

34367

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDE
HASSASİYET ANALİZİ VE
ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ

Taner ÜSTÜNTAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ
ANABİLİM DALI
Konya, 1994

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BİLİM VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
MERKEZİ

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDE HASSASİYET ANALİZİ
VE ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ

Taner ÜSTÜNTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ ANABİLİM DALI

Bu tez 29/06/1994 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Ömer Halis TOMBAKLAR · Prof. Abbas BARIŞKANER Prof. Dr. Mehmet YERCI

İmza
Ö. Tombaklar

İmza
A. Barışkaner

İmza
M. Yerci

ABSTRAKT

Yüksek Lisans Tezi

SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDE HASSASİYET ANALİZİ VE ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ

Taner ÜSTÜNTAŞ

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Ömer Halis TOMBAKLAR

1994, sayfa : 69

Jüri: Prof. Ömer Halis TOMBAKLAR

Prof. Abbas BARIŞKANER

Prof. Dr. Mehmet YERCİ

Sayısal Arazi Modellerinde (SAM), doğruluk çok sayıda faktörlere bağlıdır. Doğruluğu etkileyen faktörler iki grupta incelenir. Birincisi, veri elde etme; noktaların yoğunluğu, dağılımı ve ölçülen noktaların kalitesi, arazinin morfolojik özellikleridir. İkincisi; enterpolasyon yöntemleri ve programın arazideki özel doğal yapıyı yakalayabilmesidir. Günümüze kadar genelde çalışmalar enterpolasyon yöntemleri ve bilgisayar programlarının geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Araziyi yeterli şekilde tasvir edebilme yöntemleri geliştirmeye çalışılmaktadır. Fakat elde edilen düzeç eğrisi çizgilerinin kalitesine veri elde etmenin etkileri hala tartışma konusu olarak kalmıştır.

Bu çalışmada, Sayısal arazi modellerinde, sayısal arazi modellemesi ile ilgili problemlerinden, matematik ve sayısal arazi modellerinden, arazi tasvirlemelerinden, enterpolasyon yöntemlerinden ve sayısal arazi modellerinde hassasiyet için matematik modellerden bahsedildi. Burada, ne hassasiyet analizlerini incelemek nede enterpolasyon metodu araştırma konusudur. Çalışmanın pratik uygulamasında, farklı veri guruplarından elde edilen düzeç eğrileri ve SAM' in enterpolasyon doğruluğunu araştıran bir deney yapıldı. Araştırmanın amacı yalnızca, alımı yapılan araziye sayısal tasvir ederken programın araziye doğru tasvir edip edmediğini incelemektir. Selçuk Üniversitesi Kampüs alanında elde edilen verilerle Türk SAM yazılımları ile elde edilen düzeç eğrileri ve klasik yöntemle elde edilen düzeç eğrileri arasında karşılaştırmalar yapıldı. Programların enterpolasyon yöntemleri ve üçgenleme yöntemlerinin aynı olduğu sonucuna varıldı.

ANAHTAR KELİMELEER: DTM,Sayısal Arazi Modelleri, DTM'in Hassasiyet Modelleri, Matematik Modellerin Doğruluğu, Arazi Yüzeyi Modellemesi, Arazi Yüzeyi

Modellemesi için Matematik Modeller, Arazi Tasvirleri, Enterpolasyon Metodları.



ABSTRACT

Master Thesis

HEIGHT INTERPOLATION AND ACCURACY ANALYST OF CONTOUR FOR DIGITAL TERRAIN MODEL

Taner ÜSTÜNTAŞ

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geodesy and Photogrammetry

Supervisor: Prof. Ömer Halis TOMBAKLAR

1994, Page: 69

Jüri: Prof. Ömer Halis TOMBAKLAR

Prof. Abbas BARIŞKANER

Prof. Dr. Mehmet YERCI

Accuracy of the Digital Terrain Model (DTM) is depends on a great number of factors. These factors are analysed in two groups. The first group parameters are data collection, density of the field surveying points, their distributions, accuracy of measurements and field morphology. The second group parameters are interpolation methods and the features of the computer programs which simulate the natural contour of the interested field. In general the research studies which have been conducted up to now mainly concentrated on the development of interpolation methods and computer programs. Different methodologies which can represent features of the field morphology are still being research. However, the effects of data collection on the accuracy of the drawn contour lines have been unclear and it is left as a further discussion and research subject.

In this study the following subjects are searched and described for the analysis of the digital terrain models. These subjects are; terrain descriptors, interpolation methods, digital terrain models, mathematical models of accuracy of DTM surface. Here the aim is neither the analysis of the accuracy of DTM nor the analyses of the interpolation methodology. In this study; as a practical work a special experiment was conducted to research the accuracy of contour lines and DTM's interpolation which are based on different data groups. The aim is limited to analyse whether the computer software programs describe the interested field correctly or not. The field data obtained from Selçuk University campus have been analysed by means of Turkish DTM software programs and conventional (classic) methods. The contour lines obtained from these

two methods were compared, As a result of these comparisons, it is determined that the interpolation and the triangulation methods produced by the two different computer programs found to be same.

KEY WORDS: Digital Terrain Model, DTM, mathematics models of accuracy of DTM surface, accuracy of mathematical model, terrain descriptors, interpolation methods.



TEŞEKKÜR

Çalışmalarımnda bana destek olan sayın hocam Prof. Ömer Halis TOMBAKLAR' a, Prof. Abbas BARIŞKANER' e, Prof. Dr. Mehmet YERCI' ye, ve Bilgi İşlem Merkezindeki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Ferruh YILDIZ' a, İ. Öztuğ BİLDİRİCİ' ye, teknik ve program yardımlarından dolayı Ak Mühendislik ve Graftek şirketine arazi ölçmelerinde yardımcı olan öğrencilere teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sayısal Arazi Modeli' nin (SAM) Tanımı.....	1
1.2. Sayısal Arazi Modellemesinde İşlemler.....	2
1.3 Sayısal Arazi Modellemesinin Doğruluğu.....	5
1.3.1. Arazi yüzeyinin özellikleri.....	6
1.3.2. SAM kontrol noktalarının dağılımı ve yoğunluğu.....	7
1.3.3. SAM kontrol noktalarının elde edilmesi doğruluğu.....	7
1.3.4. Arazi yüzeyi modellemesi için kullanılan metodlar.....	8
2. MATEMATİK MODELLER VE SAYISAL ARAZİ MODELLEMESİ.....	10
2.1. Genel Olarak Modeller.....	10
2.2. Matematik Modeller.....	11
2.2.1. Matematik modellerin avantajları.....	11
2.2.2. Matematik modelleri değerlendirmek için standartlar.....	12
2.3. Sayısal Arazi Modelleri.....	13
2.3.1. Sayısal arazi modellerine giriş.....	13
2.3.2. Sayısal arazi modellemesinde teklif edilen teknik terimler.....	13
2.4. Arazi Yüzeyinin Matematik Modelleri.....	15
2.5. SAM Doğruluğunun Matematik Modelleri.....	15
2.6. Sayısal Arazi Modellemesinde Diğer Matematik Modeller.....	16
2.7. Benzetme Yöntemi.....	17
3. ARAZİ TANIMLAMALARI.....	18
3.1. Giriş.....	18
3.2. Sayısal Olmayan Arazi Tanımlamaları.....	19
3.2.1. Arazi yüzeyinin özelliklerine dayanan arazi tasvirleri.....	19
3.2.2. Arazi şeklinin yaratılışına dayanan arazi tasvirleri.....	19
3.2.3. Arazinin fiziksel özelliklerine dayanan tasvirleri.....	20
3.2.4. Arazi şekli uyumuna ve engebe şekli sınıflamasına dayanan arazi tasvirleri.....	20

3.2.5. Sayısal olmayan tanımlamaların tartışması	21
3.3. Sayısal Tanımlamalar	22
3.3.1. Arazi yüzeyinin karışıklığının tanımlanması	22
3.3.1.1. Frekans spektrumu	22
3.3.1.2. Fraktal boyut.....	23
3.3.1.3. Düzlem ve profil eğrileri	25
3.3.2. Arazi yüzeyinin benzerliği için tanımlamalar	26
3.3.2.1. Kovaryans	26
3.3.2.2. Auto-Korelasyon	27
3.3.2.3. Variogram	27
3.3.2.4. Sayısal tanımlamaların karşılaştırılması	28
3.4. SAM Amaçları İçin Esas Arazi Tanımlamaları Olarak Kullanılacak Dalga Boyu İle Birlikte Eğim İçin Bir Tavsiye.....	28
3.4.1. Pürüzlülük vektörü (Eğim ve dalga boyu)	28
3.4.2. Geometrik açıdan bir arazi tanımlaması olarak eğimin uygunluğu	29
3.4.3. Farklı açıdan bir arazi tanımlaması olarak eğimin uygunluğu	30
3.4.4. Eğim için pratik düşünceler	30
3.5. Sonuçlar	31
4. SAYISAL ARAZİ MODELERİNDE (SAM) ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ	33
4.1. Noktasal Enterpolasyon	33
4.1.1. Lineer enterpolasyon	34
4.1.2. Bilineer polinomlarla enterpolasyon	35
4.1.3. Korelasyon yöntemiyle enterpolasyon	36
4.1.4. Kayan yüzeylerle enterpolasyon	37
4.2. Tüm Araziyi İçeren Tek Bir Fonksiyonla Enterpolasyon	38
4.2.1. Multiquadrik enterpolasyon	38
4.3. Yerel Olarak Tanımlanmış Parça Parça Fonksiyonlarla Enterpolasyon	40
4.3.1. En küçük parçalardaki polinomlarla enterpolasyon	41
5. SAYISAL ARAZİ MODELİ YÜZEYLERİNİN DOĞRULUĞUNUN MATEMATİK MODELLERİ (HASSASİYET ANALİZİ)	44
5.1. SAM Doğruluk Değerlendirmesi İçin Yaklaşımlar	44

5.2. Mevcut Matematiksel Modellerin Değerlendirilmesi.....	46
5.2.1. Mevcut doğruluk modellerin teorik değerlendirilmesi.....	46
5.2.2. Mevcut doğruluk modellerin deneysel değerlendirilmesi.....	47
5.2.2.1. Variogram fonksiyonuna dayanan matematik modellerin değerlendirilmesi.....	47
5.2.2.2. Kovaryans fonksiyonlarına dayanan modellerin değerlendirilmesi.....	53
5.2.2.3. Yükseklik frekansı spectral analize dayanan modelin değerlendirilmesi.....	55
5.2.5. Karşılaştırma.....	56
6. UYGULAMA.....	58
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
8. KAYNAKLAR.....	68



1.GİRİŞ

Değişik disiplinler dünyayı daha iyi tanımaya ve dünyayı daha rahat yaşanır hale getirmek için çalışıyorlar. Dünya üzerinde inşaat mühendisi tasarım ve bina inşa eder, jeologlar dünyanın şekli ve yapısını öğrenmeye çalışır, jeomorfologlar dünyanın şekli ve yapısını inceler, jeodezi bilim adamları, ölçmek sureti ile yüzeyi tanımlamaya ve çeşitli yollarla tasvir etmeye çalışır. Tanımlamadaki bu farklılıklara rağmen bütün uzmanlık dalları araziye uygun şekilde ve belirli doğrulukta tasvir etmeye çalışıyorlar. Arazi yüzeyinin modellenmesi veya tasvirindeki problemler, yaygın ortak ilgi alanı olmuştur.

Arazi yüzeyleri bir çok yolla tasvir edilir. Sayısal arazi modeli ham verilerle hızlı, doğru, ucuz harita yapmanın bir yoludur. Ham verilerin yoğunluğu harita doğruluğunu etkilemektedir. Verilerin yoğunluğu, sonuç haritaların doğruluğu ve maliyet arasındaki sıkı ilişki belirlenmelidir. Bunu sağlamak için, arazi yüzeyinin özellikleri iyi tanımlanmalı, ham verilerin dağılım ve yoğunluğu tesbit edilmeli ve bu veriler elde edilirken belli doğruluk değeri arasında olmalıdır. Araziyi ham verileri kullanarak bir matematik model yardımıyla tasvir edebiliriz. Arazi sınıflara ayrılarak tipi doğru olarak belirlenirse, nokta yoğunluğunu ve dağılımını belirlemek çok kolay olur. Arazi alımlarında esas problem arazi tipinin belirlenmesidir. Sayısal arazi modellerinde (SAM) kullanabilmek içinde sayısal tanımlamaya ihtiyacımız var. Ham veriler elde edildikten sonra, uygun bir matematik model kullanarak arazi yüzeyi oluşturulur. Ackerman (1979), bu yöntemleri en kapsamlı olarak inceledi. Matematiksel ifade edilmiş bir arazi yüzeyinin doğruluğunu yine bir matematiksel ifade ile bulabiliriz. Bu oluşturulan sayısal yüzeyin doğruluğu variogram, kovaryans fonksiyonları ve yükseklik frekans analizleri kullanarak belirlenir.

Bu çalışmanın gayesi, herhangi bir sayısal arazi modeli standartları olmayan ülkemizde, özel kuruluşların ticari amaçlarla yaptığı programları incelemektir.

1.1.Sayısal Arazi Modeli' nin (SAM) Tanımı

SAM için pek çok tanım bulmak mümkündür. Sayısal arazi modellerinin elde edilmesinde söz konusu olan hemen her adımda bilgisayar kullanımı gerektiği için aşağıdaki tanımları esas alınacaktır.

SAM, yeryüzünün bilgisayarla yapılacak işlemlere esas olmak üzere sayısal olarak temsil edilmesidir. Bu tanımla belirlenen SAM için yalnızca koordinatları ile bilinen noktalar değil, uygun bilgisayar programları da gerekli olmaktadır. Yukarıdaki SAM tanımı; pratikte en yaygın kullanılan ve planimetrik bilgiler yanında yükseklik bilgilerini de içeren

geniş anlamdaki SAM tanımı ile, yalnızca yükseklik bilgilerini içeren dar anlamdaki SAM tanımlarının her ikisini de kapsamı içine almaktadır (Koyuncu 1981).

1.2.Sayısal Arazi Modellemesinde İşlemler

SAM haritacılık mesleğinde önceleri büyük ölçekli olmak üzere yakın zamanda da orta ve küçük ölçekli alanlara uygulanarak tam otomatik harita üretimi çabalarına temel oluşturmaktadır.

Sayısal Arazi Modellerinde üç boyutlu gösterim için beş ana işlem söz konusudur. Üç boyutlu harita üretmek için işlemler şekil 1.1 de şematik olarak gösterildi. Bütün üç boyutlu harita için programlar beş adımı izlemektedir. Bütün harita yapımları için bunlar kabaca aynıdır. Bunlar sırasıyla;

- 1- Verilerin elde edilmesi
- 2- Verilerin işlenmesi
- 3- Üç boyutlu haritanın ön gösterimi
- 4- Modelleme
- 5- Gösterim

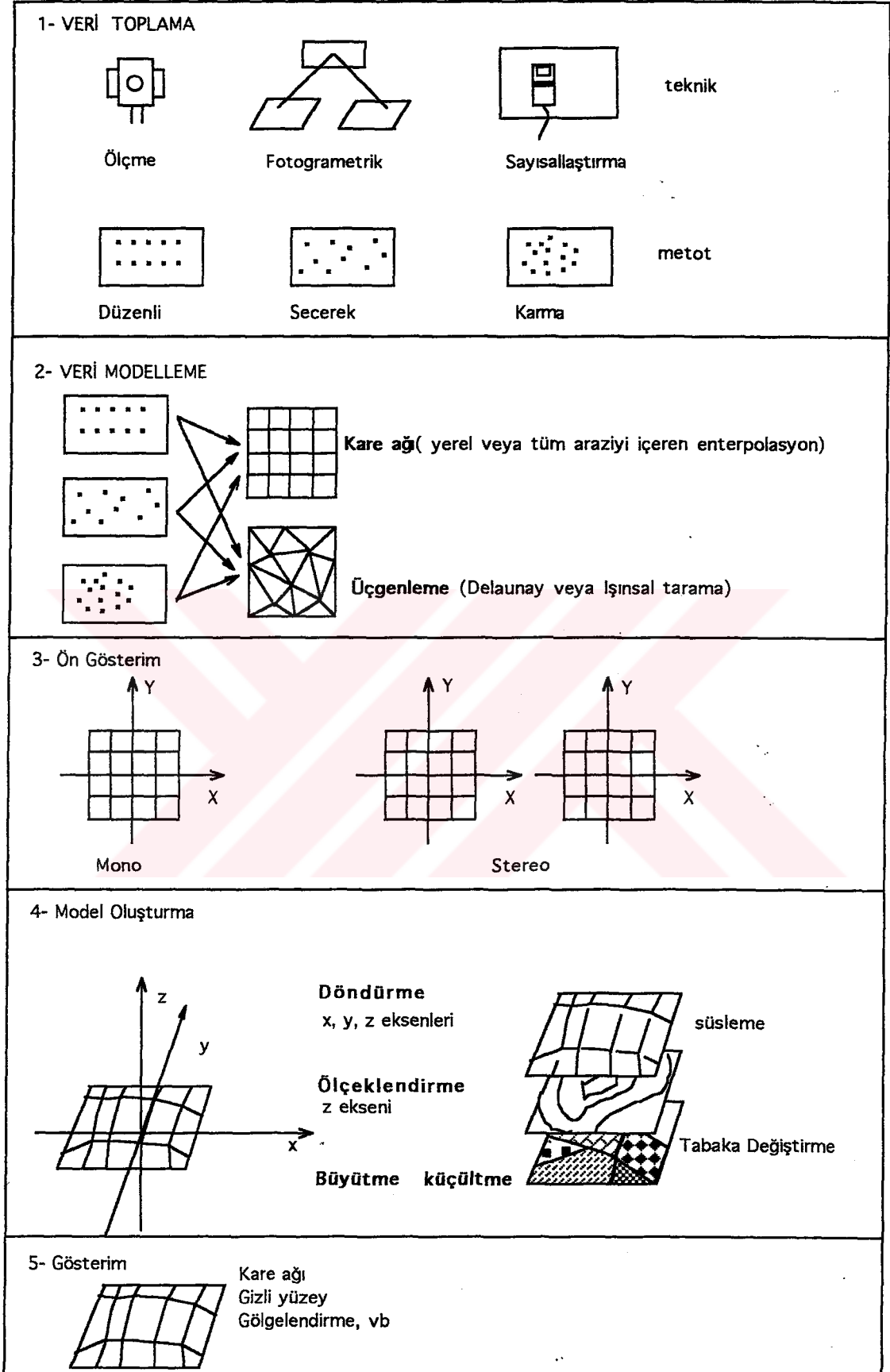
işlemlerdir. 1. ve 2. adımlar herhangi bir harita üretimi için geçerlidir. 3, 4 ve 5. adımlar üç boyutlu harita üretmek için olduğu düşünülür. Fakat harita yapım işleri için kullanılan teknik ve metotlar mevcut metot ve tekniklere gelişmelere bağlı olarak adapte edilebilir (Kraak 1990).

1- Veri Toplama: SAM' ı oluşturmak için arazi üzerine dağılmış (x,y,z) koordinatları ile bilinen noktaların bilinmesi gerekir. Arazinin gösterimine esas olan, düzenli veya düzensiz bir şekilde yayılmış bu noktalar " kontrol noktaları ", "ham değerler" , " dayanak noktaları ", " referans noktaları " olarak bilinir.

SAM için ilk veriler değişik yöntemler uygulanarak şekil1.1 de gösterildiği gibi elde edilebilirler. Yersel ölçülerle veri elde etme yönteminde veriler arazide doğrudan yapılan ölçülerle elde edilirler. Ölçü doğruluğu yüksek ve fakat veri elde etmek için harcanan zaman fazladır. Bunun sonucu olarak bu yöntem ya çok hassas çalışmalar ya başka yöntemin uygulanmadığı durumlar veya arazi kontrolleri için uygulanır.

