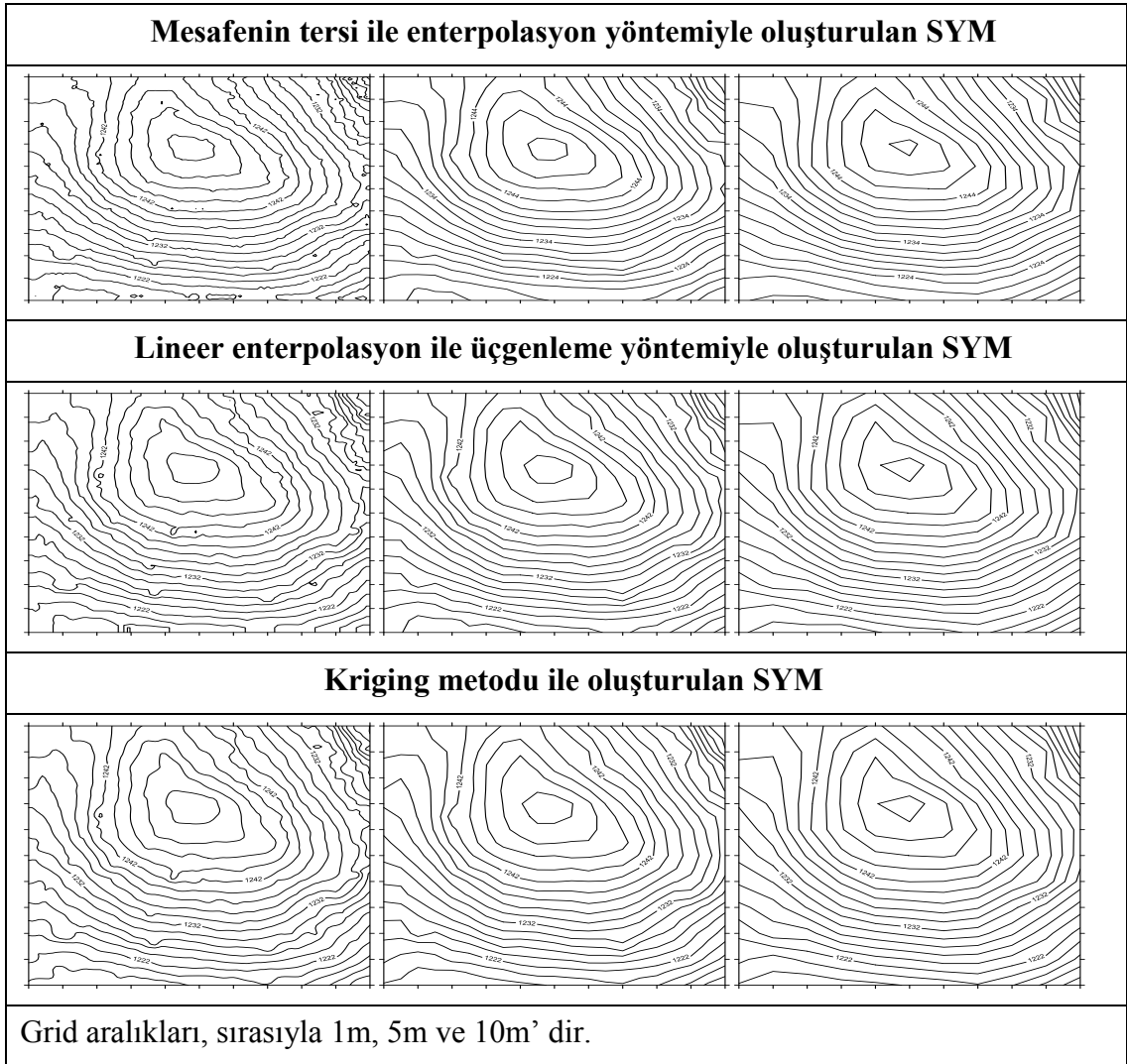


Şekil Ek-B. 4 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-B.4’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek-B.2’ye bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı interpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

Hacimler grafiğinin yükseklik farkı çok olmayan arazi yapılarında, yani engebenin çok sık görülmediğı arazilerde artan yada azalan yönde lineer olması beklenirken, B tipi arazisinde yükseklik farkları arazinin her yerinde aynı olmadığından, bazı durumlarda parabolik ya da düzensiz grafiklere rastlamak mümkündür.