Yeterli doğrulukta harita, ortofoto harita yada benzeri altlıklar var ise, düzeç eğrileri sayısallaştırılarak SAM için gerekli veriler toplanabilir. Burada sayısallaştırma işlemi;

a- Noktasal şekilde (Point mode): Bu sayısallaştırma şeklinde sayısallaştırılacak noktaya sayısallaştırma tatbik çizgisi çakıştırılır ve manyetik ortama aktarılması için komut verilir. Bu yöntem tek tek noktaların sayısallaştırmasında kullanır. Örnek olarak, Pafta köşeleri, tepeler, kokurdanlar, düzeç eğrileridir.



Şekil 1.1 üç- boyutlu harita için yazılımların fonksiyonları

b-Sürekli şekilde (Stream mode): Sayısallaştırmaya düzeç eğrisinin herhangi bir noktasından başlanır ve eğri bitinceye kadar üzerinden gidilmesi gerekir. Burada sayısallaştırma

- Eşit zaman aralığında,
- Eşit uzaklık yada koordinat farkları dikkate alınarak yapılır.

c- Tarama şeklinde: Tarama şeklindeki sayısallaştırmada (scanner) tarayıcılar kullanılır.

Fotogrametrik ölçüler yardımıyla veri elde etmede mekanik stereo-değerlendirme aletleri veya sayısal değerlendirme aletleri kullanılabilir. Veri toplamada nokta seçimi ve seçilen noktaların koordinatları ile kaydedilmesi başlıca dört yolla yapılabilir (Makaroviç B. 1976 Koyuncu 1981).

a- Seçerek (Selective): Koordinatları ile kaydedilecek noktalar veri toplamadan önce ya da veri toplama sırasında seçilirler.

b- Uyum sağlayarak (Adaptive): Fazladan seçilmiş noktalar ya bilgisayar devrede iken veri toplama işlemi sırasında, veya bilgisayar devre dışı iken veri toplama işleminden sonra ayıklanarak atılırlar.

c- Geliştirerek ((Prograsive): Bu yöntemle veri toplama ve toplanan verilerin analizi işlemleri biri diğerini izleyerek tekrarlanır ve bu işlem bilgisayar devrede iken yürütülür.

d- Karışım Yöntemi (Composit): Uyum sağlama ve geliştirme düşüncelerinin karışımı olarak tanımlanır.

Veri toplama işlemi mevcut bilgisayar donanımı ve yazılımı, sayısal arazi modelinin amacı, arazinin doğal yapısına bağlı olarak bu tekniklerden biri seçilir.

2- Verilerin İşlenilmesi: Veri elde etme işlemlerinden yararlanarak elde edilen kontrol noktaları iki işlemden geçirilir.

a- Ön İşlemler: Kontrol noktalarının taşıdığı kaba hatalar giderilip, koordinat dönüşümü, kenar çakıştırılması, veri sıkıştırılması, boyutlama ve kodlama gibi dönüşümler yerine getirilir.

b- Esas Dönüşümler: Ön işlemde geçirilmiş SAM verilerini kullanarak, kare ağı veya üçgenleme metotlarından biriyle çizgisel veya yüzeysel veriler elde edilir. Eğer gerekirse koordinat dönüşümü ve diğer dönüşümler uygulanarak SAM verileri istenilen koordinat sisteminde elde edilir.

3- Haritanın Ön Gösterimi: Bu adım üç boyutlu haritayı model oluşturma safhası için hazırlıktır. İşlem süresince paralel veya perspektif projeksiyon gösterimini seçme işlemi yapılır.

4- Esas Haritanın Oluşturulması: Modelleme üç boyutlu şeklin ekran

üzerinde gösterilmesinden bu yana gereklidir. Bu işlem veri kaybına neden olabilir. Kaybı en az tutabilmek için en uygun pozisyonu bulmak gerekir. Uygun pozisyonu bulmak haritayı x, y, z eksenleri etrafında döndürmekle mümkündür. Ek olarak, ekran görüntüsünü büyütüp küçültmekle mümkündür. Bir önemli özellik uygun abartmayı bulmak için haritanın z ekseni boyunca ölçekleme yapabilmek mümkündür. Üç boyutlu harita üreten programların bir özelliğide, semboller harita büyütüldüğünde, döndürüldüğünde, ölçeklendirildiğinde uyum göstermektedir.

5- Üç Boyutlu Haritanın Son Gösterimi: Harita ihtiyaca göre genelleştirilmiş son durumdur. Üç boyutlu haritanın daha çekici olması için gizli çizgi, gizli yüzey veya gölgelendirme algoritmalarından biri kullanılır.

1.3.Sayısal Arazi Modellemesinin Doğruluğu

Bir SAM' in doğruluğu hakkında kesin bir şey söylemek, onu etkileyen faktörler net bir şekilde bilinmedikçe mümkün değildir. Bu faktörler çok çeşitli olabilir. Şöyle özetlenebilir;

- 1- Arazi yüzeyinin özellikleri
- 2- SAM kontrol noktalarının dağılımı ve yoğunluğu
- 3- SAM kontrol noktalarının elde edilmesi doğruluğu
- 4- Arazi yüzeyi modellemesi için kullanılan metodlar

Şüphesiz doğruluğu en çok etkileyen faktör araziye kontrol noktaları yardımıyla tasvir etmektir. SAM, kontrol noktaları üzerine kurulacağına göre araziye tam tasvir edemeyen noktaların olumsuz etkilerini hiç bir enterpolasyon yöntemi gideremez. Tasvirlemenin çok iyi olması durumunda, enterpolasyon yönteminin önemi azalır. Lineer enterpolasyon gibi çok basit enterpolasyon yöntemi bile yeterli sonuca ulaştırabilir.

Bir SAM için, istenilen veya seçilen doğrulukta, ekonomik olarak tercih edilen uygun bir SAM üretmektir. Burada söylenmek istenen, aşağıdaki esaslardır;

- 1) Doğruluk
- 2) Fiyat
- 3) Verimlilik

Üç özellik SAM üretiminde üretici ve müşteriyle çok ilgilidir ve bunlar birbirleriyle sıkı ilişkilidir.

Bunların içinde doğruluk, çok önemli bir konudur. Çünkü üretilen harita belli doğruluklar içinde olması istenir. Bu açıdan, kontrol noktalarının doğruluğu mümkün

olduğunca yüksek olmalıdır. Kapsamlı metot veya algoritma yüzeyin tanımlanması için kullanılmalıdır. Eğer hassasiyetin yüksek olması isteniyorsa, ham veriler mümkün olduğunca sık yoğunlukta toplanmalıdır. Fakat, veri yoğunluğundaki artış kesinlikle maliyeti arttıracak ve modelleme işinin verimliliğini mutlaka etkileyecektir. Bu nedenle, ekonomi ve verimlilik açısından, haritanın belirli hassasiyette olması istenirken üretiminde kullanılan nokta sayısı istenilen hassasiyet için enaz sayıda olmalıdır.

Doğruluk ve maliyeti optimize yapmaya çalışmak bu iki kavramın zıt olması sebebiyle genellikle zordur. İki faktör arasında bir uzlaşmayı bulmak için, optimum nokta yoğunluğu kullanılmalı, bunun sonucunda istenen doğruluğa ulaşılabilir ve veri noktaları enaz sayıda tutulmuş olur. Bu problem konusunda bir çözüm bulmak için birçok araştırmacı çalışma yapmasına rağmen hala pratik çözüm elde edilememiştir.

SAM de veri yoğunluğu, pratikte kabul edilenlerle veya tecrübelerle az veya çok olarak belirlenebilir. Daha kesin teorilerin , özellikle bu deneysel sonuçlarla ispat edilerek desteklenmesi arzu edilir.

SAM verilerini elde edilmesi, optimum yoğunluğun belirlenmesi, kesin bir teori kurulabilmesi, arazi yüzeyinin tasvir edilebilmesi ve SAM' in doğruluğunu hesaplayabilmek için, bir matematik model (veya modeller) gereklidir.

Yukarıdaki tartışmadan şu sonuca varılabilir;

1) Teoride geniş kapsamlı olacak ve pratikte güvenilir tahminleme üretebilecek SAM tahminlemesi için matematik modellerin kurulması.

2) Optimum veri yoğunluğunun belirlenmesi için yöntemi tasarlamak.

Sayısal arazi modellemesinde iki önemli mesele olduğu sonucuna varılabilir. Eğer ilki başarıyla elde edilirse, bu sonuç daha sonraki için temel olarak kullanılabilir.

1.3.1. Arazi yüzeyinin özellikleri

Arazi modellemesinde problem, arazi pürüzlülüğü olarak tek kavramda özetlenir. Bir çok insan bu terimde manasının ne olduğunu sezgiyle hissederken, aslında, tam olarak tanımlamanın güç olduğu çok özet kavramdır. Tanımlama Mark (1975) tarafından farklı şekilde yapılmıştır. Mevcut tüm geometrik parametreleri değerlendirmiştir. Frederiksen (1980) ve onun meslekdaşları arazi profilinin Fourier açılımı, fractal boyut ve değişkenleri gibi, karışık matematik tanımlamaları , kullanmaya çalışmışlardır. Matematik tanımlamaların hepsini kullanmak çok pratik değildir. Çünkü Yoeli' in (1983) işaret ettiği gibi; " Dünya yüzeyi, tamamen düzensiz ve herhangi bir matematik tanımlama yapılamıyor " . Bu nedenle pürüzlülüğün ölçümü olarak ne kullanılması gerektiği hala tartışmaya açıktır.

1.3.2. SAM kontrol noktalarının dağılımı ve yoğunluğu

Arazi modelleme yöntemini tanımlamak için, verinin belli miktarı elde edilmelidir. Daha sonra bu veriler, SAM yüzeyini oluşturmada kullanılır. Kaynak verilerin esas özellikleri, verilerin dağılımı, yoğunluğu, doğruluğu bu üç parametre ile tanımlanabilir. Böylece seçme, arazi modelleme için kullanılan noktaların dağılımı ve yoğunluğu belirleme işlemidir.

Fotogrametrik metodların kullanılmasıyla elde edilen SAM verilerinde, seçme (selective), uyum sağlayarak (adaptive), genelleştirerek (prograsive), karışık (composite), gibi farklı seçme olanakları vardır (Koyuncu Makarovič B. 1976). En popüler olan düzgün kare ağı kullanarak seçme metodu kullanılır. Bu alanda, hala farklı arazi şekilleri için gerekli seçime dayanan kabul edilmiş veya ispatlanmış teori yoktur. Mevcut kartoğrafik metodlara dayanan SAM veri elde etme çalışmalarında iki metot kullanılmaktadır:

- 1) Çizgi izleme
- 2) Düzey eğrilerinin taranarak sayısallaştırılması.

Son zamanlarda, bu alanda elle çizgi izleme metodu daha baskındır. Hatta, değişik düzey eğrisi aralığı, farklı arazi şekilleri için örnekleme aralığı seçiminin teorik ifadesi yoktur ve SAM'ın doğruluğu tatmin edicidir.

1.3.3. SAM kontrol noktalarının elde edilmesi doğruluğu

SAM'ın kaynak verilerinin toplam doğruluğu, ölçmenin farklı safhalarında olan hatalarla alakalıdır. Farklı hata kaynakları; düzenli hata, kaba hata, düzensiz hatalardır. SAM için veri elde etmede kaçınılmazdır. Bunların bazılarının belirlenmesi ve veri guruplarından çıkartılması, bazılarında bu safhalarda azaltılması gerekir.

Şimdiye kadar, bu alanda çok fazla çalışma yapılmadı. Hatalar her iki kaynak verilerinde ve son SAM verilerinde olabildiği gibi, düşey ve yatay hatalar olmak üzere iki bileşenden oluşur. Hesaplanan herhangi bir doğruluk her iki bileşen için uygulanmalı. Yatay doğruluğu hesaplamak kolay değildir. Bunun üzerinde çok az çalışma yapıldı. Ley 1986 yılına yaptığı bazı metodlardan bahsetmiştir. Fakat bahsettiklerini uygulamak, hem pratik değil hem de zordur. Bu nedenle problemin nasıl hesaplanacağı hala açıktır ve cevaplamak da güçtür. Bir SAM'ın doğruluğunun hesaplanması için artan ilgi, SAM'ın yükseklik doğruluğuna odaklanmıştır. SAM'ın pratiğinde kullanılabilecek tavsiyeler yapılabilir. SAM'ın doğruluğunun elde edilmesindeki tecrübeler, ya deneysel ya da teorik orjinde olan bir matematik modelle ifade edilebilir. Bir deneysel model deney testlerinden elde edilir, fakat teorik bir model ise yalnızca teorik bir modelden elde edilir.

Deneysel araştırmaların sonucundan bir doğruluk modeli, SAM doğruluğunu etkileyen faktörlerle ilgili test çalışması elde edilmesi gerekir. Deneysel modellerin bazı eşitleri, regresyon teknikleri kullanarak elde edebilir. Bu nedenle işi tamamlayabilmek için, çok miktarda çalışma yapmak gerekir. Aslında, bu amaç için çok sayıda deneysel testler gereklidir. Bu testler çok zaman alacak ve kesinlikle pahalı olacaktır. Son zamanlarda, bir ön teorik analiz yapmanın uygun olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, geniş deneysel testler ve çalışma sonuçlarına dayanan gerçekten tatmin edici deneysel testlerle hesaplamak pratik olmamasına rağmen, pratikte, bazı deneysel testlerin yapılması gereklidir.

Teorik açıdan tatmin edici doğru modeller elde edebilmek için farklı teknikler bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Genellikle, bir sayısal parametre daha önce sözü edildiği gibi arazi yüzeyinin pürüzlülüğünü tasvir edebilmek için kullanıldı. Makarovi (1972) bu problemi bir sinüs dalgasının analizi yardımıyla çözmeye çalıştı. Frederiksen (1980) arazi profilinin spektrum analizi için Fourier dönüşümünü kullandı, Tempfli (1980) lineer sistem analizini çalıştı ve Frederiksen ve meslekdaşları (1986) fractal boyut ve variogram kavramını kullanmaya çalışmıştır. Bu alanda birçok çalışma yapılmasına rağmen hala araştırma yapılmaktadır. Sonuçlar daima verimli değildi ve yapılacak hala çok işi vardır. Bu nedenle aşağıdaki genel ifadeler ilerki çalışmalara tavsiyelerdir;

1) Yapılması gereken önemli işlerden birisi de tüm yüzey için bu analizleri genişletmek.

2) Genellikle günümüz bilim adamları tek olan teorik modelin, ne kullanmak için uygun olduğunu ne de SAM doğruluğunun güvenilir bir tahminini yapmada kullanılamayacağı kanısındadır. Bu nedenle, daha geniş, güvenilir modellerin tasarlanması acil mesele olarak araştırılması gerekmektedir.

Günümüz bilim adamları SAM doğruluk tahminlemesinde, kontrol noktalarının nasıl ve kaç tane kullanılması gerektiğini, ve bu kontrol noktalarının doğruluğunun ne olduğunu kullanıcılara söyleyecek sistematik teorik bir temel olmadığı belirtilmektedir.

Birkaç alışma optimum veri yoğunluğunun belirlenmesi ve işlemin keşfedilmesi için yapılmış. Fakat, çalışmaların geniş çapta olmamasından dolayı sonuçlar verimli olmamıştır.

1.3.4. Arazi yüzeyi modellemesi için kullanılan metodlar

SAM metodlarındaki ilk esaslı gelişmeler, arazi enterpolasyon metotlarında oldu. Bu alanda, enterpolasyon algoritması keşfetmeye çalışıldı, bunların randımanları bir veya daha fazla test veri gurubu kullanarak yapıldı. Bu enterpolasyon metodlarının (veya algoritmaların) geniş bir incelemesi Schut (1976) tarafından yapıldı. Bugün dahi geçerli

en geniş çalışmadır. Çok fazla enterpolasyon metodları teklif edilmiş olmasına rağmen, hala çok az farklı bilgiler ve genellikle pratikte kullanılan farklı teknikler arasında metod karşılaştırmasını Ackermann 1979 yılında yapmıştır.

Bundan başka, bu alanda karışıklık vardır. Aslında, bu sayısal arazi modellemesinin en ciddi problemlerinden biridir. Enterpolasyon teknikleri esasen iki farklı amaç için uygulanır. Ya verilerin yeniden işlenmesi araziye modellemeden önce gelişmiş kare ağına olarak isimlendirildiği gibi ya da yüzeyi modellemeden önce bir SAM yüzeyinden SAM noktalarını hesaplamak için kullanılan metodlar ve yaklaşımlar ilişkilendirilmelidir. Aslında, bu meselelerin hepsinin açıklanması gerekir.

İlk başta kare ağına dayanan modelleme, en çok SAM' in temel modelleme yaklaşımı olmasına rağmen, üçgenleme yüzey oluşturmak, son yıllarda popüler olmaya başlayan bilgisayar ağlarına diğer bir alternatiftir. Bu alanda, bir çok araştırmacı tarafından üçgenleme algoritmaları veya yöntemleri geliştirildi. Üçgenleme işleminde sözü edilen esas problem, arazi yapısının doğru olarak tasvir edilmesidir. Günümüz araştırmacıları bunu birden fazla üçgenleme yöntemiyle çözdü.

Yukardaki tartışmalardan, sayısal arazi modellemesi metodunu geliştirmek için çalışan araştırmacılar sonuç yüzeyin özellikleri üzerinde bu kadar yoğun durduklarından bu yana akıllarına ilk olarak arazi yüzeyi modellemesi için kullanılan özel metodların geldiği açıktır.

2. MATEMATİK MODELLER VE SAYISAL ARAZİ MODELLEMESİ

Bu bölümde, modeller hakkında genel kavramlar matematik modellerden ve sayısal arazi modellemesinde kullanılan matematik modellerden bahsedilecektir.

2.1. Genel Olarak Modeller

İlk önce bir modelin genel kavramı hakkında kısa bir tartışma yapmak uygun görünüyor. Bir model, başka bir şeyi tasvir etmekte kullanılan bir kavram veya konudur. Anlayacağımız bir şekle çevirmek ve aynı oranda indirmektir.

Bir model tahmin, kontrol gibi bir kaç özel amaç sahip olabilir. Aslında, modelin yalnızca bu amaçları tatmin etmek için yeterli anlamlı detaylara sahip olması gerekir. Model, orjinal durumu (sistem veya alayı) ve bazı önerileri tasvir etmede veya durumu tahmin etmede kullanılır.

Böylece, " model " kelimesinin genel bir manası sunuldu ve bir çok durumda, sistemi tanımlama manasında da kullanıldı. Sonuç olarak, model kelimesinin uygun kullanımına dair çok farklı fikirler vardır. Örnek olarak, fotoğrafı çekilen arazi yüzeyinin bir parçasının fotoğrafik kopyalanması veya arazi parçasının perspektif görünüşü de model olabilir.

Genellikle konuşulan aşağıdaki gibi üç çeşit model vardır:

- 1) Mantıksal
- 2) Fiziksel (Analog)
- 3) Matematik modeller

Mantıksal model bir kişinin hayalinde bir durum hakkında veya deneyimlerine veya bilgilerine dayanan bir nesne olarak doğan modeldir. Sık olarak, modelin bu özel şekli, modellemenin temel basamağı durumunu alır. Bu nedenle, eğer konuyu veya durumu diğer bir yolla tasvir etmek çok zorsa, modelleme mantıksal şekilde kalacaktır.

Bir fiziksel model genellikle analog modeldir. Modelin bu çeşidine bir örnek, lastik, plastik veya kilden yapılan arazi modeli olabilir. Optik veya mekanik projeksiyon prensibine dayanan arazinin bir stereo-modeli bu sınıf içine girer. Fiziksel modelin büyüklüğü genellikle gerçek nesneden daha küçüktür.

Bir matematik model matematik ifadelerle bir olayın veya bir nesnenin bir durumunun tasvir edilmesidir. Diğer bir deyişle, bir matematik model bileşenleri; sabitler,

değişkenler, fonksiyonlar, eşitlikler, eşitsizlikler vb. olan modeldir.