C TİPİ ARAZİDE FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELER İLE HACİM HESABI

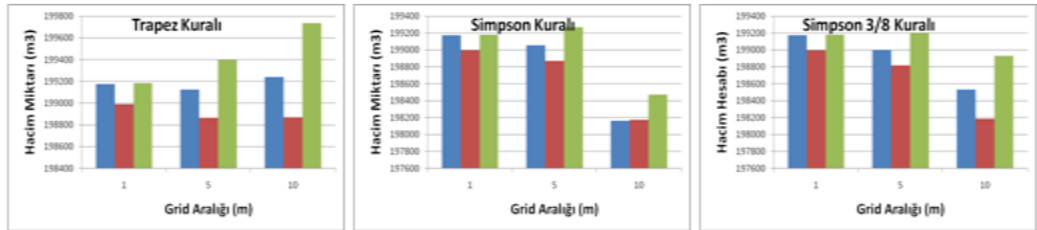


Şekil Ek-C. 1 5.56 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-C.1’de görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır.

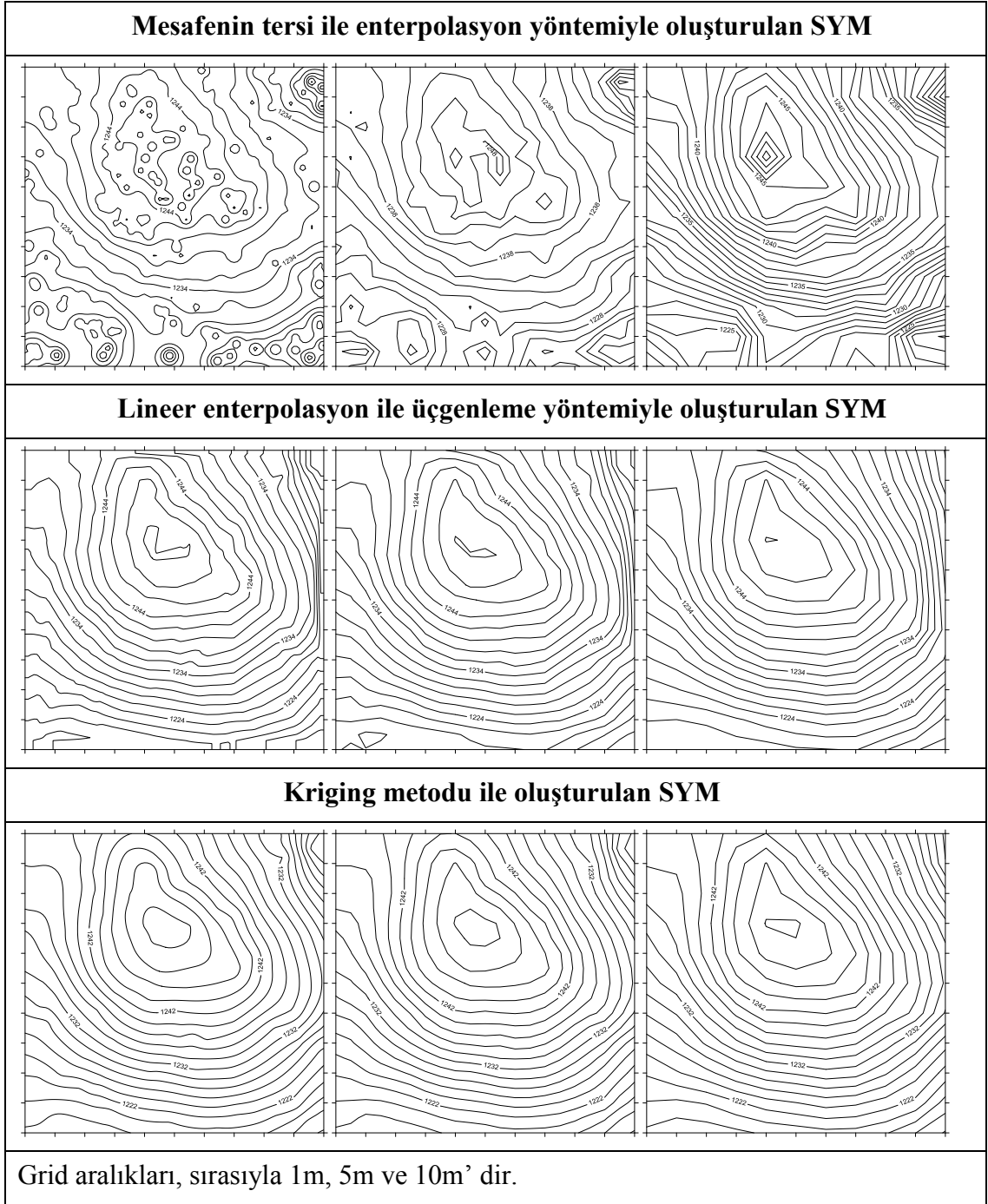
Çizelge Ek-C. 1 Nokta yoğunluğu 5.56 m² / nokta olan arazide hacim hesabı

HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN DOLGU HACMI (m3)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	199176.052	0.000	198989.481	0.000	199185.021	0.000
	5	199125.963	-0.501	198866.937	-1.225	199399.737	2.147
	10	199240.002	0.640	198870.646	-1.188	199734.169	5.491
Simpson Kuralı	1	199176.595	0.000	198995.727	0.000	199177.553	0.000
	5	199057.810	-1.188	198872.986	-1.227	199272.447	0.949
	10	198160.430	-10.162	198176.627	-8.191	198472.963	-7.046
Simpson 3/8 Kuralı	1	199175.793	0.000	198994.047	0.000	199179.276	0.000
	5	199002.516	-1.733	198819.892	-1.742	199196.593	0.173
	10	198534.239	-6.416	198185.064	-8.090	198929.467	-2.498



Şekil Ek-C. 2 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-C.2’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek-C.1’e bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı interpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir. C tipi arazide de yükseklik farkı yer yer değiştiğinden dolayı, çalışmalar sonucunda lineer grafiklerin yanı sıra, lineer olmayan grafikler de görmek mümkündür.

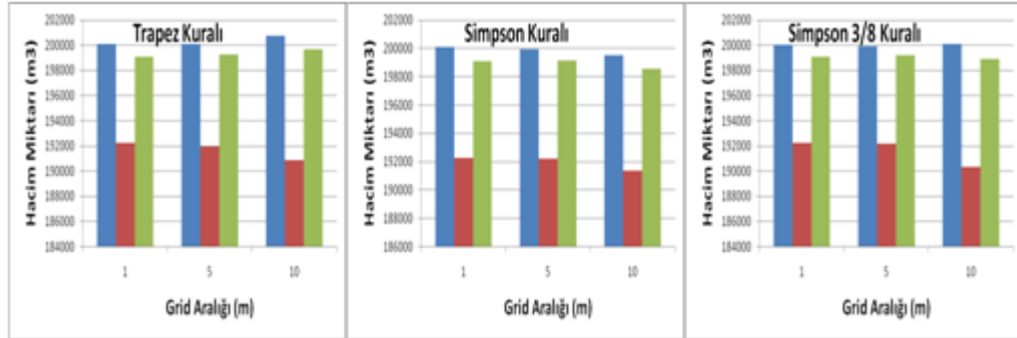


Şekil Ek-C. 3 50 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-C.3’de görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Nokta yoğunluğu az iken, mesafenin tersine göre interpolasyon yönteminde “Bull’s Eye” hatasını görmek mümkündür.