2.2. Matematik Modeller

Genel olarak, matematik modeller aşağıdaki gibi iki kısma ayrılabilir (Saaty ve Alexander, 1981):

- 1) Quantitative (sayısal)
- 2) Qualitative (sayısal olmayan)

Quantitative model sayı sistemlerine dayanır, qualitative model, teoriye dayanır, sayısal olarak özetlenmez. Problem ya belirlenebilir ya da değişken bir konu olabilir. Bu nedenle matematik model şu şekilde sınıflandırılabilir:

- 1) Fonksiyonel modeller; Belirlenebilir problemleri çözmek için
- 2) Stochastic model; çözme ihtimali olan problemlerde kullanılır.

2.2.1. Matematik modellerin avantajları

Matematik modeller hakkında akla gelen önemli sorular şunlardır; " Ne çeşit bir kar matematik model kullanma ile elde edeceğiz" veya " Niçin matematik model kullanmamız gerekir" Saaty ve Alexander (1981) aşağıdaki gibi matematik model kullanmak için bazı sebepler ortaya koydular;

1) Modeller, simgeyle gösterimde uygun dil ifadesi kullanarak mantıksal ifadeye dayanan özetlerdir. Bir problemin esas konusuna daha iyi bir görsellik imkanı veriliyor. Aynı zamanda tatmin edici karşılıklı dialog, azalan belirsizlik ile sonuçta değişen tartışmayı daha da iyileştiriyor.

2) Modeller düşünmenin doğrultusunu kaybetmemeyi sağlar, problemin önemli kısmı üzerinde dikkati odaklar.

3) Modeller diğer alanlarda problemin çözümünün sonuçlarını uygulamaya veya genelleştirmeye yardım eder.

4) Modeller alternatifleri değerlendirmek için ve mümkün olmayanları ayıklamak için bütün düşüncelere bir fırsat sağlar.

5) Modeller doğa kanunlarını keşfetmek ve gerçek dünyayı anlamak için bir araçtır.

2.2.2. Matematik modelleri değerlendirmek için standartlar

Matematik modelleri kullanarak bazı sonuçlar elde edilebilir. Akla gelen ilk soru, " Ne çeşit matematik model kullanılmalıdır ? " , bu matematik modelin doğruluğu veya doğruluğunun nasıl ölçüleceği problemi ile ilgilidir.

Modellerin nasıl iyi olduğunun sorusuyla ilgili olarak, değişik derecelerde olması zorunlu olan bütün modellerin belirli özellikleri olması gerekir. Bu özellikler model değerlendirmek için standartlar olarak kullanılabilir.

- 1- Doğruluk
- 2- Gerçeği tasvir etme
- 3- Hassasiyet
- 4- Sağlamlık
- 5- Genellik
- 6- Verimlilik
- 7- Sadelik

Bir model çıktısının ise doğru olması ya da doğruya yakın olması istenir. Bir model doğru tahmine dayanıyor ise gerçeği tanımlamalıdır. Bir model eğer tahminlemesi kesin ise (veya diğerleri, matematiğin kesin şekilleri, fonksiyonlar, geometrik şekiller gibi) doğru olduğu söylenebilir.

Bir model giriş verilerindeki hatalar için bir dereceye kadar bağımsızlık var ise sağlam olduğu söylenir. Bir model çok değişik durumlar için uygulanabiliyorsa genel olduğu söylenebilir. Bir model diğer iyi modellere göre ya sonucu faydalı ya da o sonuçlandırma yolu ise verimli olduğu söylenebilir .

Aslında, modellemede temel arazi (tabiat) karışık olmasına rağmen, karışık modellere ihtiyaç yoktur. Bu tamahkarlık prensibi olarak belirtilir (Cryer 1986). Matematik model için, doğadan seçilen verileri yeterli şekilde tasvir edecek mümkün olan en az sayıda parametre kullanılması gerekir. Bir model eğer az sayıda parametre içeriyorsa, herbiri birçok özelliğe veya manaya sahipse basit olarak ifade edilir.

Birçok arazide yüksek dereceli matematik modeller gerçek göz önünde tutulduğunda, diğer basit modellerle karşılaştırıldığında sıkça performansı belli bir seviyenin altında zayıf kaldığı görülür. Diğer bir durum, bir model çok iyi tasvirleme

yapması, arazi yapısını önceden tahmin etmesi mümkün değildir. Hangi durumda, ona karşı ne çeşit tavır almalıyız? Pratikte, bir matematik model için, reddetmeden ne düşünülmalıdır? Daha sonra onun ne kadar yanlış olduğunu tahmin etmeye çalışmalıyız. Eğer bir model her durumda makul sonuçlar üretebiliyorsa, ona sağlam bir model olarak bakılabilir.

2.3. Sayısal Arazi Modelleri

2.3.1. Sayısal arazi modellerine giriş

Arazi modelleri daima askeri personel, plancılar ve inşaat mühendisleri gibi yeryüzü bilimlerinin çeşitli disiplinlerinde özel olarak uygulandı. Gerçekte, modeller lastik, plastik, kum, kil gibi maddelerden yapılan fiziksel modellerdi. Örnek olarak, ikinci dünya savaşı zamanında çok model Amerikan Deniz kuvvetleri tarafından üretildi. 1982 yılında Falkland savaşında İngiliz kuvvetleri, kum ve kil modellerini askeri operasyon planlamak için kullandı.

İnşaat mühendisliğinde, sayısal tekniklerle arazi modelleme işlerinin geliştirilmesi fotogrametristlerin çalışmaları ile olmuştur. 1950' lerde fotogrametrik otoban tasarımı için veri toplama geniş çapta kullanılmaya başlandı. Miller ve Laflamme (1958) Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT) daha ayrıntılı olarak sayısal arazi modeli kavramını ortaya attılar. Tanımlama aşağıda verildiği gibidir:

" Sayısal arazi modeli keyfi arazi koordinatlarında x,y,z koordinatları ile bilinen seçilmiş çok sayıda noktalarla arazinin sürekli yüzeyinin basitçe istatistiksel tasvir edilmesidir. "

Kısaca, SAM arazi yüzeyinin sayısal tasvir edilmesidir.

2.3.2 Sayısal arazi modellemesinde teklif edilen teknik terimler

1958 de Miller ve Laflamme sayısal arazi modelinin orjinal terimini önerildi, diğerleri alternatif terimleri kullanıma getirdiler. Bunlar Digital Elevation Model (DEM),

Digital Height Model (DHM), Digital Ground Model(DGM), Digital Terrain Elevation Model (DTEM) lerdir. Bu terimler farklı ülkelerden çıktı. DEM geniş çapta Amerikada kullanıldı, DHM Almanyada, DGM İngilterede, DTEM Rusya ve Doğu Almanyada' da kullanıldılar (Petrie ve Kennie 1987).

Onların kullanımlarında bazı kısaltmalar istenebilir. Bu nedenle Yoeli (1983) dünya üzerindeki yükseklik noktaları için DTM teriminin kısaltılmış kullanımını ve diğer bütün coğrafik ve yeryüzü jeologları için DEM (veya DHM) terimi kullanımını önerdi.

Bu öneri, dünya yüzeyinin modellemesi ile ilgili terim karışıklığını çözebilir, fakat geriye kalan su altı yüksekliği için çözemez. Bu nedenle, Yoeli ' nin teklifi haritacılar gurubu ve diğer ölçmeciler tarafından kabul edilmedi.

Pratikte, bu terimler (DTM, DEM, DHM ve DTEM) birçok kişi tarafından eş anlamlı olarak farz edilir ve aslında bu sık karşılaşılan durumdur. Fakat bazen onlar oldukça farklı sonuçlara değinirler. Bu terimler arasında küçük farklılıkların olacağı söylenebilir. Bunlara ait kelimelerin manalarının bir seçimi literatürden veya sözlükten alındı, bunlar;

Ground : " Dünyanın sert yüzeyi" , " Sert bir taban veya temel " ; " Dünyanın yüzeyi " ; " Denizin dibi " vb.

Height : "Tabandan en üst noktaya kadar ölçme" , "Yeryüzünün üzerindeki yükseklik, kabul edilen seviye, özellikle deniz seviyesinden " , "Yukarı doğru mesafe" vb.

Elevation : "Verilen bir seviyenin üstündeki yükseklik, özellikle deniz seviyesinden " ; "Düşey üzerindeki yükseklik" vb.

Terrain : "Doğal özellikleri ile düşünülen ülkenin sahası " ; "Yeryüzünün, bölgenin, ülkenin genişliği " .

Bu tanımlardan, DGM, DHM, DEM ve DTM arasındaki farkların bazıları kendiliğinden belirmeye başladı. Böylece, DGM az veya çok "sert yüzeyin sayısal modeli " anlamını taşır. "Elevation " ve "Height " terimleri "Ground " ın kullanımın tersine nesnenin ölçü başlangıç noktasından en üst noktasına kadar ölçümünü vurgular. Onlar arazi yüzeyinin durumuna değinmezler. Fakat pratikte, DHM ve DEM terimlerinin kullanımında vurgulandığı gibidir. " Terrain " kavramı daha karışık kabul edilebilir. Bu "Elevation " ve "Height " kavramlarını içerir fakat diğer coğrafik öğeleri içermek için de çalışır. DTM , DHM ve DEM terimleri daha geniş bir manaya sahip olma eğilimindedir ve modelin içindeki nehir, köprü, sınır, kırık, sınır vb. özelliklerini birleştirmeye çalışır.

2.4. Arazi Yüzeyinin Matematik Modelleri

Sayısal arazi modellemesi, matematiksel bir modelleme yöntemidir ve sayısal arazi modelli arazi yüzeyinin sayısal tasvirlemesi gibi tanımlanır. Sayısal arazi modellemesinde, araziye bağlı noktaların temsil ettiği yüzeyin bir örneği kesin bir doğrulukta ölçülmelidir. Bu anlamda, arazi yüzeyi sayısal verilerin gurubu ile temsil edildi. Arazinin bu özel parçasının yüzeyinde diğer verilen noktaların yükseklik değeri hakkındaki bilgiler gereklidir, daha sonra bir enterpolasyon yöntemi sayısal veri gurubuna uygulanır. Enterpolasyonda bir matematik model ölçülen sayısal veri noktalarının temeli üzerinde arazi yüzeyinin bir modelini oluşturmak için seçilir ve kullanılır. Bu yüzey üzerinde koordinatları bilinen noktanın yükseklik değeri bu matematik modelden elde edilebilir.

Matematik modellerin genel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$H = f (X, Y) \quad 2.1$$

H' nin manası, X ve Y koordinatları ile yeri belirlenen yüzey üzerinde bir noktanın yükseklik değeri olup iki değişkenli bir fonksiyondur.

Yukarıdaki ifade aşağıdaki gibi de yazılabilir;

$$f (X, Y, H) = 0 \quad 2.2$$

2.5. SAM Doğruluğunun Matematik Modelleri

Doğruluk, genelde modellerin değerlendirilmesi için standart veya önemli bir kriterdir ve arazi yüzeyine benzeyerek tasvir etmede kullanılan matematiksel modelin doğruluğu, sayısal arazi modellemesinde en önemli meseledir. Bu nedenle, SAM' ın doğruluğunun hesaplanması veya tahmini için bir matematik model pratikte ve teoride her ikisi için çok önemlidir.

SAM' ın doğruluğunu hesaplamak veya tahmin etmek, model yüzeyinin kendisinden daha karışık olacaktır. Çünkü ilki birkaç değişkene sahip olurken (X ve Y koordinatları), ikincisi daha çok değişkene sahiptir. Bu değişkenler kaynak verilerin doğruluğu, yoğunluğu ve dağılımı kadar, kullanılan özel enterpolasyon fonksiyonları ve metodları arazi yüzeyinin engebeliğini tasvir eder.

Bu nedenle SAM doğruluğunun matematiksel model genelde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$Ac(SAM) = f(S, M, R, A, Ds, Dn, O) \quad 2.3$$

- Ac(SAM); bir SAM ın doğruluğunu gösterir,
 S; SAM yüzeyinin özellikleri ile ilgili bir faktördür,
 M; yüzey modelleme için kullanılan metoddur,
 R; arazi yüzeyinin pürüzlülüğüdür,
 A, Ds ve Dn; sırasıyla kaynak verinin doğruluğu, dağılımı ve yoğunluğudur,
 O; diğer faktörleri ifade eder.

Değişik şekillerde ve farklı kullanımı olan çok matematik model vardır. Model ya teorik analiz veya deneysel testlerle ya da herikisinin karışımı ile kurulabilir. Kontrol noktalarının (sayı, doğruluk, dağılım) özellikleri ile elde edilen doğruluk sonuçlarının güvenilirliği arasındaki ilişki matematiksel bir şekilde ifade edilebilir, böylece matematik model şekillenerek aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$R = f(A, Nd, Ds)$$

2.4

R; elde edilen doğruluk hesaplamasının güvenilirliği,

A, Nd, Ds; deneysel testler için kullanılan kontrol noktalarının doğruluk, sayı ve dağılımını gösterir.

2.6. Sayısal Arazi Modellemesinde Diğer Matematik Modeller

Yukarıda tartışılan matematik modellerin iki şekli, sayısal arazi modellemesinde kullanılan esas modellerdir. Mühendislik açısından esas modellerin diğer ikisi olarak düşünülebilir. Bu modellerin birisi ekonomik modeldir. Bir model olarak hesaplamak kolay bir iş değildir. Her iki pratik ve teorik değerler eğer modeli etkileyecekse gereklidir. Modelin bu şekli eğer rutin işlem haline gelirse hesaplanabileceği umulabilir.

Sayısal arazi modellemesinde düşünülebilir diğer bir model şekli, optimize modeldir. Modelin bu şekli işlemde diğer karışık etkenlerde, enterpolasyon metodlarında, örnekleme yöntemlerinde, aletle yapılan iş, veri kaynaklarının optimum birleştirilmesinde kullanılabilir. Model' in her iki ekonomik etkileri ve doğruluğu veya onlardan yalnızca birini içine aldığı düşünülebilir.

2.7. Benzetme Yöntemi

Önce , konunun incelemesini yapmak uygun görünüyor. Çünkü benzetme, modelleme için konuyla alakalıdır.

Herşeyden önce, matematik modellerin kullanımında benzetmenin durumuna bakmak uygundur. Bu deneysel ve teorik olarak, iki kısımdan oluşur. Benzer olarak, matematik kullanımda, iki yaklaşım vardır. Birisi analitik yaklaşım ve diğeri deneysel yaklaşım olarak isimlendirilir. Benzetme matematik testin bir şeklidir. Bir analitik çözümlerle, bir benzetme ve düşünülerek belirlenen bir çözüm arasındaki fark, ilki bizim tarafımızdan bilinen miktarlar için hesaplanmaya çalışılan miktarla mantıksal ilişki kuran bir formül bulması gereklidir. Böylece ikinci bir model uygulayarak, istenen sistemin dinamik davranışını taklit ederek bir miktarın değerini hesaplamaya çalışmak, belirlenen parametrelerin terimlerinde kapalı şekilde bir ifade sağlamaktır.

Esas mesele, araştırma içinde, bir benzetme " Durumun dinamik özelliklerini hesaplamak için bir bilgisayar üzerinde yapılabilir aritmetik ve mantıksal işlemlerle tasvir edilen durumun elemanlarının bir modeli " olarak tanımladı (Emshoff ve Sisson 1970). Bu dinamik davranış, arazi veya görünüm üzerindeki bir vurgulama, benzetmenin esas özelliği olmaktadır. Benzetme, matematiksel bir çözüm tasarlanmayacağı için büyük problemlerin bir çözüm yolu olarak geliştirildi. Gelişmiş metod olarak çok güçlü göründü, bu nedenle pratikte geniş çapta kullanıldı. Rivett (1972) de söz ettiği aşağıdaki gibi bir benzetme yöntemini kullanmak için üç genel sebep vardır.

1) Teknik problemler çok karışık olabilir. Bu sebeple analitik yaklaşım kullanılmaz. Yukarıda sözedildiği gibi, benzetme ilk önce geliştirilmiştir. Örnek olarak şekiller sayısal arazi modeli ve yüzey gölgelendirme tekniği kullanarak benzetilir, bu yüzden şekil noktalarının yükseklikleri ve öğelerin yer tayini gibi bazı parametreler daha önceden bilinebilir.

2) Araştırmacılar veya kullanıcılar, karışık gerçek bir durumun anlaşılması gerekir. Sayısal arazi modeline ilişkin bir örnek aircraft simulator olarak isimlendirilen çok iyi bilinen alettir. Daima similatör kullanarak acemiler veya pilotlar için gerçeklerin bazılarını hissetmelerini sağlamak için bir sayısal arazi modeli bulunur.

3) Araştırmacılar gerçek dünyada henüz var olmayan problemler ile ilgileniyor olabilirler. Örnek olarak, Spot uydusu fırlatılmadan önce, spot şekillerinin özellikleri sayısal arazi verilerinin üretimi için stereo-model şekilleri kullanarak benzetilmiş spot şekilleri kullanarak çalışılmıştır.

3. ARAZİ TANIMLAMALARI

Bir sayısal arazi modelin doğruluğunu hesaplamak gibi, yüzey oluşturmak için en iyi fonksiyonu tasarlamak veya seçmek ve veri noktalarının örnekleme yoğunluğunu belirlemek için, arazi yüzeyleri hakkında bazı bilgilere sahip olmak gerekir.

Arazi yüzeyi farklı yollarla tanımlanabilir. Bu kısımda, ilk önce, genel bir tartışma farklı özelliklerle kullanılan farklı arazi tanımlamaları yer alacaktır. Bunun ardından sayısal arazi modellemesinde özel önemi olan bu tanımlamaların daha detaylı tartışılması olacaktır.

3.1. Giriş

İlk önce, arazi yüzeyini tanımlamak onun sayısız özelliklerini anlamak, gereklidir. Arazi yüzeyi disiplinlerin geniş çapta uzmanlıkları ile ilgili bir meseledir. jeoloji, hidroloji, coğrafya, botanik, zooloji, ekoloji ve meteoroloji gibi bu disiplinler doğada esas bilim dalları olarak düşünülebilir. Diğerleri ziraat, orman, inşaat mühendisliği, askeri mühendislik, şehir, çevre tasarımı ve harita gibi bilim dallarında uygulamaları olarak düşünülebilir. Bu alanların çoğu, gerçekte kısmen aynıdır. Bu yüzden mutlak benzerlik yapılmamalıdır.

Dünya bilimlerinde uzmanlıklar (jeologlar, jeomorfologlar, zooteknikçiler, botanikçiler, ekolojiciler vb.) mümkün olan özelliklerinin geçmiş süreçleri ile ilgilendir. Ziraattaki uzmanlıklar (ormancılar, ziraatçılar, doğacılar vb.) arazinin konumlanmasından arazi parçalarının üç özelliği ile ilgilendir. Bunlar toprağın verimliliği, toprak idaresi ve mevcut bitkilerin büyümesinin tabiatıdır. İnşaat mühendisleri farklı rutubet şartları altında toprağın mukavemetinin azalması ve sıkıştırılabilirliği, mevki için yeryüzünün uygunluğunu düşünür. Genellikle bu düşünceler yol, baraj gibi tasarım şartlarında yapılır. Bu ilgilenenlerin listesi çok uzatılabilir. Bunlardan anlatılmak istenen, farklı uzmanlıklardaki arazi sınıflaması için farklı tanım kullanma, onların farklı ilgi alanlarından doğmaktadır.

Genelde, arazi tanımlayıcılarının iki temel hali aşağıdaki gibi görünmektedir:

1) Sayısal olmayan tanımlama; genel terimlerle ifade edilir.

2) Sayısal tanımlama, istatistiksel değerler gibi sayısal değerlerin bazı şekilleri ile genelleştirilebilir. Bu nedenle, bu çalışmada sayısal tanımlamalar hakkında söz edilmiş, genel tanımlamalara ise yüzeysel olarak değinilmiştir.