Çizelge Ek-C. 2 Nokta yoğunluğu 50 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı

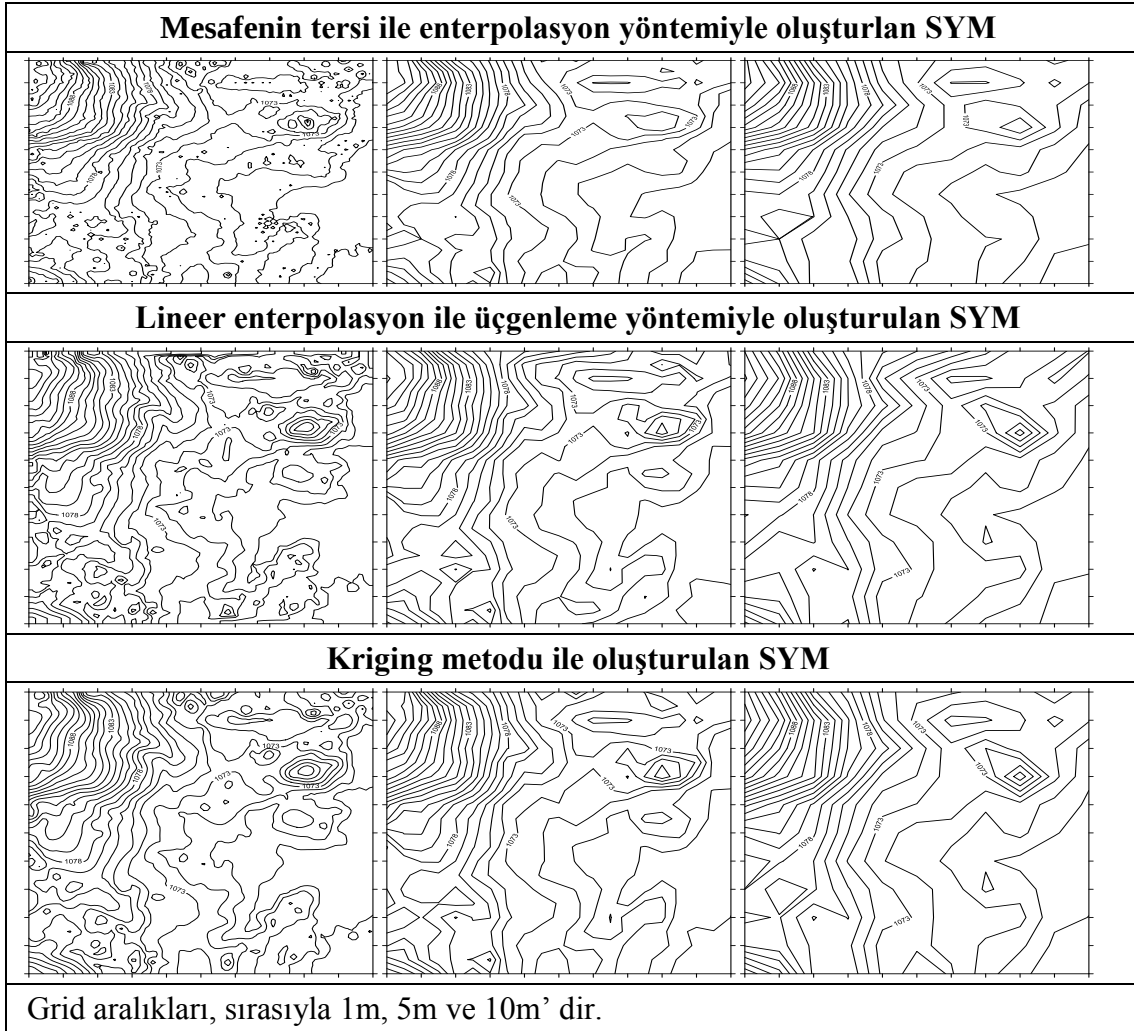
HESAP YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	KULLANILAN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİYLE ELDE EDİLEN DOLGU HACMİ (m ³)					
		Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	Fark (%)	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	Fark (%)	Kriging Metodu	Fark (%)
Trapez Kuralı	1	200081.887	0.000	192234.646	0.000	199094.677	0.000
	5	200120.697	0.388	191971.847	-2.628	199280.960	1.863
	10	200737.170	6.553	190893.785	-13.409	199681.076	5.864
Simpson Kuralı	1	200102.233	0.000	192243.892	0.000	199087.372	0.000
	5	199949.415	-1.528	192191.352	-0.525	199153.556	0.662
	10	199512.671	-5.896	191348.871	-8.950	198591.549	-4.958
Simpson 3/8 Kuralı	1	200062.098	0.000	192239.754	0.000	199086.647	0.000
	5	199950.592	-1.115	192209.495	-0.303	199187.187	1.005
	10	200078.396	0.163	190357.463	-18.823	198893.875	-1.928