3.2. Sayısal Olmayan Arazi Tanımlamaları.

Yukarıda sözü edilen farklı ilgili alanların dayanağı, genel farklılıklar veya sayısal olmayan tanımlamalar olabilir. Bazılarının jeodezi bilimdalı ile ilgisi yoktur. Örnek olarak, bir arazi parçasının tarım veya bitki yetiştirme için uygun olup olmadığı jeodezi bilim adamlarının meselesi değildir. Genellikle, arazi yüzeyinin pürüzlülüğünün tanımlanması ve arazi sürekliliği ile ilgilendirilir. Çünkü arazi yüzeyinin pürüzlülüğü SAM in doğruluğunu etkiler.

3.2.1. Arazi yüzeyinin özelliklerine dayanan arazi tasvirleri

Arazi yüzeyi; bitki türleri, toprak, su, buz, suni yapılar ve bunun gibi zengin muhteva ile kaplıdır. Bu arazi yüzeyini kaplayan çeşitli özellikler fotogrametrik ölçümlerin doğruluğunda etkiler. Etkilenmenin derecesi arazi yüzeyindeki örtünün özellikleriyle değişir. Örnek olarak, bitki örtüsü çeşitleri mevsime göre değişir. Arazi yüzey örtüsü, ölçüm doğruluğunu nasıl değiştirdiği konumuz dışındadır. Burada ilgilenilen arazinin kendine özel gerçek şeklidir. Arazi örtüsünün özellikleri, arazi yüzeyinin tasvir edilmesinde faydalı olarak düşünülebilir.

Arazi yüzeyinin bazı kısımları suyla kaplıdır. Bunlara nehirler, göller, su kaynakları, kanallar ve benzerleri dahildir. Arazi yüzeyinin diğer kısmı bitki örtüsü ile kaplı olup buna ormanlıklar, çimenlikler, tarım alanları, dağınık ağaçlar ve benzerleri dahildir. Kış mevsiminde bu alanlarda, arazi karla kaplı olabilir. Özellikle bazı yüksek dağlık alanlarda, arazi yüzeyi tüm yıl boyunca kar ve buzla kaplıdır. Bazı arazi çeşitlerinde de, yüzey kaya veya kar veya buzulla kaplıdır. Son olarak, fakat az olmayacak kadar, arazi yüzeyinin büyük kısmı suni insan yapımı nitelikler yol, bina, vb. SAM doğruluğu üzerinde etkiye sahip olan veya olmayanlarla kaplıdır.

3.2.2. Arazi şeklinin yaratılışına dayanan arazi tasvirleri

Jeomorfolojide kullanılan arazi sınıflandırma sistemlerinden biri arazi şeklinin yaratılışına dayanan özel yöntemlerle ilgilidir. Genel olarak, aşağıdaki gibi iki şekilde ifade edilir:

- 1) Endogenetik şekillenmiş; iç kuvvetlerle şekil almış.

2) Exogenetik şekilleşmiş; dış kuvvetlerle şekil almış.

Endogenetik şekiller neotectonic şekilleri içerir, volkanik şekiller kızgın lav püskürmelerinin sonucundadır.

Exogenetik şekiller güneşin enerjisine dayanan dış kuvvetlerle, yeryüzü şekillenir.

Tabi ki, herbir şeklin kendine has özellikleri vardır. Bu nedenle veri guruplarından elde edilen SAM in doğruluğu farklı arazi şekillerinde farklı olabilir. Bunun anlamı, bu tasvirler kullanıcıya arazi yüzeyinin pürüzlülüğü hakkında bazı bilgiler sağlayabilir ve böylece SAM' ın doğruluğu için bazı özellikler elde edilebilir.

3.2.3. Arazinin fiziksel özelliklerine dayanan tasvirleri

Fiziksel özelliklere dayanan arazi sınıflamasında, örnek olarak, bir tek ülke, Büyük Britanya, yerşekillerinin özelliklerine ve yapısına göre genelleştirilmiş bölgelere ayrılır. Herbir bölüm mümkün olduğu kadar tek tür ve herbiri baskın bir özelliğe sahip olarak alınır. Büyük Britanya adası , kuzeyde ve batıda yüksek bir bölge ile güney ve batıda düşük bir olmak üzere kabaca iki bölgeye bölündü (Stamp ve Beaver 1971).

Tabiki, bu bölgeler daha küçük bölgelere de bölünebilir. Britanya'nın yüksek bölgesi; İskoçya yüksek bölgesi, İskoçya alçak bölgesi, Pennines, Welsh dağları ve güneybatı Peninsula bölgelerine tekrar bölünebilir.

Böylece geniş alanların tasvirlemesi çok geneldir. Amaçları herşeyden önce ayrılan arazi özellikleri özel olmayan bir genelleştirmedir. Kabaca, fiziksel özellikleri benzer alanlara ayırmaktır. Böyle kaba arazi tasvirleri SAM planlaması veya işlemlerinin hangi şartlarında başarıyla uygulanabileceğini görmek zordur.

3.2.4. Arazi şekli uyumuna ve engebe şekli sınıflamasına dayanan arazi tasvirleri

Arazi yüzeyi değişik ölçekte ve arazi şekli uyumuna dayanan ve engebe şekillerine göre kendine özgü değişen derecesi ile de sınıflandırılabilir. Detayların derecesi ve sınıflamanın yapısı karışık amaçlara göre değişik olacaktır. Genellikle çevre şartları özeldir. Rutubetli tropikler için tasarlanan arazi sınıflaması buzul öncesi şartlarla veya yüksek soğuk bölgeler için tasarlananla çok açık farklı olacaktır.

Arazi uyumuna dayanan arazi tasvirleri sınıflamanın amacına göre doğada çok çeşitlidir. Hidrolojik amaçlar için kullanılacak bir arazinin sınıflaması arazi ayrımının derecesi ve arazi eğimi gibi kesin belirtmelidir. Ziraatı geliştirme hedefi için bir arazi sınıflaması toprak, kazı ve bitki örtüsü üzerine bilgi ile ilişki kuracak şekilde, yükseklik, toprak cinsi ayrımına ve kaya şekillerine dayandırılabilir.

Bütün bu durumda, doğruluk derecesi ve karışıklık büyük çapta sınıflama çalışmalarının ölçeğine bağlı olacaktır.

SAM amaçları için temel örnekleme, sınıflamanın değişik şekilleri değişik sayıda olabilir. Arazi şekillerinin tam sınıflanmasıyla küçük alanlar içinde tatmin edici örnekleme ağı elde edebilir. Tersine, daha geniş bir alanın genelleştirilmesi gerekir. Böyle bir alan üzerinde çalışabilmek için örnekleme aralığı veya örnekleme stratejisi hakkında iyi bir karar vermede haritacılar için yardımcı terimler daha az sayıda olabilir.

3.2.5. Sayısal olmayan tanımlamaların tartışması

Yukarıda tartışılan arazi tanımlamaları kullanıcılara özel bir zemin hakkında çok genel ve kaba bilgiler sağlarlar. Bu gibi bilgiler SAM amaçları için her zaman tam yeterli değildir. Çünkü, bu durumda, bir matematik model arzulanır ve sayısal tanımlamaların bazı çeşitleri ya esastır yada tercih edilmişlerdir. Çünkü elde edilmeye başlanılmış ve işlenmiş sayısal verilerdir.

Arazi yüzeyi yaşı arazinin pürüzlülüğü hakkında çok az bilgi verir. Örnek olarak, çalılık bir alan çok düz veya inişli çıkışlı olabilir. Bu nedenle, bu tanımlamalar SAM amaçları için yeterli değildir. Çalının veya ormanın bulunması kesinlikle yükseklik ölçümlerinin doğruluğu üzerinde negatif etkiye sahip olacağı düşünülür.

Fiziksel özelliklere göre bölümlenme, genellikle çok kabardır. Örnek olarak, İskocya yüksek bölgelerinde, hala bazı düz arazi vardır. Tabii ki, bu düz arazilerin pürüzlülüğü esas dağlık alanlarındakinden çok farklı olmalıdır. Bu nedenle, fiziksel tasvir çok geniş alanlar veya bölgeler üzerinde SAM' in genel tanımlaması için kullanılabilir, fakat bir tek proje için yeterli değildir.

Jeomorfolojik tanımlamalar ya arazi şeklinin yaradılışına ya engebe şekline ya da arazi şeklinin uyumuna dayanır. Onların sağladığı bilgiler aynı fiziksel özelliklere göre tanımlamalar gibi çok genel olacaktır.

Üstelik, arazinin farklı jeomorfolojik şekillerinin her biri farklı özelliklere sahiptir, jeomorfologlar tarafından sağlanan bilgiler herşeyden önce yapılan işlemle ilgilidir. Bu tanımlamalar, SAM de optimum veri edilmesi için yararlı olmayacaktır.

3.3. Sayısal Tanımlamalar

Yukarıda tartışıldığı gibi, sayısal olmayan tanımlar SAM planlama amaçları için arazi yüzeyi hakkında bazı bilgileri kullanıcılara sağlıyor olsa da uygun değildir. Bu nedenle, bu bölümde, istatistiğe dayanan sayısal değerler tartışılacak ve tasvirlerin tanımlamaları verilecektir.

3.3.1. Arazi yüzeyinin karışıklığının tanımlanması

Bir SAM yüzeyinin karışıklığı, düzgün olmayışı veya pürüzlülüğünün kavramı ile özelleştirilebilir. Bunlar frekans spektrumu, fractal boyut ve diğer geometrik parametreler gibi farklı parametrelerle özellikleri belirlenebilir. Bu parametreler bir yüzeyin genel şekillerini karakterize eder. Onlar bir özel SAM'ın optimum örnekleme stratejisini belirlemek için esas olarak işe yarayabilir.

3.3.1.1. Frekans spektrumu

Bir arazi mesafesi, araziden frekans arazisine Fourier dönüşümü yardımıyla dönüştürülebilir. Frekans arazisinde arazi yüzeyi frekans spektrumu ile karakterize edilir. Eşit boşluklu profil verilerinden bu gibi spektrum hesaplanması Frederiksen (1980) ve arkadaşları tarafından tartışıldı. Spektrum'a aşağıdaki ifadeyle yaklaşılabılır.

$$S(f) = E \cdot F^a \quad 3.1$$

F frekansı gösterir,

S(f) Spektrum büyüklüktür.

E ve a (Arazi özelliklerini belirleyen parametre), tüm alanın (veya profilin) arazi yüzeyinin karşılığı ifade eden iki istatistiksel değer olan sabit sayılardır. Bu nedenle, daha sonra tartışılacak sayısal tanımlamaların bazıları, sayısal olmayan tanımlamalar başlığı altında tanımlanandan arazi yüzeyleri hakkında daha ayrıntılı bilgi sağlar.

Bu iki karakteristik parametre için farklı değerler arazinin farklı şekillerinden elde edilebilir. Frederiksen (1980) tarafından yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuçlara göre, eğer a parametresi 2 den büyükse, arazinin görünüşü yumuşak yüzeyli tepeliktir, eğer a parametresi 2 den küçükse pürüzlü arazi görünümündedir. Çünkü yüzey (veya

kısa dalga boylu yüksek frekanslı), büyük değişimleri içerir. Böyle bilgiler, çok geneldir. Bu nedenle, arazi özellikleri ve bu parametreler arasında ilişki hakkında fazla detaylı olmayan bilgiler geçerlidir. Frederiksen'in (1980) işaret ettiği gibi, " İleriki tecrübeler spektrum ve arazi değişkenleri arasındaki ilişkiyi ifade etmelidir ". Şu ana kadar, arazinin frekans spektrumunun kullanımı arazi araştırmalarının dışına çıkmadı.

3.3.1.2. Fraktal boyut

Fraktal boyut bir yüzey veya eğrinin karışıklığını karakterize edebilecek diğer bir istatistiki tanımlayıcıdır. Konuya etkili boyut kavramı ile girilecektir. Karışıklığa bakmaksızın bir eğrinin bir boyuta ve yüzeyin iki boyuta sahip olduğu öklit geometrisinden bilinir. Bu nedenle gerçekte, çok düzgün olmayan bir eğri aynı noktalar arasında düz çizgiden daha uzundur ve karışık bir yüzey aynı yüzey üzerinde düz araziden daha geniş alana sahiptir. Eğer çizgi düz olmazsa düzlemi doldurur ve daha sonra düzlem haline gelir. Böylece 2. boyuta sahip olur. Benzer şekilde bir yüzey 3 boyutlu olabilir.

Fraktal geometride, kavram 1982 de Mandelbrot tarafından tanıtıldı, nesnelerin pratik ihtiyaç boyutları belirlendi, böylece etkileyici boyut olarak isimlendirilmesine klavuzluk etti. Etkileyici boyut fikri farklı mesafeden bakıldığında dünya yüzeyinin şeklinin örneği ile açıklayabiliriz.

1) Eğer dünya sonsuz mesafeden bakılırsa, bir nokta gibi görünür, böylece sıfır boyuta sahip olur.

2) Eğer ay üzerinden bir noktadan bakılırsa küçük bir top olarak görülür. Böylece arazi engebesi ihmal edilebilir ve 3 boyutlu olur.

3) Eğer bakan daha yakına gelirse (yaklaşık olarak 830 km), dünya yüzeyi üzerindeki yükseklik bilgileri çıkartılabilir fakat detaylı değildir. Böylece genel bir ifade ile, gözleyici iki boyutlu düz bir alanda az pürüzlü bir yüzey görebilir.

4) Eğer dünya yüzeyine yerden bakılırsa, o zaman yüzeyin pürüzlülüğü açıkça görülebilir, böylece yüzeyin etkileyici boyutu 2 den daha büyük olmalıdır.

Fraktal geometride, etkileyici boyut fractal veya fractal boyut olarak isimlendirilen bir bölünme olur. Örnek olarak, bir eğrinin fractal boyutu, 1 ile 2 arasında veya 2 ile 3 arasında o yüzey çizilir. Aşağıdaki, bir sahil çizgisinin nasıl belirlendiğini gösteren örnektir . A ile B arasında sahil kenarını değerlendirmek için, bir kişi bir farklı ölçme ölçeği kullanabilir. Örnek olarak, h' in en küçük ölçeği (çözünürlüğü ile bu sahilin uzunluğunu ölçmede kullanılırsa, L(h) in bir değeri (L (G)= L(H)) elde edilir. G nin farklı değerleri ile, L(G) farklı bir uzunluk elde edilir. L(G) ve G arasındaki ilişki aşağıdaki gibi

ifade edilebilir.

$$L(G)=M.G^{1-D}$$

3.2

M bir sabittir.

D, A ile B arasında sahil çizgisinin fractal boyutudur.

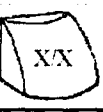






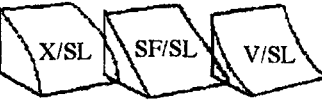







Benzer şekilde, bir yüzey fractal boyutlu kare yüzeyin serisiyle de ölçülebilir.

Bir fraktal boyutun 3' e yaklaşımı çok karışık ve muhtemelen pürüzlü yüzeyi gösterdiği sonucu çıkartılabilir, eğer 2 ise düz arazidir.

Daha önce bahsedilen frekans spektrum yaklaşımının durumundaki gibi, fractal boyutun kullanımı, SAM veri elde etmek için bir örnekleme stratejisi belirleme şartlarında kullanılacak durumdan uzaktır.



3.3.1.3. Düzlem ve profil eğrileri

		Profil Eğriliği						
		Dışbükey	Düz-Yüzey	İçbükey				
		Eğrilik oranı						
		< 600 m	> 600 m	< 600 m				
Yüzey Eğriliği	İçbükey	Düz-Yüzey	Dışbükey	Eğrilik oranı < 600 m	 1	 2	 3	 13
				Eğrilik oranı > 600 m	 4	 5	 6	 14
				Eğrilik oranı < 600 m	 7	 8	 9	 15
					 10	 11	 12	

X : DIŞBÜKEY
 V : İÇBÜKEY
 SF: DÜZ-PROFİL
 SL: DÜZ-YÜZEY

Şekil 3.1 Yüzey ve profil eğriliğine göre arazi sınıflaması

Engebe şekilleri profil eğrileri ve eş düzlemlerin engebe gurupları gibi belirlenebilen öğelerden birleştirilmesi ile sentezlenebilmektedir. Bir profil $y=F(x)$ gibi ifade edilebileceğini farz edelim, daha sonra yüzeyin herhangi bir noktasında eğrilik aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\text{Eğrilik} = C = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}\right)^2} \quad 3.3$$

Eğrilik (c), eğrilik yarıçapı ile (R) ters orantılıdır, ($c=1/R$). Bu durumda, eğrilik ile eğrilik yarıçapı ilişkilendirildi. Böylece, eğrilik, pürüzlülük, engebeyi ifade eder. Bu nedenle, eğrilik arazinin pürüzlülüğü için bir ölçme olarak kullanılabilir. Bu kriter arazi analizi için halen kullanılmaktadır. Şekil 3.1 eğriliklerin farklı şekillerini göstermektedir. Eğriliği belirleyebilmek için çok sayıda SAM verilerinin olması gerekir.

3.3.2. Arazi Yüzeyinin Benzerliği İçin Tanımlamalar

Arazi noktalarının çiftleri arasında benzerliğin derecesi korelasyon fonksiyonu ile tanımlanabilir. Bu korelasyon fonksiyonu farklı şekillerde olabilir. Auto-korelasyon, (auto-) kovaryans ve variogram farklı şekil veya fonksiyonlarla ifade edilir. Bunlar bir yüzeyin genel şeklinin tanımlanmasıdır ve bu nedenle, enterpolasyon metodlarında yükseklik belirlenmesinin temeli olarak kullanılabilir. Örnek olarak, gelişmiş güzelden-kare ağına enterpolasyonda kullanılan Kriging metodu bu amaç için kullanıldı. Bunlar düzgün kare-ağı örneklemede optimum örnekleme aralığı belirlemek için kullanılabilir. Hesaplama aşağıdaki gibidir:

$$\text{Kovaryans: Cov (d)} = [(Z_i - M) (Z_{i+d} - M)] / (N-1) \quad 3.4$$

$$\text{Auto-Korelasyon: R(d)} = \text{Cov (d)} / \text{Var} \quad 3.5$$

kovaryans gösteriminde:

M, Z (yüksekliklerinin) ortalamasıdır,

d, iki nokta arasındaki mesafedir,

N, gösterimdeki terimlerin sayısıdır,

Var, aşağıdaki gibi hesaplanan varyansı gösterir.

$$\text{Varyans : Var} = [(Z_i - M)^2] / (N-1) \quad 3.6$$

Benzer değerler yüzeyin yapısı ile bir yükseklik korelasyonuna sahip olabilir. İlişki daha az benzerlik, çok karışık bir yüzey olduğu şeklindedir.

3.3.2.1. Kovaryans

Auto-kovaryans veya basit kovaryans, bir SAM yüzeyinin benzerliğini tanımlamak için kullanılan kavramlardan biridir. Hesaplamak için formül Cov (d) eşitliği ile ifade edilir. Kovaryans değeri veri noktalarının eşleri arasında mesafenin artmasıyla azalır. Üstel model gibi bazı deneysel modeller:

$$\text{Cov(d)} = \text{var} \cdot \text{Exp}(-2d/c) \quad 3.7$$

$$\text{Gauss modeli: Cov(d)} = \text{var} \cdot \text{Exp}(-2d^2 / c^2) \quad 3.8$$

C sıfıra yaklaşan kovaryans değerinde korelasyon mesafesini gösteren parametredir. Bu nedenle, c nin daha küçük değeri, daha az benzer yüzey noktaları içindir. Kovaryans veri noktalarının eşleri arasında mesafeye göre de çizilebilir. Böyle bir

diagram kovariogram olarak da ifade edilebilir. Eğrinin şekli düzensiz hata modelinde karekök hatasına çok benzer bir fonksiyona sahip "c" parametresi ile geniş ölçüde belirlenebilir.

3.3.2.2. Auto-Korelasyon

Auto-Korelasyon bir SAM yüzeyinin çok kuvvetli tanımlayıcısıdır. Bu kovaryans kavramına benzerdir. Auto-Korelasyon fonksiyonu veri noktalarının tüm eşleri arasında benzerliğin ortalama derecesini gösterir.

Auto-Korelasyon katsayısı 0 dan 1 e kadar bir değer alır. 1 katsayısı iki değerlendirme değerinin aynı olduğunu gösterir, 0 katsayısı değerlendirilen terimlerde iki nokta arasında benzerlik olmadığını gösterir.

3.3.2.3. Variogram

Variogram bir SAM yüzeyinin benzerliğini tanımlamada kullanılan diğer tanımlayıcıdır. SAM doğruluk hesaplaması için ve optimum örnekleme mesafesi için de kullanılır. Onun hesaplanması için ifade aşağıdaki gibidir.

$$2r(d) = [Z(x) - Z(x+d)]^2 / N \quad 3.9$$

d, veri noktaları arasındaki mesafe,

N, nokta sayısı

r(d), d tarafının mesafesi ile veri noktaları arasındaki semi-variogramın değeridir.

Bu değerlendirme durumunda aşağıdaki model uygundur.

$$r(d) = A \cdot d^b \quad 3.10$$

A, b bir sabittir, d iki nokta arasındaki mesafedir.

Bu model De Wijsion model olarak bilinir.

Değerlendirme terimlerinde iki örnekleme noktası arasındaki büyük benzerlik, variogramın küçük değeri olduğunda düşünülür.

3.3.2.4. Sayısal tanımlamaların karşılaştırılması

Burada, seçilen profillerden hesaplanan sayısal değer tüm yüzeyden elde edilenden farklı olabildiği, problemlerden birisidir. Eğer bir kimse tüm yüzey için sayısal değer hesaplamak isterse, bütün yüzeyden bir örnekleme gerekir. Bu durumda, proje planlama için bir arazi tanımlamasına sahip olmanın esas amacı görünür. Sayısal değerlerde hesaplamada kullanılan örnekleme aralığı, kullanılan profilin uzunluğu, hatta konumu ve kullanılan profilin doğrultusu kişilerin tecrübelerine bağlıdır. Bu nedenle, elde edilen sayısal tanımlamalar bir SAM planlamacısına doğruyu yansıtmaması mümkündür.

Sonuçta, verilen bir alan için bu sayısal tanımlamaların doğru hesaplanmasına sahip olmak çok zordur. Bu nedenle, bu tanımlamalar pratikte ve SAM araştırmalarında deneysel olarak kullanılır.

3.4. SAM Amaçları İçin Esas Arazi Tanımlamaları Olarak Kullanılacak Dalga Boyu İle Birlikte Eğim İçin Bir Tavsiye

Bir önceki bölümde tartışılan sayısal tanımlayıcı değişkenler SAM planlama ve pratiği için çok uygun olmadığı görülüyor. Bu nedenle, bu bölümün amacı daha çok pratik yaklaşımlı tavsiyelerde bulunmaktır.

3.4.1. Pürüzlülük vektörü (Eğim ve dalga boyu)

Pürüzlülük, bir topoğrafik yüzeyin karışıklılığını ifade etmek için kullanılan esas kavramdır. Böyle amaçlar için kullanılan parametreler Mark (1975) tarafından gözden geçirilmiştir. Pürüzlülüğün, herhangi tek parametreyle tamamen tanımlanamayacağı fakat pürüzlülük vektör veya parametreler gurubuyla tasvir edilebileceği sonucuna varılmıştır.

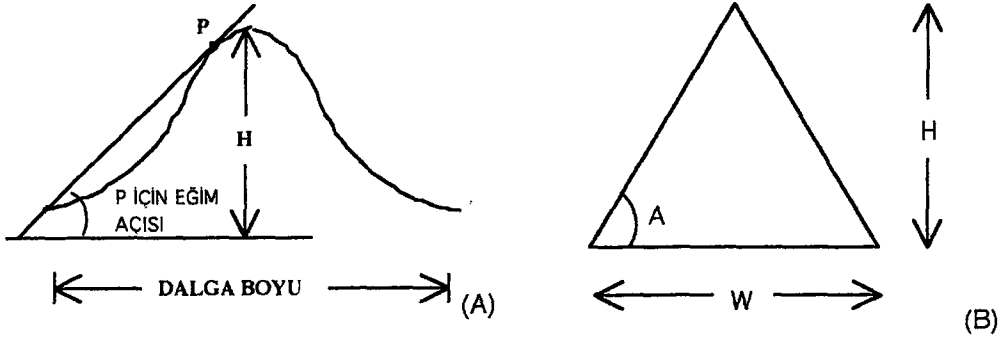
Parametrelerin bu gurubunda, engebe düşey boyutu tanımlamak için kullanıldı. En uzun ve en kısa dalga boyu anlamı, yatay değişkeni tanımlamada kullanıldı. Bu iki boyut için parametreler eğimle ilişkilendirildi. Böylece, engebe, dalga uzunluğu ve eğim pürüzlülük parametreleridir. Onların arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterildi. Noktadan noktaya dalga üzerinde bir noktada eğim açısı görülebilir. Aşağıdaki matematik eşitlikler onların ilişkilerinin yaklaşık bir ifadesi olarak kullanıldı.

$$\tan A = H / (W / 2) = 2H / W$$

3.11

A, eğim açısının ortalama değerini gösterir,
 H, yerel engebe değeri
 W, dalga boyu olarak isimlendirilir.

Eğer bunlardan herhangi ikisi biliniyorsa, daha sonra üçüncü 3.11 den hesaplanabilir.



Şekil 3.2 Eğim, dalgaboyu ve engebe arasındaki ilişki

(A) Aralarındaki tam ilişki

(B) Basitleştirilmiş şekil

Pratikteki ifadelerde, eğer eğim biliniyorsa, dalga boyu değeri bilinebilir. Bu nedenle, bu tanımlamanın uygunluğu arazi tanımlamalarda eğim değerine bağlıdır.

3.4.2. Geometrik açıdan bir arazi tanımlaması olarak eğimin uygunluğu

Herhangi bir noktada yer şekilleri, eğim, dışbükeylik durumu ve yüzey türevi ile belirlenebilir (Evans 1981). Eğim, verilen noktada yüzeye bir düzlem eğimi ile belirlenir ve düşey bileşen (gradyent) ve yatay bileşenleri (aspect) iki bileşen ile özelleştirilir. Gradyent (Düşey bileşen), aspect ilk yatay türev iken esasen düşey denklemin birinci türevidir.

$$\text{Gradyent} = S = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad 3.12$$

Arazi yüzeyi sınırları eksi ve artı dışbükeylilik ile özelleştirildi. Bunlar bir noktada (profilde) düşey bileşende ve yatay bileşende (bu noktadan geçen düzleş eğrisine teğet düzleşme) değişimi azaltmaktadır. Diğer bir deyişle, onlar ikinci türevdirler.

Düşey bileşen dik doğrultuda ölçülmelidir. Fakat, bir profil düşey bileşende

veya özel bir doğrultuda alındığında, genellikle düşey bileşen vektörü ve yatay bileşenden elde edilir. Bu nedenle eğim deyimi veya eğim açısı herhangi özel doğrultuda düşey bileşeni anlatmak için kullanılmıştır.

Engebe parametreleri gradiyent ve eğriliklerin varyansıdır. Yüzeyde tüm S (Gradyent) ve C (eğriliklerin)' lerin ortalaması alınabilir. Varyans büyük ise değişik dağılım, küçük ise homojen bir dağılım gösterdiği kabul edilir.

3.4.3. Farklı açıdan bir arazi tanımlaması olarak eğimin uygunluğu

SAM' de araziye tasvir etmek için eğimi kullanmanın doğruluğu aşağıdaki gibi gösterilebilir.

1) Eğim çok kuvvetli arazi tasviricisidir. Evans (1972) tarafından aktarıldığı gibi " Eğim arazi şeklinin en önemli yatay bileşenidir, çünkü yüzeyler eğim açılarıyla tamamen şekillendirilebilir. "

2) Eğim arazi yüzeylerinde durumun ilk türevidir. Mesafe ile arazi yüzeyinin yüksekliğinin değişim oranını gösterir.

3) Alışılmış olarak, eğim çok önemli tanımlayıcı olabileceği ve pratikte kullanılması için tavsiye etti. Örnek olarak, düzeç eğrileri için harita özellikleri eğim açısı ifadesiyle bütün dünya üzerinde verilir.

4) En önemlisi, pratikte, SAM' ın düşey hatası ile SAM' dan ölçülmüş gibi o bölgenin ortalama eğimi arasında var olan pozitif ilişki bulundu. Modelin ortalama eğimleri analiziyle sadece SAM' ın düşey hassasiyetini hesaplamanın mümkün olduğu sonucuna varıldı (Ley 1986).

3.4.4. Eğim için pratik düşünceler

Bir önceki bölümde SAM' da araziye tanımlamak için eğimin kullanabileceği teklif edildi. Bu bölümde, bazı problemin veya eğim kullanmanın güçlükleri tartışılacaktır.

Problemlerden biri eğim verilerinin yararlı olup olmadığıdır. Günümüzde amaç eğim değerlerini kullanarak arazi sınıflandırmasını amaçlayan bir örnekleme stratejisi tasarlamaktır.

Aslında, eğim direk yükseklikten ve plan ölçümleri stereo- modelde yapılmasıyla veya düzeç eğrili haritalardan belirlenebilir. 1930 da Wentworth tarafından tasarlanan metod hala bir düzeç eğrisi haritasından bir alanın ortalama eğimini hesaplamak için geniş çapta kullanılıyor. Eğer proje alanları için düzeç eğrili harita yoksa, eğim hava fotoğraflarından hesaplanabilir (Turner 1977).

Diğer bir problem eğim değerlerinin değişkenliği olabilir. Başka metodlarla tasvir etmek mümkün olmayan bir alan için eğim hesabı yer yer değişir. Bu durumda, ortalama değer Ley tarafından teklif edildiği gibi uygun durumda kullanılabilir. Eğer eğim değişimi bir alanda çok küçükse, daha sonra alan küçük parçacıklara bölünebilir ve farklı seçme stratejisi, bu parçalarının her biri için uygulanabilir.

Eğim hesaplaması veya ölçülmesinde bazı zorluklar olmasına rağmen diğer sayısal tanımlamaların hesaplanmasıyla karşılaştırıldığında, eğimin diğerlerinden fazla bazı avantajları vardır.

1) Bunlardan biri topoğrafik harita yaparken eğim işinde insanlar tecrübeye sahiptir . Bu nedenle, ön bilgilerin çoğu bir seçme stratejisine karar verme veya belirlemede kullanılabilir.

2) Eğim ile engebe arasında yüksek ilişki vardır. Bu nedenle, engebe bilgisi eğimin değeri için bir pürüzlülük rehberi olarak kullanılabilir. Örnek olarak, küçük ölçekli topoğrafik haritada kullanılacak düzeç eğrisi aralığına karar vermede, yüksek dağlık alanları için kullanılacak ortalama eğim açısı değeri olarak 45° , daha az olan daha az yüksek dağlık bölgeler için 26° ve düz alanlar için 9° alınır (Imhof 1965 Evans 1972).

3) Eğim ile engebe arasındaki ilişki yüksek olmasına rağmen, kavram herbiri için bir teoriye dayanmadığı görülüyor. Düz arazilerde eğim tanımının manasız kaldığı bölgelerde işlem yapılamaz.

3.5. Sonuçlar

Bu bölümde, tanımlamaların kısa bir tartışması yapıldı. Bu tasvirler genel tanımlamaları ve sayısal tanımlamaları içerir. Sayısal olmayan tanımlamalar geniş alanları modellemek için planlama safhasında kullanılabileceği arazi yüzeyinin pürüzlülüğü hakkında genel bilgi kullanıcılaraya sağlayacağı görülüyor. Tersine olarak, sayısal olan tanımlamalar arazinin pürüzlülüğü hakkında daha hassas bilgi sağlamaya muktedirdir. SAM, pratikte hala kullanımda olan bu sayısal tanımlamalar ile ilgili problemler vardır. Bu problemler yüzünden, bu tanımlamaların pratik kullanımını yapmak zordur.

Her iki teorik analiz ve SAM pratiğinden sonuçlardan, dalga uzunluğu ile birlikte eğim arazi tanımlamaları çok ümit verici olacağı görünüyor.

Araziyi sınıflamak için sayısal parametreler kullanma bir parametrik sınıflama olarak teklif edildi. Bu sistemde, arazi özel bir amaç için kullanıcıların isteğinin temeli üzerine sınıflandırıldı. Arazi modellemesi işinde, esas amaç yukarıdakilere karar vermektir ve daha sonra seçme stratejisini tasarlamaktır.



4. SAYISAL ARAZİ MODELERİNDE (SAM) ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ

Bu bölümde kısaca enterpolasyon yöntemlerinden ve bu yöntemlerin karakteristiğinden bahsedilecektir. Bütün enterpolasyon yöntemleri aktarılmıyacaktır.

Enterpolasyon, (x,y,z) dayanak nokta kümesi ile verilmiş olan bir alan içinde ya da bu kümenin bir alt kümesi ile sınırlandırılan arazi içindeki herhangi bir (x,y) konumuna sahip noktanın (Z) değerinin belirlenmesidir. Bu ifade;

$$z = F(x, y, x_i, y_i, z_i) \quad 4.1$$

dir.

Bu problemin çözümünde çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılır. Bu yöntemlerin bir bölümünde ilk ölçülen yükseklik değerleri hatasız kabul edilir; bazılarında belirli bir dengeleme ya da düzensiz hataların filtrelemesi yapılır. Seçilen enterpolasyon yöntemi ne kadar uygun ise hesaplanan (Z) değeri ile gerçek arazi yüksekliği arasındaki fark o kadar küçük olur. Diğer bir deyişle, (Z) değeri ne kadar gerçek araziye yaklaşırsa, SAM' in güvenilirliği o kadar artar.

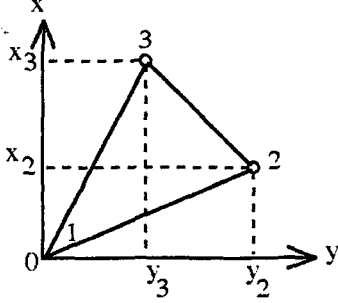
Sayısal arazi modeli enterpolasyon yöntemlerini başlıca üç grupta toplayabiliriz (Güler 1978).

- i) Noktasal enterpolasyon
- ii) Yerel olarak tanımlanmış parça parça fonksiyonlarla enterpolasyon
- iii) Tüm araziye (alanı) kaplayan tek bir fonksiyonla enterpolasyon

4.1. Noktasal Enterpolasyon

Noktasal enterpolasyonda, yüksekliği aranan noktayı çevreleyen bir kritik dairenin veya karenin içinde kalan dayanak noktalarından faydalanılır. Bu noktalar; ağırlıklı ortalama (korelasyon yöntemi), düşük dereceden bir polinom ya da seçilen diğer bir fonksiyonun parametrelerini hesaplamak için kullanılır. Her bir yeni nokta, çevresindeki dayanak noktalarından hesaplandığından noktasal enterpolasyonda fonksiyon katsayıları noktadan noktaya değişir. Bu nedenle, depolama işlemine gerek kalmaz ve esneklik artar.

4.1.1. Lineer enterpolasyon



Enterpole edilecek noktaların yüksekliği, bu noktaya en yakın, en az üç dayanak noktasının koordinatları yardımı ile katsayıları aşağıdaki polinom yardımıyla elde edilir.

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y \quad 4.2$$

Matris formu ile; $Z = A \cdot X$ $X = A^{-1} Z$ burada;

$$x = [a_0 \ a_1 \ a_2]^T \text{ bilinmeyen vektörünü gösterir.}$$

$$z = [z_0 \ z_1 \ z_2]^T \text{ dayanak noktalarının yükseklik değerlerini gösterir.}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix}$$

Dayanak nokta koordinatları ile oluşturulan katsayılar matrisidir. Enterpole edilecek noktaların koordinatları (0,0) olarak alınır. Dayanak nokta koordinatları da buna bağlı olarak değiştirilir.

Enterpole edilecek noktaların koordinatları (0,0) olarak alındığından, aranan yükseklik değeri (a_j) katsayısıdır. Eğer koordinat başlangıç noktası o olırsa, a katsayıları

$$a_0 = z_1$$

$$a_1 = [(y_2 - y_3)z_1 + y_3z_2 - y_2z_3] / (x_2y_3 - x_3y_2)$$

$$a_2 = [(x_2 - x_3)z_1 - x_3z_2 + x_2z_3] / (x_2y_3 - x_3y_2)$$

$$z = \frac{1}{x_2y_3 - x_3y_2} \left\{ \left[(x_2y_3 - x_3y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y \right] z_1 + \left[(y_3x - x_3y)z_2 + (x_2y - y_2x)z_3 \right] \right\}$$

Burada z_j 'in katsayılarına ağırlık fonksiyonları olarak bakılabilir. Böylelikle yerel koordinat sistemlerinde koordinatları x , y olan ve bu düzlem üzerinde bulunan bir noktanın yüksekliği,

$$z = \sum_{i=1}^3 w_i(x, y) z_i \quad 4.3$$

ile bulunabilir. $w_i(x, y)$ ağırlık fonksiyonları,

$$w_1(x, y) = [(x_2 y_3 - x_3 y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)] / (x_2 y_3 - x_3 y_2)$$

$$w_2(x, y) = [(y_3 x - x_3 y) / (x_2 y_3 - x_3 y_2)]$$

$$w_3(x, y) = [(x_2 y - y_2 x) / (x_2 y_3 - x_3 y_2)] \text{ ile belirlidir.}$$

Örnekleme noktalarının düzensiz dağıldığı durumlarda, enterpolasyon yüzeyinin doğruluğu üçgen ağının oluşturulmasına bağlıdır. Farklı bölümler, sonuçlarda farklılıklar oluşturacaktır.

4.1.2. Bilineer polinomlarla enterpolasyon

Örnekleme noktalarının dörtgen grid şekilleri şeklinde dağıldığı durumlarda, parçalardaki polinomların belirlenmesinde üçgen alanları yerine dörtgen alanları kullanılır. Bilineer yüzeye parabolik hiperboloid de denir ve yüzey, başlangıcı i, j olan normlandırılmış yerel bir koordinat sisteminde,

$Z = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy$ eşitliği ile belirlenir. Matris formunda;

$$\begin{bmatrix} z_0 \\ z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \text{ yazılıp, çözüm yapılırsa, a katsayıları}$$

$$a_0 = z_1$$

$$a_1 = z_2 - z_0$$

$$a_2 = z_1 - z_0$$

$$a_3 = z_0 + z_3 - z_1 - z_2 \text{ olarak elde edilir. Bilineer yüzey parçasının eşitliği,}$$

$$z = \sum_{i=i}^{i+1} \sum_{j=j}^{j+1} w_{i,j}(x, y) z_{i,j} \quad 4.4$$

olur. Burada ağırlık fonksiyonları,

$$w_0(x, y) = (1-x)(1-y),$$

$$w_1(x,y) = y(1-x),$$

$$w_2(x,y) = x(1-y),$$

$$w_3(x,y) = xy \quad \text{ile belirlenir.}$$

4.1.3. Korelasyon yöntemiyle enterpolasyon

Seçilen aralığa düşen tüm örnekleme noktalarını aynı ağırlıkla işleme katmak yerine, x noktasında daha iyi bir uyum sağlayabilecek fonksiyon tahmin edilir. Bunu sağlayabilmek için hesaplanacak noktaya yakın noktalara daha büyük, uzak noktalarda da daha küçük ağırlıklar tesis etmek gerekir. Basit enterpolasyon yöntemlerinden biridir. Matematik ifadesi;

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \underline{w} z^T / \underline{w} \underline{u}^T \quad 4.5$$

$\underline{w} = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$; ağırlık vektörünü \underline{u} ise birim vektörünü gösterir. w_i ağırlıkları, enterpole edilecek nokta ile i ' nci dayanak noktasının arasındaki s uzunluğunun bir fonksiyonu olarak alınır. Ağırlık fonksiyonu olarak;

$$\frac{1}{s^k}, \frac{1}{1+cs^k}, e^{-ck} \text{ değerleri alınabilir. Fonksiyonda } k \text{ değerinin büyümesi}$$

en yakın dayanak noktasının etkisini artırırken, uzak noktaların etkisini azaltır. Genellikle $k=2$ olarak alınır.