Şekil Ek-C. 4 Hacim miktarlarının grid aralığına bağlı değişimi

Grid aralığı arttıkça, Şekil Ek-C.4’de görüldüğü gibi tüm hacim hesaplama yöntemlerinde grid aralığına bağlı bir değişim olmaktadır. Bu durum, grid aralığının hacim hesabına olan etkisini açıklamaktadır. Çizelge Ek-C.2’ye bakıldığında ise grid aralıklarına bağlı olarak sayısal arazi modellerinden hesaplanan kazı hacimlerinin farklı enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen miktarları ve grid aralığına bağlı olarak oransal farkları görülebilir.

D TİPİ ARAZİDE FARKLI ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ VE PARAMETRELER İLE HACİM HESABI

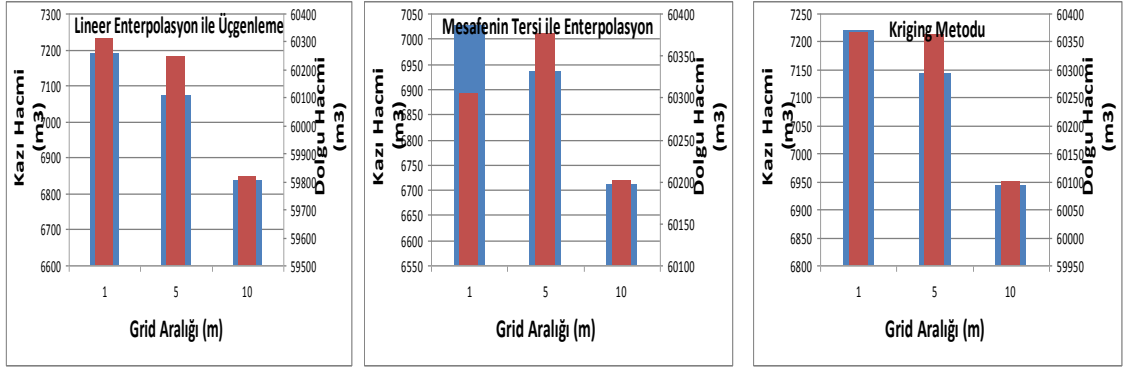


Şekil Ek-D. 1 6.25 m^2 / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

Şekil Ek-D.1’de görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Bir başka deyişle, grid aralıkları arttıkça, arazide gösterilmek istenen detaylar azalmaktadır.

Çizelge Ek-D. 1 Nokta yoğunluğu 6.25 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı

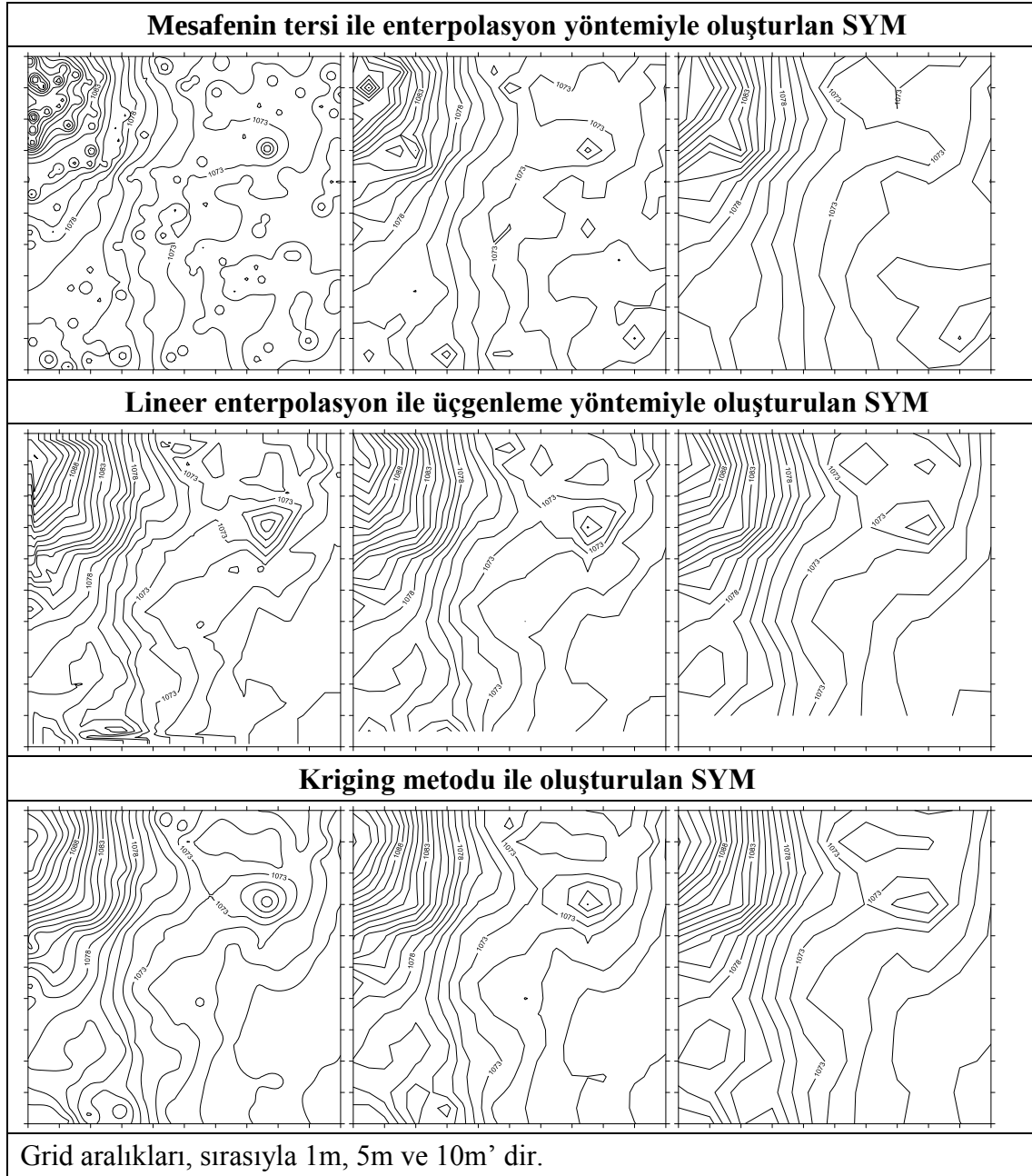
GRİD ARALIKLARINA GÖRE ORTALAMA HACİM HESABI						
ENTERPOLASYON YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	DOLGU (m3)	FARK %	KAZI (m3)	FARK %	KAZI-DOLGU (m3)
Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	1	60310.897	0.000	7191.592	0.000	-53119.305
	5	60246.415	-0.645	7071.902	-1.197	-53174.514
	10	59818.189	-4.927	6834.324	-3.573	-52983.864
Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	1	60304.685	0.000	7026.407	0.000	-53278.278
	5	60376.514	0.718	6935.677	-0.907	-53440.837
	10	60200.592	-1.041	6711.862	-3.145	-53488.730
Kriging Metodu	1	60367.838	0.000	7219.007	0.000	-53148.832
	5	60361.856	-0.060	7142.251	-0.768	-53219.605
	10	60098.248	-2.696	6942.263	-2.767	-53155.985



Şekil Ek-D. 2 Grid aralığına bağlı hacim değişimleri

Şekil Ek-D.2’de görüldüğü gibi, farklı interpolasyon yöntemlerinden farklı grid aralıklarında elde edilen hacim miktarları, grid aralıklarına bağlı olarak kazı ve dolgu hacimlerinde lineer bir grafik çizmiştir.

Farklı interpolasyon yöntemlerinden elde edilen kazı ve dolgu miktarları ve bu miktarların birbirleri ile olan yüzdesel farkları Çizelge Ek-D.1’de gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge Ek-D.1’de kazı ile dolgu miktarlarının birbirlerinden farkları belirtilmiştir. Bu fark değerleri, uygulamada nakliye veya depo işleri için önem taşımaktadır.



Şekil Ek-D. 3 50 m² / nokta yoğunluklu arazi için oluşturulan sayısal arazi modelleri

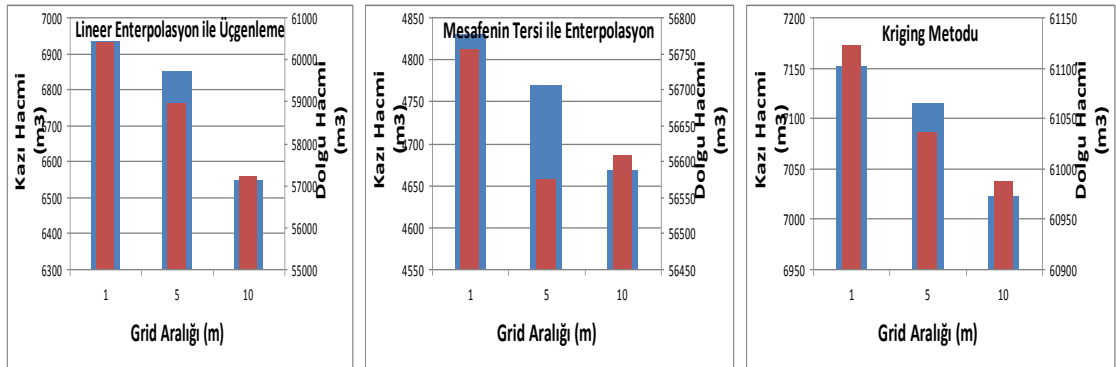
Şekil Ek-D.3’de görüldüğü üzere, farklı interpolasyon yöntemleri ile farklı grid aralıklarında oluşturulan sayısal arazi modellerinde, grid aralığı arttırıldıkça, arazi üzerindeki yükseklik eğrilerinin yumuşaklığı azalmaktadır. Bir başka deyişle, grid

aralıkları arttıkça, arazide gösterilmek istenen detaylar azalmaktadır.

Mesafenin tersi ile enterpolasyon yöntemiyle oluşturulan SYM’ne bakıldığında, “Bull’s Eye” hatasını görebilmek mümkündür.

Çizelge Ek-D. 2 Nokta yoğunluğu 50 m^2 / nokta olan arazide hacim hesabı

GRİD ARALIKLARINA GÖRE ORTALAMA HACİM HESABI						
ENTERPOLASYON YÖNTEMİ	GRİD ARALIĞI (m)	DOLGU (m3)	FARK %	KAZI (m3)	FARK %	KAZI-DOLGU (m3)
Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme	1	60410.755	0.000	6935.831	0.000	-53474.925
	5	58949.948	-14.608	6852.997	-0.828	-52096.950
	10	57206.227	-32.045	6545.391	-3.904	-50660.836
Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon	1	56756.257	0.000	4830.064	0.000	-51926.193
	5	56575.044	-1.812	4768.740	-0.613	-51806.303
	10	56608.142	-1.481	4668.078	-1.620	-51940.065
Kriging Metodu	1	61123.266	0.000	7151.429	0.000	-53971.836
	5	61036.267	-0.870	7114.891	-0.365	-53921.375
	10	60987.067	-1.362	7022.477	-1.290	-53964.591



Şekil Ek-D. 3 Grid aralığına bağlı hacim değişimleri

Şekil Ek-D.3’de görüldüğü gibi, farklı enterpolasyon yöntemlerinden farklı grid aralıklarında elde edilen hacim miktarları, grid aralıklarına bağlı olarak kazı ve dolgu hacimlerinde lineer bir grafik çizmiştir.

Farklı enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen kazı ve dolgu miktarları ve bu miktarların birbirleri ile olan yüzdesel farkları Çizelge Ek-D.2’de gösterilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fırat EKİNCİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 26. 10. 1982
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : firatekinci@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2007
Lise	Fen	Batman Fatih Lisesi	2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010	İBB Kesin Hesap Müdürlüğü	Kontrol Mühendisi
2007	Yoltek İnş. Ltd. Şti	Saha Mühendisi