Ağırlıklı ortalamanın mümerik açıdan bir sorunu yoktur. Hesaplama zamanı, her bir ara noktanın hesaplamasında kullanılan örnekleme noktası sayısına göre değişir. Eşit aralıklarla dağılmış örnekleme noktaları ve buna benzer dağılımda ara noktalar için, ağırlıklı ortalama ($k=2$ kullanılarak) lineer enterpolasyondan daha yavaş, ancak en basit üçüncü dereceden bir polinomsal enterpolasyondan daha hızlıdır. Çok az bir bilgisayar belleği ile işlemler yürütülebilir. Uygun şekilde kullanıldığında; rastgele dağılımdaki örnekleme noktaları kullanımında oluşacak kenarlaşma hataları, ek bir çabayla düzgünleştirilmiş çıkışlar elde edilerek kontrol altına alınabilir. Bu yöntemin en üstün yanısıdır. Sayısal arazi modellemesinde düzensiz dağılımda örnekleme noktaları olması durumunda ve morfolojik çizgilerin işleme katılması istenildiğinde etkin bir şekilde kullanılabilir. Çok yüksek doğrulukta veri elde edebilmek istenildiğinde kullanılmaz.

4.1.4. Kayan yüzeylerle enterpolasyon

İstenilen her bir noktanın yüksekliği, çevresinde bulunan dayanak noktalarından hesaplanan bir yüzeyden elde edilir. Bu yüzeyin konum ve şekli, bir noktadan diğer komşu noktaya değiştiğinden "kayan yüzey" olarak adlandırılmıştır. Koordinat sisteminin başlangıcı olarak yüksekliği hesaplanacak nokta alınırsa, bu yüzeye ait;

$$Z = \sum_{i=0}^n \sum_{i+j=k} a_{ij} x^i y^j \quad 4.6$$

n. dereceden polinomun sabit terimi a_{00} enterpole noktasının yükseklik değerine karşılık gelir. Burada n. yüzeyin derecesi, x ve y ise dayanak noktalarının koordinatlarıdır.

$n=0$ için, $z(x,y) = a_{00}$, yatay bir düzlem

$n=1$ için,

$z(x,y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y$, eğik bir yüzey,

$n=2$ için,

$z(x,y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{02}y^2$,

dereceden bir yüzey bulunur. $n=1$ için üç dayanak noktası yeterlidir. Fakat dayanak noktası ne kadar fazla ise, elde edilen yüzey o denli uygun olur. $n=2$ için en az 10-14 arasında dayanak noktası gerekir. Dengeleme problemi için hata denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$v_i = \sum_{i=0}^n \sum_{i+j=k} a_{ij} x_n^i y_n^j - z_n \quad 4.8$$

z = Dayanak noktası yüksekliği

v = Dayanak noktası yüksekliği hatası

x_n, y_n , n'nci dayanak noktasının koordinatları

Ağırlık olarak,

$$w_n = s^{-k} \quad m > 0$$

$m=1,2,3$ veya 4 kullanılır. Şayet aranılan nokta ile dayanak noktasının koordinatı aynı ise, w sonsuz büyüklüğe ulaşır. Bu durumda aranılan noktanın yüksekliği dayanak noktasının yüksekliğine eşit olur ve yüzey doğrudan dayanak noktasından geçer. Hata denklemleri matris gösterimi ile ,

$$\underline{V} = \underline{A}\underline{X} - \underline{L}$$

şeklindedir. Burada \underline{A} , x_n, y_n koordinatlarını içeren katsayılar matrisi; \underline{X} , a_{ij} katsayılarını içeren bilinmeyenler vektörü; \underline{L} ise dayanak noktalarının Z_n yükseklik değerlerini içeren ölçüler vektörüdür. Buradan dolayı ölçüler dengelemesine geçilirse,

$$\underline{A}^T \underline{Q} \underline{A} \underline{X} - \underline{A}^T \underline{Q} \underline{L} = 0$$

normal denklemlerden; a_{ij} katsayılarını içeren \underline{X} bilinmeyenler vektörü,

$$\underline{X} = (\underline{A}^T \underline{Q} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{Q} \underline{L}$$

eşitliği ile hesaplanır. a_{00} katsayısı aranan yükseklik değeridir. Kötü şartlı normal denklemlerden kaçınmak ve hesap yükünü sınırlamak için genellikle 2 veya 3 alınır.

4.2. Tüm Araziyi İçeren Tek Bir Fonksiyonla Enterpolasyon

Bir tek fonksiyonla enterpolasyon probleminde bir tek, $Z = F(X, Y)$ fonksiyonunu belirlemek için bütün dayanak noktaları aynı anda kullanılır. Buna örnek multiquadrik enterpolasyon verilebilir.

4.2.1. Multiquadrik enterpolasyon

Hardy (1971) tarafından önerilen bu enterpolasyon yönteminde tüm arazi için tek bir analitik enterpolasyon denklemi kullanılır. Bu özelliği ile diğer enterpolasyonlardan ayrılan bu yöntem, multiquadrik enterpolasyon olarak adlandırılmıştır. Bu güne kadar çeşitli jeodezik ve fotogrametrik problemlerin çözümünde kullanılmıştır. (Hardy 1972, Wolf 1981, Güler 1984).

Hardy' e göre multiquadrik enterpolasyon için aşağıdaki eşitlik geçerlidir.

$$L^p = Q_p Q^{-1} L \quad 4.9$$

$$L^p = [z_a, z_b, \dots, z_v]^T \text{ aranan yükseklik değerleri,}$$

$$L = [z_1, z_2, \dots, z_n]^T \text{ dayanak nokta yükseklikleri,}$$

$$Q_p = \begin{bmatrix} q_{a1} & q_{a2} & \dots & q_{an} \\ q_{b1} & q_{b2} & \dots & q_{bn} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ q_{v1} & q_{v2} & \dots & q_{vn} \end{bmatrix}$$

dayanak noktaları ile yüksekliği
aranan noktalar arasındaki
uzaklıkları

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{12} & 0 & \dots & q_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ q_{1n} & q_{2n} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

dayanak noktaları arasındaki
uzaklıkları içerir.

Q için üç değişik değer kullanılmaktadır.

$$Q_{ik} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2 + z^2}$$

$$Q_{ik} = S_{ik}^2 + z^2$$

$$Q_{ik} = 1 / (S_{ik}^2 + z^2)$$

$$k = 1, 2, \dots, n;$$

$$k = a, b, \dots, v;$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Burada z değeri seçimlidir. Amprik olarak hesaplanır veya z=0 alınabilir. Bu durumda multiquadrik yüzey dairesel dik konilerin toplamından oluşur.

Dayanak noktalarına göre düşük dereceden (bir veya ikinci dereceden) bir dengeleyici doğru geçirildiğinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. L değerinden AX aynı şekilde LP' den de ApX değeri çıkarılırsa, (4.9) denklemi aşağıdaki şekle dönüşür.

$$(LP - A_p \hat{x}) = Q_p Q^{-1} (L - A \hat{x}) \quad 4.10$$

$$\hat{x} = [a_a, a_b, \dots, a_v]^T$$

\hat{x} , x' in gerçekleşen değerleridir ve dengeleyici doğru parametrelerini içerir. Katsayılar matrisi A ve Ap aşağıdaki gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & \dots \\ 1 & x_2 & y_2 & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_n & y_n & \dots \end{bmatrix}$$

$$A_p = \begin{bmatrix} 1 & x_a & y_a & \dots \\ 1 & x_b & y_b & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_v & y_v & \dots \end{bmatrix}$$

A matrisini dayanak nokta koordinatları, Ap matrisinide enterpole edilecek nokta koordinatları oluşturur. dengeleyici doğru parametreleri n dayanak noktası için yazılmış düzeltme denklemlerinden en küçük kareler yöntemine göre belirlenir.

$$v = A\hat{x} - L$$

$v^T Q_t v = \min$ yapılırsa, Q_t ağırlık matrisi

$$\hat{x} = (A^T Q_t A)^{-1} A^T Q_t L$$

(\hat{x}) dengeleyici doğru parametreleri bulunur (4.10) denkleminde

$$\hat{y} = Q^{-1}(L - A\hat{x}) \quad 4.11$$

şeklinde düşünülür ve denklemin her iki tarafı Q ile çarpılırsa, aşağıdaki lineer denklem sistemi elde edilir.

$$Q\hat{y} - (L - A\hat{x}) = 0 \text{ veya } Q\hat{y} + V = 0$$

Yukarıdaki denklemlerde Q ve V bilinmemektedir. \hat{y} bilinmeyenlere göre denklem çözümlerse, multiquadrik yüzeyin katsayıları bulunur.

$$\hat{y} = [c_1, c_2, \dots, c_n] \quad (4.8,9,10,11) \text{ Nolu denklemlerden,}$$

$$(L^p = A_p \hat{x}) - Q_p Q^{-1} V = A_p \hat{x} + Q_p \hat{y} \quad 4.12$$

enterpolasyon fonksiyonu elde edilir. Matris yazılımı ile,

$$\begin{bmatrix} z_a \\ z_b \\ \cdot \\ \cdot \\ z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_a & y_a \\ 1 & x_b & y_b \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_v & y_v \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_{a1} & Q_{a2} & \cdot & Q_{an} \\ Q_{b1} & Q_{b2} & \cdot & Q_{bn} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Q_{v1} & Q_{v2} & \cdot & Q_{vn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_n \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilebilir. Dengeleyici doğru parametreleri (a_0, a_1, \dots) dengeleyici doğru derecesi bir alınmıştır.

$F(x,y)$ nin değişimine, homojenlik ve izotropluk (iki nokta arasındaki korelasyonun, yalnızca bu noktalar arasındaki uzaklığa bağlı olması, doğrultudan bağımsız olması durumudur) koşulları konursa, yüksek doğrulukta bir yüzey oluşturma olanağı vardır. Yöntem, düzensiz örnekleme noktaları dağılımında, morfolojik çizgilerde ve filtreleme de ve ekstrapolasyonda etkin bir şekilde kullanılabilir. K parametresinin uygun seçilmediği durumlarda sonuçlar kolaylıkla kötüleşecektir.

4.3. Yerel Olarak Tanımlanmış Parça Parça Fonksiyonlarla Enterpolasyon

Parça parça enterpolasyonda SAM daha küçük parçalara bölünür ve her bir parça seçilen bir fonksiyonla gösterilir. Bu durumda parçaların sınırları boyunca çatlaklar

ve süreksizlikler görülebilir. Bundan kaçınmak için parçalardaki fonksiyonları sınırlar boyunca çakıştırmak amacıyla birleştirme fonksiyonları kullanılır. Bu birleştirme koşullarının, bilinmeyen fonksiyon parametrelerinin hesabında açık olarak tanıtılması gerekli olduğundan, problem bir tek fonksiyonla enterpolasyona dönüşür. Bu nedenle uygulamada birleştirme koşullarına gerek kalmayacak biçimde fonksiyonlar seçilmelidir.

Parça parça enterpolasyonda aşağıdaki yöntemlerden biri seçilebilir.

- 1 En küçük parçalardaki polinomlarla enterpolasyon
- 2 En küçük kareler yöntemi ile enterpolasyon
- 3 Sonlu elemanlarla enterpolasyon
- 4 Üçgen elemanlarında lineer enterpolasyon

4.3.1. En küçük parçalardaki polinomlarla enterpolasyon

Arazi, düzenli şekilde kare veya dikdörtgen gridlere ayrılır. Her bir kare veya dikdörtgen parçası üzerindeki yüzeyler toplam yüzeyi mümkün olduğu kadar düzgünleştirecek ve sürekli kılacak şekilde düşük dereceden polinomlarla gösterilir. Dayanak noktalarının düzenli kare veya dikdörtgen grid köşelerinde ölçülmüş olması önemli değildir. Dayanak noktaları hangi konumda olursa olsun, arazi yüzeyi kare veya dikdörtgen gridlere bölünür. Grid noktalarının, düzenli şekilde kare veya dikdörtgen köşelerinde ölçülmüş dayanak noktalarıyla çakışması durumunda problem dikdörtgen griddede enterpolasyon şekline dönüşür. Arazinin bölüneceği grid büyüklüğü gerekli olan değerlerin hesabına olanak verecek şekilde seçilmelidir. Eşit kare parçalarına ayrılmış arazi yüzeyinin her bir parçası aşağıdaki gibi bir polinomla ifade edilir.

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x^i y^j \quad 4.13$$

Önce yüzeyin dört köşesindeki yükseklik değerleri (Z) ve toplam 8 adet eğim değeri hesaplanır. Bunun için her bir köşe noktasının çevresinde kalan dayanak noktalarından yararlanarak bu noktadan genellikle 1. nci dereceden bir düzlem geçirilir. Noktanın koordinatları (0,0) kabul edilir. bu durumda;

$$Z = a_0 + a_1 y + a_2 x$$

düzlem denkleminde, $\bar{Z} = 0$, $\bar{Z}_y = a_1$, $\bar{Z}_x = a_2$ değerlerine karşılık gelir.

Yüzey elementinin köşe noktasında hesaplanacak yükseklik (\bar{Z}) ve (x, y) doğrultusundaki eğimler (\bar{Z}_x , \bar{Z}_y), (x_i, y_i, z_i) dayanak nokta koordinatları ve (w_i) de, i ninci dayanak noktasının ağırlığı olduğuna göre en küçük kareler yöntemine göre hata

denklemleri ;

$$v_i = \bar{Z} + \bar{Z}_y y_i + \bar{Z}_x x_i - \bar{Z}_i$$

yazılıp, $(\bar{Z}, \bar{Z}_x, \bar{Z}_y)$ bilinmeyenleri eşitliği ile hesaplanır.

$$Z_h = \begin{bmatrix} \bar{Z} \\ \bar{Z}_y \\ \bar{Z}_x \end{bmatrix} = (A^T Q A)^{-1} A^T Q Z \quad 4.14$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & x_1 \\ 1 & y_2 & x_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & y_n & x_n \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \cdot \\ Z_N \end{bmatrix} \text{ Dayanak nokta koordinatları}$$

$$Q = \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_n \end{bmatrix}$$

$$W_i = \frac{1}{S_i^k}$$

(Z) vektörü kritik daire içine düşen dayanak noktalarının yüksekliklerini içerir; (S_i) ise dayanak noktasının köşe noktasına olan uzaklığıdır. (4.14) Denklemi yüzey elementinin dört köşesinde ayrı ayrı çözülüp toplam 12 adet değer hesaplanır.

$$Z = C_{00} + C_{10}x + C_{10}y$$

Her bir karenin köşelerindeki yükseklik, x ve y doğrultularındaki eğim değerleri bu kare içinde kalan yerel dayanak noktaları kullanılarak elde edilen düzeltme denklemlerinin en küçük kareler yöntemiyle çözülerek belirlenir. Böylece her bir karenin dört köşesi için 12 değer elde edilir. Bu değerden aşağıda gösterilen denklemin c_{ij} katsayıları hesaplanır. Böylece çalışma alanı içinde tüm yüzeyin köşe noktalarının yükseklikleri (\bar{Z}) yanında, (x,y) yönündeki eğimleri de hesaplanmış olur. Bu değerlerle aşağıdaki biçimde bikübik bir polinom belirlenebilir:

$$Z = C_{00} + C_{01}y + C_{02}y^2 + C_{03}y^3 + C_{10}x + C_{11}xy + C_{12}xy^2 + C_{13}xy^3 + C_{20}x^2 + C_{21}x^2 y + C_{30}x^3 + C_{31}x^3 y \quad 4.15$$

Bir yüzeyin dört köşe noktasındaki yükseklik (\bar{Z}) ve (\bar{Z}_y, \bar{Z}_x) eğimlerinden (c_{ij}) katsayıları,

$$c = A^{-1} Z_h \quad 4.16$$

formülü ile hesaplanır. Burada;

$c^T = [C_{00}, C_{01}, C_{02}, C_{03}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{20}, C_{21}, C_{30}, C_{31}]$ şeklinde katsayılar vektörü, (A) yüzeyin dört köşe noktasının koordinatlarına bağlı (12x12) elemanlı

matrisdir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & y_1^2 & y_1^3 & x_1 & x_1 y_1 & x_1 y_1^2 & x_1 y_1^3 & x_1^2 & x_1^2 y_1 & x_1^3 & x_1^3 y_1 \\ 0 & 1 & 2y_1 & 3y_1^2 & 0 & x_1 & 2x_1 y_1 & 3x_1 y_1^2 & 0 & x_1^2 & 0 & x_1^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & y_1 & y_1^2 & y_1^3 & 2x_1 & 2x_1 y_1 & 3x_1^2 & 3x_1^2 y_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & y_4 & y_4^2 & y_4^3 & x_4 & x_4 y_4 & x_4 y_4^2 & x_4 y_4^3 & x_4^2 & x_4^2 y_4 & x_4^3 & x_4^3 y_4 \\ 0 & 1 & 2y_4 & 3y_4^2 & 0 & x_4 & 2x_4 y_4 & 3x_4 y_4^2 & 0 & x_4^2 & 0 & x_4^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & y_4 & y_4^2 & y_4^3 & 2x_4 & 2x_4 y_4 & 3x_4^2 & 3x_4^2 y_4 \end{bmatrix}$$

$$z_h^T = [\bar{z}_1, \bar{z}_{1y}, \bar{z}_{1x}, \dots, \bar{z}_4, \bar{z}_{4y}, \bar{z}_{4x}] \text{ yükseklik ve eğim değerlerinin (12x1)}$$

elemanlı vektördür.



5. SAYISAL ARAZİ MODELİ YÜZEYLERİNİN DOĞRULUĞUNUN MATEMATİK MODELLERİ (HASSASİYET ANALİZİ)

Son SAM yüzeyli oluşturulduktan sonra, doğruluğunun onaylanması gerekir. Sayısal arazi modellemesi şartlarında oluşturulan SAM yüzeylerinin doğruluğunun onaylanması genellikle SAM doğruluk değerlendirmesi olarak isimlendirilmektedir.

SAM doğruluk değerlendirmesi, farklı yollarla yapılabilir. Ya teorik analizden veya bir deneysel test ile veya bunların bileşiminden olabilir. Deneysel testlerden SAM doğruluğu için bir matematik model hesaplamasının yapılabilirliği, sonuçlar çok özel durumlardan elde edilebildiği için bazı sınırlara sahiptir. Üstelik, böyle testlerin çok sayıda yapılması gerekir. Bu çok pahalı ve zaman alıcı olabilir ve hatta bazı durumlarda yapmak mümkün olmayabilir. Bu nedenle, bir teorik analiz arzu edilir. SAM doğruluğunun analizine gelince, giriş bölümünde söz edildiği gibi, oldukça fazla çalışma Makarovič (1972), Frederiksen (1980), Temfli (1980), Frederiksen ve ark. (1986) tarafından yapıldı. Bu nedenle, daha sonra bu bölümde verilecek olan bu modellerin değerlendirilmesinde gösterildiği gibi, bunların herbiri kesin güçlüklerle veya arzu edilmeyen özelliklere sahiptir. Bu nedenle, daha geniş bir modelin oluşturulması istenir.

5.1. SAM Doğruluk Değerlendirmesi İçin Yaklaşımlar

Üç boyutlu sayısal arazi modelleri üzerinde hatalar iki ifadeyle belirtilir. Bunların birincisi (x ve y) planimetrik hata, ikincisi Z düşey doğrultusundadır ve yükseklik hatasıdır. Planimetrik hata, yatay hata ve yükseklik hatası da düşey hata olarak bilinir.

SAM doğruluğunun hesaplanması iki farklı modelde yapılabilir. Ya planimetrik doğruluk ve yükseklik doğruluğu teker teker değerlendirilebilir ya da herikisi aynı anda değerlendirilebilir. Planimetrik için doğruluk sonuçları düşey doğrultuda doğrultu sonuçlarından teker teker elde edilebilir. İkincisi için, her iki hata bileşenleri ile bir doğruluk ölçümü gerekir.

Geleneksel harita üretiminde engebe tasviri ile SAM üretiminin sonuçları karşılaştırıldı ve tekrar tekrar hesaplama yaklaşımı kullanılarak SAM' in doğruluk değerlendirilmesi veya doğruluğunun hesaplanması için 4 metodu tartıldı (Ley 1986). Bunlar;

- a) Üretimle tahmin etme
- b) Alanla tahmin etme,
- c) Kartometrik test ile değerlendirme,

d) Noktalarının ortalaması ile değerlendirme, gibi metotlardır.

Bunların arasında ilk ikisi teorik analizler için kullanılabilir.

a) İlk yaklaşımı yerine getirmek için bir metod (üretimle tahmin etme) kaynak materyalin düşey doğruluğunu değerlendirme ile beraber değişik üretim adımlarında tanıtılan hataları hesaplamaktır (Ley 1986). Daha sonra sonuçta SAM' in doğruluğu önemlidir veya bütün safhalarda karışık hataların neticelerinin sıralanmasıdır.

b) İkinci yaklaşım (alan ile yükseklik doğruluğunun hesaplanması) topoğrafik haritalar üzerinde düzeç eğrilerinin düşey doğruluğu alanın ortalama eğimi ile ilişkili olduğu gerçeğine dayanır. SAM şartlarında böyle durum olup olmadığı hakkında bir kesinlik yoktur. Aslında, Britanya askeri ölçmelerinde yapılan testte pozitif sonuç görüldüğü belirtilmiştir (Ley 1986).

3. ve 4. yaklaşımlar genellikle bir teorik analiz için uygun değildir. Deneysel araştırmaların metodlarını tarif eder. Üçüncü yaklaşım pratikte en çok kullanılmıştır.

Ley (1986) dahi SAM' in planimetrik doğruluğunun hesaplanması için üç yaklaşımdan bahsetti, bunlar; i) hatasız; ii) tahmin etme yaklaşımı; iii) yüksekliktir. Onun bahsettiği gibi, pratik kullanım haline getirmek zordur. Bu nedenle, bu çalışmada, planimetrik doğruluğunun hesaplanması tartışılmıyacak. SAM doğruluğunun hesaplanmasında yatay ve düşey doğrulukların aynı anda değerlendirilmesi gerektiğini aşağıdaki gibi ifade etti (Ley 1986):

i) Arazi üç boyutlu bir yüzey üzerinde yerleşmiş sonsuz sayıda noktalardan oluşmaktadır. Eşsiz her bir veri noktası ve bunların çevre noktaları ile ilişkisi üç boyutlu koordinatların matrisi ikiye indirilmesi ile bozulur.

ii) Ayrı ayrı yatay ve düşey testlere girişmekle, ikinci bileşenlerin bazı hatalar içermesi tehlikesi vardır.

SAM doğruluğunu aynı anda hesaplamak için üç boyutta doğruluk karakteri belli olan bir ölçme gerektirir. Ley (1986) araştırmalarına dayanarak, SAM yüzeyi ile orjinal yüzey arasında ortalama eğim ölçülmesinin karşılaştırılmasını teklif etti. İnsanlar üç boyutlu koordinatlarda hata ifade etmek için ölçmeler yapmak zorundadır. Bu nedenle, SAM doğruluk hesaplaması için bu metodu uygulamanın uygunluğunun hala tartışılması gerekir. Bu yaklaşımı kullanarak Ley, (1990 personel communication) tarafından yapılan son deneysel testlerde çok hayal kırıcı sonuçlar elde etti.

5.2. Mevcut Matematiksel Modellerin Değerlendirilmesi

Sayısal arazi modellerinin yükseklik doğruluğu için matematik modelleri belirlenmesi çalışması 1970' li yıllarda başladı. ITC' de 1972 yılında Macarovic bu konuda öncülük yaptı. Bundan sonra Fourier dönüşümü, istatistik, bölgesel değişken teorisi (geo-istatistik), vb. gibi matematiksel ifadeler kullanılarak birçok araştırmacı tarafından çok sayıda araştırma yapıldı. Matematik yaklaşımlar yardımıyla, bazı matematik modeller SAM doğruluğunun hesaplanması için belirlendi.

5.2.1. Mevcut doğruluk modellerin teorik değerlendirilmesi

Macarovič (1972), SAM yüzeylerinin doğruluğunu araştırmak için Fourier analizini kullandı. O sinüs fonksiyonlarından yeniden veri seçmeyi ve oluşturmayı düşündü. Yeniden oluşturulan yüzeyin doğruluğu ve giriş dalgasının genliği için lineer oluşturulan sinüsoidal dalganın büyüklüğünün ortalama değerinin oranıyla ifade etti. Transfer fonksiyonu farklı enterpolasyon teknikleri için de elde edilebilir olduğunu gösterdi. Macarovic 1979 da enterpolasyon fonksiyonunun transfer fonksiyonları için yoğun çalışma yaptı. Bu yolda, sayısal arazi modellerinin doğrulukları, arazi yüzeylerinin farklı şekilleri içinde karşılaştırılır. Ackermann 1979 da prensipte bu teoriyi tanımladı ve yorumunu yaptı. Eğer bir arazinin dağılım frekansı biliniyorsa, nokta yoğunluğu ile ilgili bütün sorular, enterpolasyon metodu ve doğruluğu Macarovic' e göre cevaplanabilir. Farklı arazi tiplerinin dağılım frekansı araştırması ve teorik ve deneysel doğruluk sonuçları uygunluğu sonuçlanmadı.

Eğer bir SAM' ın gerekli kalitesi standart sapma değeri ile belirlenecekse veya hata yayılma kanunu uygulanacaksa transfer fonksiyonlarının yeterli olmadığı hakkındaki bilgi verdi (Temfli 1980) . Sayısal arazi modelleme sistemini bir lineer sistem gibi düşünerek, bir lineer sistem gibi spektral analiz ile SAM' ın doğruluğunu hesaplanacağını göstermek için bir çalışma yapılması gerekir.

Enterpolasyon teknikleri ve arazi özellikleri, Ackermann' ın 1979 da işaret ettiği gibi "Günümüze kadar, teorik sonuçlar henüz deneysel sonuçlarla karşılaştırılmadı". Kovaryansla veya variogramla, tanımlanan fonksiyonun gerçek araziye ne kadar iyi tasvir edeceğini görmek ve hangi fonksiyonun hangi arazinin şekilleri için seçilmesi gerektiğini görmek için bir çalışma yapmak gereklidir.

Yüksek-frekans kısmında arazi yüzeyinin Fourier açılımının toplamının özetinin temelinde bir matematik model tasarladılar (Frederiksen ve ark.1978). Burada tekrar, bir arazi yüzeyinin Fourier açılımı bilineceği veya bir yüksek yoğunluktaki veri noktalarını içeren ölçülmüş profiller kullanarak hesaplanacağı farz edildi. Daha sonra SAM' ın

doğruluğu sonsuz için $1/(2 \cdot Dx)$ in frekansından bilinen tayfın toplanmasıyla hesaplandı. Dx ' in aralığı ile seçildiğinden dolayı Dx den küçük bilgiler kaybolacaktır. Bu nedenle, onların modellerinde hesaba katılmayan en önemli nokta açılımdır. Eğer açılım, bu noktalar arasında geniş aralıkla veri noktalarından hesaplanırsa genişliği azaltılacaktır. Sonuç olarak, onların modelleri çok iyimser bir hesaplama üretiliyor olabilir.

5.2.2. Mevcut doğruluk modellerin deneysel değerlendirilmesi

SAM doğruluğunun matematik modellerinin birçoğu önceki bölümde kısaca özetlendi ve bu değişik modellerin bir çalışması onların ne kadar iyi SAM doğruluğunu hesaplayabileceğini görmek için gerekli olduğu belirtildi. Genellikle, değerlendirme, variogram analizi, (auto) kovaryans analizi ve onların yüksek-frekans kısımları üzerinde Fourier açılımının toplamına dayanan modellerle sınırlandırıldı.

5.2.2.1. Variogram fonksiyonuna dayanan matematik modellerin değerlendirilmesi

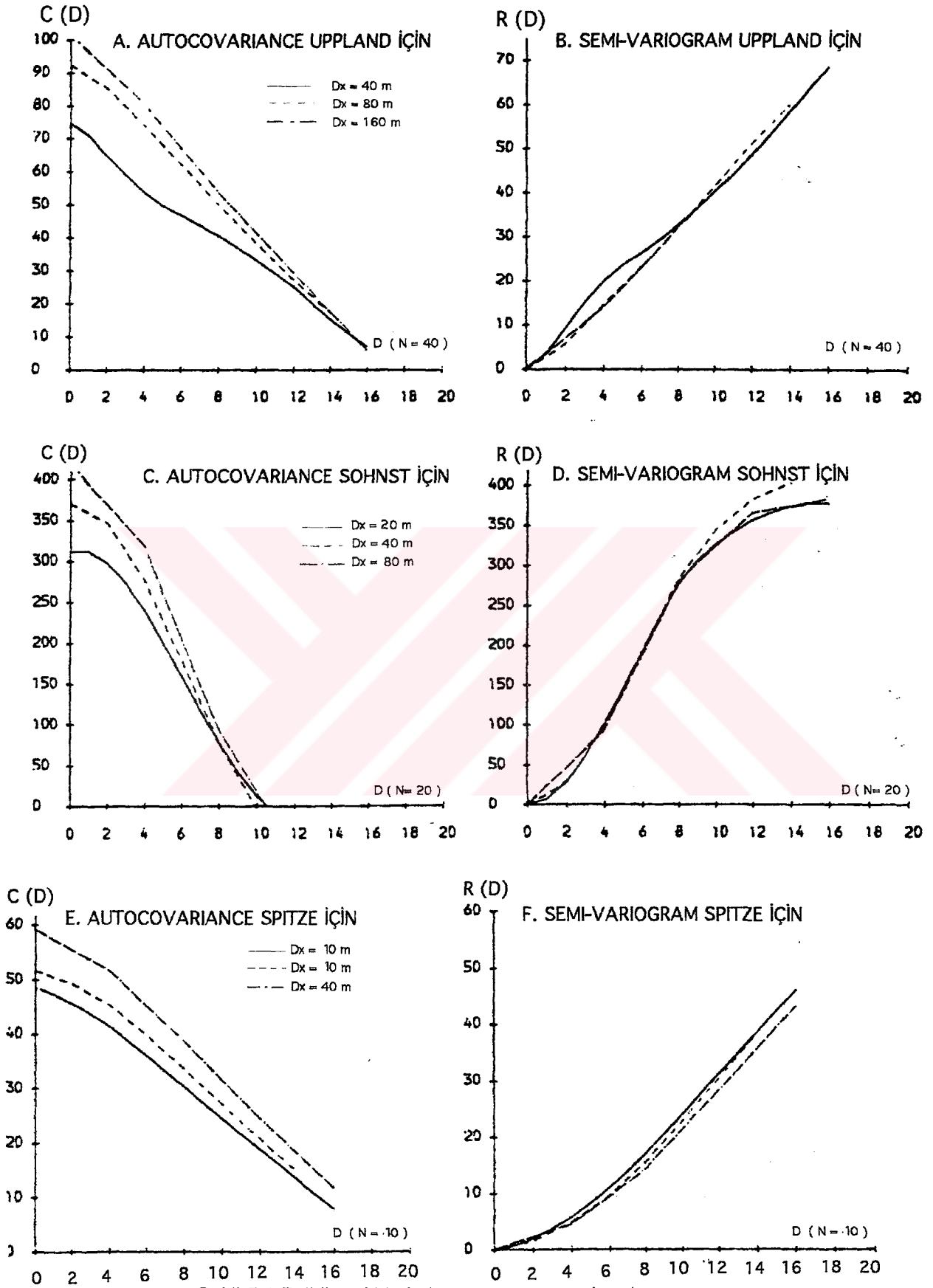
Kare ağı metodu ile elde edilen kontrol noktaları yardımıyla elde edilen SAM' in doğruluğunu gösteren matematiksel ifade aşağıdaki gibi gösterilebilir.

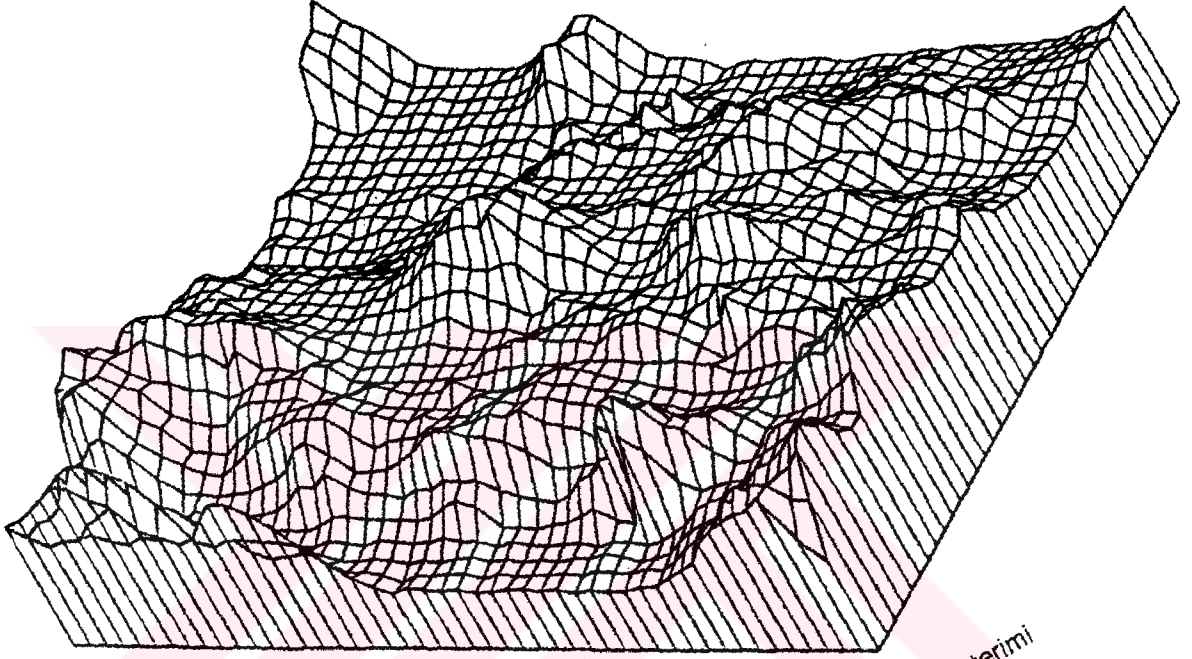
$$\text{var}(Int) = A \left(\frac{Dx}{L} \right)^b \left(-\frac{1}{3} + \frac{4}{(b+1)(b+2)} \right) \quad 5.1$$

A ve b yukarıda verilen variogram fonksiyonun parametreleridir. L, A ve b parametreleri hesaplamada kullanılan profil boyunca seçilen aralıktır.

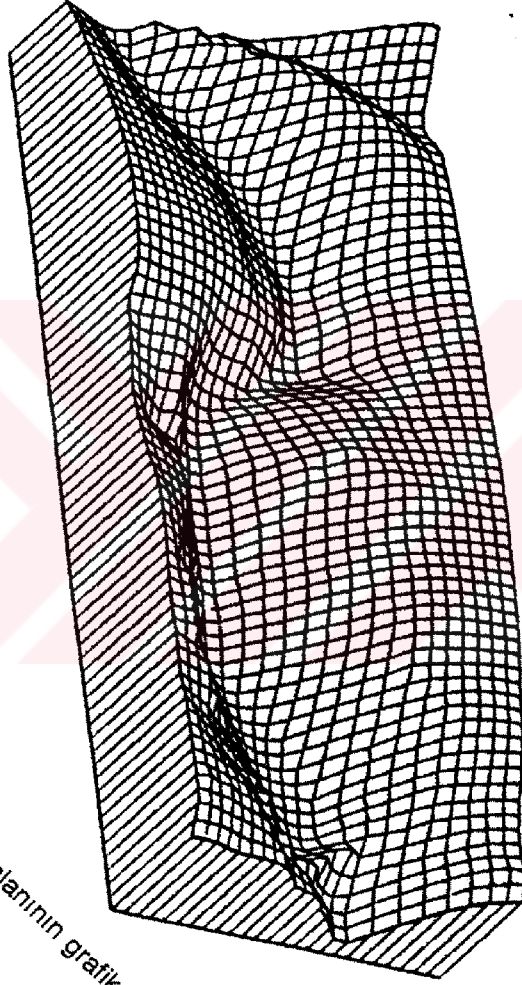
Dx , SAM kontrol noktalarını elde etmek için seçilen aralıktır.

$\text{Var}(Int)$, SAM kontrol noktalarında hata olmadığı farz edilirse, SAM doğruluğunu göstermektedir. Şekil 5.1a, b herbiri için, en küçük seçilmiş aralıkta veri guruplarından üretilen variogram bir regresyon tekniği kullanılarak bu modeller için katsayı hesaplamada kullanıldı (Li 1991).

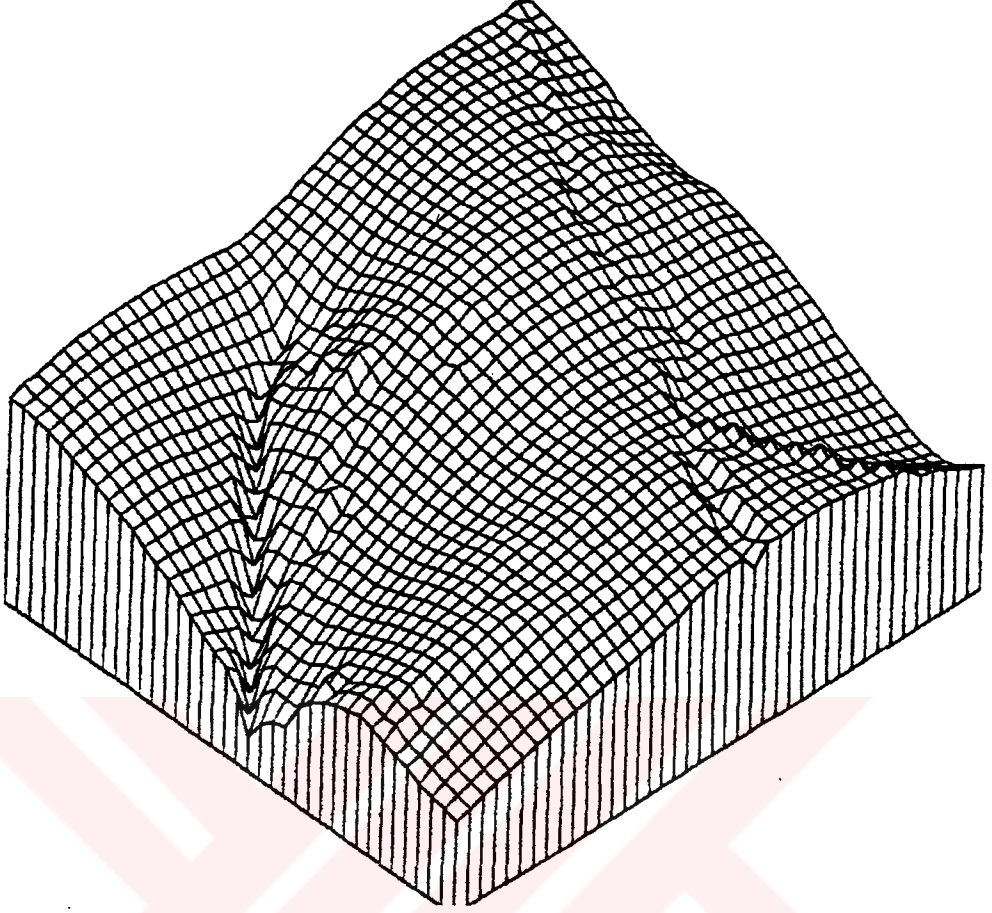




Şekil 5.2 Uppland alanının grafik gösterimi



Şekil 5.3 Sohnstätten alanının grafik gösterimi



Şekil 5.4 Spitze alanının grafik gösterimi

Tablo 5.1 Variogram analizine dayanan modellerin katsayıları için regresyon analizi

TEST ALANI	L	2A	b	r
Uppland	40 m	5.32	1.196	0.999
Sohnstetten	20 m	17.15	1.727	0.998
Spitze	10 m	1.365	1.537	0.9998

Genellikle, Sohnstetten alanında yalnızca ilk 8 nokta regresyon analizi için kullanılmıştır. Sonuçlar tablo 5.1 de doğruluk sonuçlarının karşılaştırmasının bazı örneklerini de tablo 5.2a da gösterilmiştir. Aşağıda hesaplanan test sonuçlarından Spitze bölgesi için enbüyük aralık (10m) için 0.13 m fark kabul edilebilir. Farkların büyük olduğu değerler, büyük seçilmiş aralıklarda olduğu görülüyor. Örnek olarak, Uppland alanı için 0.25 m ve 0.20 m değerleri sırasıyla 56.56 m ve 80 m seçilmiş aralıklar için elde edilmiştir. Sohnstetten alanı 56.56 m aralığı için 0.63 m büyük farklılıklar olduğu görülüyor.

SAM için doğruluk karışık veri gurupları kullanılmadan elde edileceği zaman,

farklılıkların daha da büyüyeceği görülüyor. Bu sonuçların karşılaştırılması tablo 5.2b de verildi. Buradan karışık veri gruplarından elde edilen bazı sonuçlar SAM için kabul edilemez görünüyor. Sonuçların analizinde, farklar üç test alanının herbiri için en küçük seçilen aralık kullanıldığı takdirde çok küçük olduğu görülüyor. Uppland için 0.03 m, Sohnstetten için 0.09 m, Spitze için 0.08 m olduğu tablo 5.2b de görülmektedir. Fakat, kare ağı veri gurupları yerine karışık veri guruplarını kullanarak büyük örnekleme aralığı ile arazi tasvir edildiğinde farklar Uppland bölgesi için 56.56 örnekleme aralığı için 0.25 m den 0.48 m ye 80 m örnekleme aralığı için 0.20 m den 0.58 m ye, Sohnstettende 56.56 m aralığı için -0.63 m den -0.69m ye yükselmiştir.

Şekil 5.2a Teorik değerlerin karşılaştırılması 5.1 eşitliği ile grid veri guruplarını kullanarak elde edildi.

Test alanı	Dx	Dx /L	Tahminleme m	Test Sonuç m	Fark m
Uppland	40	1.0	0.63	0.76 m	-0.14
	56.56	1.414	1.18	0.93	0.25
	80	2.0	1.38	1.18	0.20
Sohnstetten	20	1.0	0.52	0.56	-0.04
	28.28	1.414	0.98	0.87	0.11
	40	2.0	1.38	1.45	-0.07
Spitze	10	1.0	0.08	0.21	-0.13
	14.14	1.141	0.37	0.28	0.09
	20	2.0	0.48	0.35	-0.13

Şekil 5.2b Teorik değerlerin karşılaştırılması 5.1 eşitliği ile karışık veri guruplarını kullanarak elde edildi.

Test alanı	Dx	Dx /L	Tahminleme m	Test Sonuç m	Fark m
Uppland	40	1.0	0.63	0.66	-0.03
	56.56	1.414	1.18	0.70	0.48
	80	2.0	1.38	0.43	0.58
Sohnstetten	20	1.0	0.52	0.56	0.09
	28.28	1.414	0.98	0.78	0.42
	40	2.0	1.38	1.45	0.60
Spitze	56.56	2.828	1.77	1.08	0.69
	10	1.0	0.08	0.16	-0.08
	14.14	1.141	0.37	0.17	0.20
	20	2.0	0.48	0.18	0.30

Variogram modeliyle ortaya çıkartılan hesaplama düzgün kare ağı gurubundan elde edilen sonuçlarına yakın olması çok ilginç görünüyor. Onlar karışık veri guruplarından elde edilen sonuçlar ile iyi uyuşmamaktadır. Bu modelde kullanılan variogramı hesaplamak zor ve karışık olması sebebiyle yalnızca düzgün kare ağı veri guruplarından hesaplanıp ve karışık veri guruplarından hesaplanmaması sebebiyle olabilir.

Çünkü düzgün olmayan veri gruplarından variogramı hesaplamak zor ve karışıktır. Eğer variogram değeri çok küçük kare ağı aralığı ile kare ağından hesaplanırsa, daha sonra bu model ile ortaya çıkartılan hesaplama karışık veri gruplarından elde edilen sonuçlara daha yakın olabilir. Bu tablo 5.2a ve 5.2b de küçük örnekleme aralığı için sırasıyla 0.63 m, 0.52 m ve 0.08 m olduğu görülmektedir.

Diğer ilginç bir nokta, kare ağı verileri olduğu takdirde, deneysel sonuçlar ve modelle ortaya çıkartılan hesaplar arasındaki farklılık artan seçilmiş aralık ile daha uygun olduğudur. Bu semi-variogramların farklı grid aralıkları ile kare ağı verilerinden hesaplanması diğerlerine çok benzemesi yüzündendir.

5.2.2.2. Kovaryans fonksiyonlarına dayanan modellerin değerlendirilmesi

ISPRS Kongresinin III. komisyonunun üçüncü çalışma gurubu tarafından oluşturulan SAM test (Torlegard ve ark. 1986) verilerinin üç alanı kullanılarak kovaryans analizinin ortalaması ile değerlendirmede kullanılmışlardır. Burada yalnızca bir model üst kovaryans modeli kullanarak lineer enterpolasyon için seçilmiştir. İfade aşağıdaki gibidir:

$$SD(int)_{max} = 1.1SD(T) (Dx / c)^{1/2} \quad 5.2$$

$SD(int)_{max}$ topoğrafik genelleştirmeden dolayı maksimum standart hatadır. $SD(T)$ arazi yüksekliğinin standart hatasıdır. Arazi varyansının kare kökü gibi; Dx grid aralığı (veya kaynak verilerin seçilen aralığı), c varyans modelinde kullanılan parametredir. $SD(int)_{ortalama}$ pratikte kullanılabilir.

$$SD(SAM) = (SD^2(int) + 0.36 VAR(raw))^{1/2} \quad 5.3$$

$VAR(raw)$ kontrol (ham, kaynak) noktaları verilerin hatasıdır ve $SD(SAM)$ da SAM' in doğruluğunun tahminlenmesidir.

Test verilerinden hesaplanan (auto) kovaryans grafik olarak şekil 5. 1(a), (c) ve (d) de gösteriliyor. Aşağıdaki formül 5.2 nin parametrelerini tahmin etmek için regresyon yapmada kullanılmıştır.

$$Y = A.Exp(B .x) \quad 5.4$$

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak elde edilen regresyon sonuçları tablo 5.3 de gösterildi.

r , regresyon için korelasyon katsayısıdır.

Deneysel sonuçlar ile bu matematik model ile üretilen sonuçların bir karşılaştırılması tablo 5.4 de gösterildi.

Tablo 5.3 Kovaryans analizine dayanan modellerin katsayıları için regresyon sonuçları

Test alanı	L	A	B	r
Uppand	40	76.178	-0.002338	-0.988
Sohnstetten	20	327.540	-0.005285	-0.944
Spitze	10	51.684	-0.007848	-0.978

Tablo 5.4a Teorik değerlerin karşılaştırılması 5.3 eşitliği ile grid veri gruplarını kullanarak elde edildi.

Test alanı	Dx	SD(int) m	Tahminlenen m	Test Sonucu m	Fark(m)
Uppland	40	0.30	0.50	0.76	-0.26
	56.56	0.35	0.53	0.93	-0.40
	80	0.42	0.58	1.18	-0.60
Sohnstetten	20	1.02	1.02	0.56	0.46
	28.28	1.22	1.22	0.87	0.35
	40	1.45	1.45	1.45	0.00
	56.56	1.72	1.72	2.40	-0.68
Spitze	10	0.49	0.49	0.21	0.28
	15.14	0.59	0.59	0.28	0.31
	20	0.70	0.70	0.35	0.35

Tablo 5.4b Teorik değerlerin karşılaştırılması 5.3 eşitliği ile karışık veri gruplarını kullanarak elde edildi.

Test alanı	Dx	SD(int) m	Tahminlenen m	Test Sonucu m	Fark(m)
Uppland	40	0.30	0.50	0.66	-0.16
	56.56	0.35	0.53	0.70	-0.17
	80	0.42	0.58	0.80	-0.22
Sohnstetten	20	1.02	1.02	0.43	0.59
	28.28	1.22	1.22	0.56	0.66
	40	1.45	1.45	0.78	0.67
	56.56	1.72	1.72	1.08	0.64
Spitze	10	0.49	0.49	0.16	0.33
	15.14	0.59	0.59	0.17	0.42
	20	0.70	0.70	0.18	0.62

Bu iki tablodan, tahminlerin oldukça zayıf olduğu görülüyor. Sonuçlar üstel model yerine Gauss varyans modeli kullanılarak iyileştirilir (Kübik ve Botman 1976). Bu nedenle, şekil 5.1 den görüleceği gibi farklı aralıklarla kare ağı verilerinden hesaplanan kovaryans değeri o kadar farklıdır ki kovaryans değerini ifade etmek için hangi model kullanılırsa kullanılsın çok iyi tahminleme yapmak bu model için zordur. Şekil 5.1 den görüleceği gibi, kovaryans değerleri Gauss fonksiyonu tarafından daha iyi ifade

edilebileceğini göstermiyor.

5.2.2.3. Yükseklik frekansı spectral analize dayanan modelin değerlendirilmesi

Daha önceden bahsedildiği gibi, Fourier spectral analize dayanan matematik modelleri kullanıldığında, yüksek yoğunluk ile sayısal profil verileri kullanılmalıdır. ISPRS testlerinden düzgün kare ağı verileri olduğu takdirde, grid veri noktaları böyle bir amaç için yeterli yoğunlukta olmadığı düşünülmüştür. Bu nedenle, veri gurubunun yüksek frekansı üzerine Fourier spectralının özetine dayanan model kullanarak böyle hesap çalışması Stuttgart Üniversitesinde Prof. Ackermann ve Dr. Sigle tarafından yapıldı. Stuttgart Üniversitesinde ölçülen ISPRS veri gurupları için bu model ile tahminlenen sonuçlar, orjinal veri gurupları ile birlikte geçerli kabul edilmiştir.

Stuttgart Üniversitesinde ölçülen veri gurupları - Sohnstetten, Spitze ve Drivdalen ISPRS alanlarının üçünü içerir. Bu test alanları için kaynak veri guruplarının yükseklik doğrulukları (RMS değerleri) Sohnstetten olanı için ± 0.17 m, Spitze olanı için ± 0.10 m, Drivdalen olanı için ± 0.35 m olarak hesaplandı. Test sonuçları tablo 5.5 de verildi.

Deneyisel testlerden elde edilen sonuçlarla tahminlenen değerlerin karşılaştırması tablo 5.6 da verildi. Genelde sonuçlar kötü bulunmayabilir. Fakat bu sonuçlar küçük seçilmiş aralıklarla elde edilmiştir.

Tablo 5.5a Stuttgart' dan grid veri gurupları için doğruluk sonuçları

Test alanı	veri gurubu grid	RMSE	SD	ORTALAMA	+Emax	-Emax
D. Drivdalen	20 m	1.61	1.57	-0.36	9.89	-15.78
E. Sohnstettn	15 m	0.49	0.46	-0.15	2.70	-3.51
F. Spitze	15 m	0.31	0.31	0.05	5.01	-1.80

Tablo 5.5b Stuttgart' dan karışık veri gurupları için doğruluk sonuçları

Test alanı	veri gurubu grid	RMSE	SD	ORTALAMA	+Emax	-Emax
D. Drivdalen	20 m	1.5	1.47	-0.34	9.89	-9.92
E. Sohnstettn	15 m	0.39	0.35	-0.15	1.44	-2.20
F. Spitze	15 m	0.20	0.20	0.03	5.65	-1.08

Tablo 5.6 yüksek-frekans Fourier spektrumuna dayanan model ile tahminlenen değerler ve test sonuçlarının değerlendirilmesi.

Test alanı	grid m	Tahminleme m	Kare ağı	verileri	Karışık	veriler
			test m	fark m	test m	fark m
D. Drivdalen	20 m	0.26	0.46	-0.20	0.35	-0.09
E. Sohnstettn	15 m	0.10	0.31	-0.21	0.20	-0.11
F. Spitze	15 m	1.25	1.57	-0.32	0.47	-0.22

Bu metodlarla tahminlenen sonuçlar karışık veri gruplarından elde edilen doğruluk değerlerine oldukça yakındır. Bu spektrum yüksek yoğunluklu profil verilerinden hesaplandığı için olabilir. Arazinin iskeletini oluşturan özel noktalar, su toplama ve dağıtma çizgilerinin koordinatları kontrol noktalarına eklenilmiştir. Böylece bu modellerle üretilen sonuçlar karışık veri gruplarından elde edilenlere çok yakın olduğu görülüyor. Sınırlandırılmış sonuçlar hakkında, bu model, umulduğu gibi, daima çok iyimser bir tahminleme vermektedir.

5.2.3. Karşılaştırma

Bu bölümde, SAM doğruluğunun mevcut üç matematik modeli deneysel olarak değerlendirilmiştir. Test sonuçları, bu modeller ile tahminlenen değerlerin karşılaştırılmasından, modellerin çok farklı davrandığı görülmektedir. Genelde, kovaryans fonksiyonlarının kullanımına dayanan modellerle yapılan tahminleme oldukça zayıftır. Diğer taraftan variogram fonksiyonlarına dayanan modellerle tahminlenen sonuçlar kare ağı veri gruplarından elde edilenlere çok benzer olduğu, fakat karışık veri gruplarından elde edilenlere benzemediği görülmektedir. Tersine, spectral analize dayanan model ile tahminlenen sonuçlar karışık veri gruplarından elde edilenlere daha yakın olduğu görülüyor.

Variogram analizi ve kovaryans analizinin her ikisine dayanan modellerin parametreleri veri noktalarının tüm gruplarından hesaplanmıştır. Pratikte, kontrol noktalarının ölçmeleri yapılmadan önce seçilmiş bir aralıkla SAM doğruluğu tahminlemesini güvenle yapmak mümkün değildir. Bu modellerde parametreler için çok güvenilir tahmin yapmak çok kolay olmayabilir. Bu nedenle, bu modeller çok pratik değildir.

Ackermann tarafından 1979 da belirtildiği gibi, kovaryans (veya variogram), pratikte SAM doğruluk hesaplaması ve farklı arazi şekilleri için kovaryans (veya variogram) analizine dayanan modelleri kullanmak gereklidir. Bu nedenle, bazı jeomorfolojik şekillerin farklı alanları ve farklı doğrultular için çıkartılan kovaryans değerleri oldukça farklı olabilir. Bunun manası çok güvenilebilir tahminleme üretmek bu modeller

için hala çok zordur. Bu deneysel sonuçlar ve yukarıda sözü edilen teorik tartışmalara göre, bu modeller daha önce bahsedilen matematik modelleri değerlendirmek için standartları tatmin etmediği sonucu çıkartılır.

Fourier spectrumu gibi bu nümerik hataları düşünerek, variogram, kovaryans ve benzeri gibi tanımlamalara dayanan SAM doğruluk tahminlemesi için kullanılan modellerin tümünün iyi modeller olmadığı düşünülür. Bu nedenle, teoride ve pratikte daha uygun olan alternatif matematik modellerin geliştirilmesi gerekir. Bu gibi bir modelin parametreleri fiziksel gerçeğe sahip olmalıdır.



6. UYGULAMA

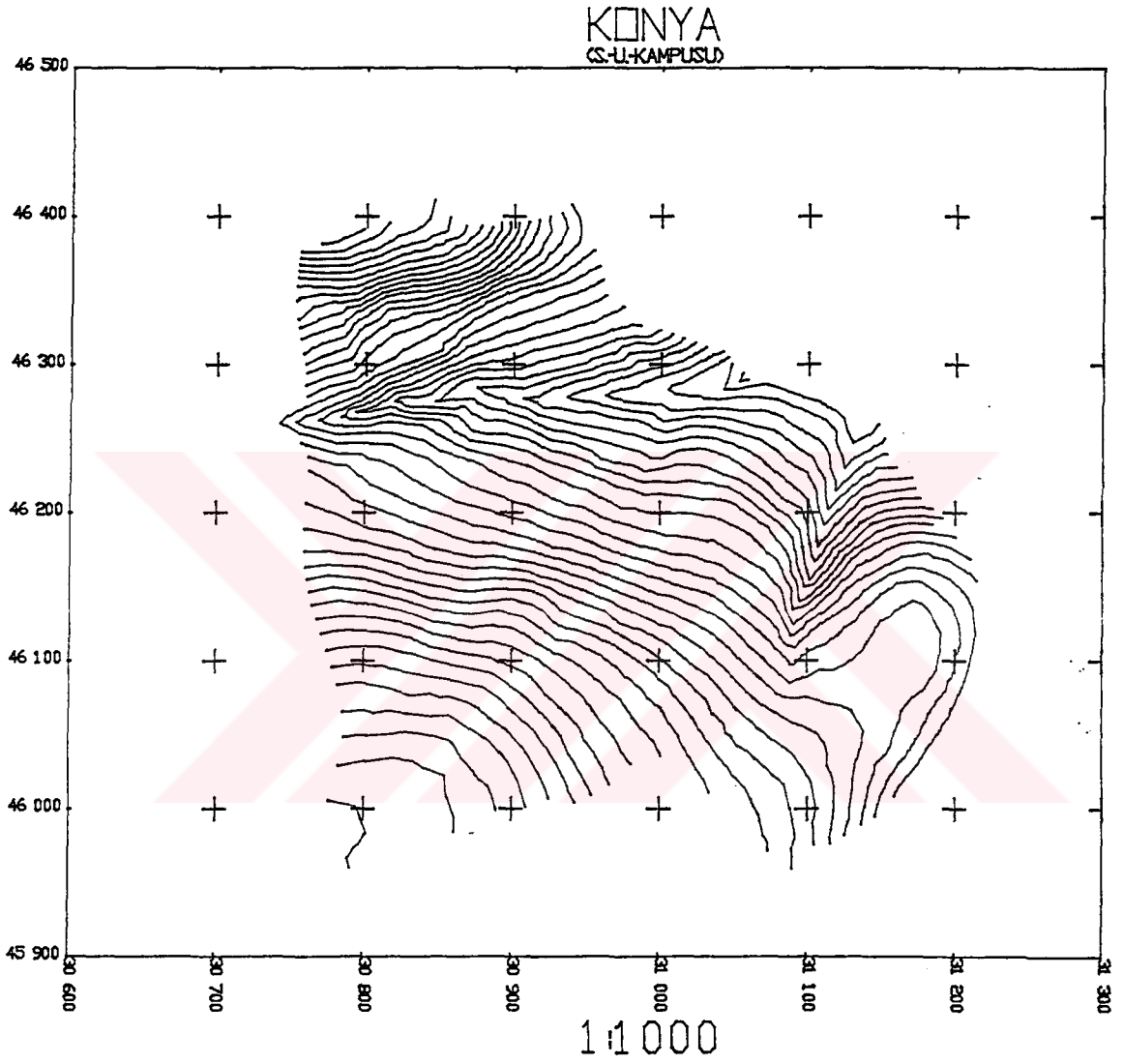
Selçuk Üniversitesi kampüs bölgesinde beş pilyeden oluşan hassas nivelman ağı içerisinde elektronik takeometri aleti Topcon GTS-4 ile 1486 noktayla arazi alımı yapıldı. Arazi alımı ortalama 10 m ara ile yapıldı. Çalışma (test) alanı yaklaşık 15 hektarlık bir arazidir. Karşılaştırma klasik metodla, SAM programları arasında yapılacağı için, enterpolasyon hatalarını enaza indirebilmek amacıyla arazi alım noktaları 1:250' ölçeğinde ploter yardımıyla 11 pafta üzerine çizdirildi. Bu noktaların üzerine kot santimetre inceliğinde yazdırıldı. Noktalar arasında üçgenleme ile lineer enterpolasyon yapılarak tam kot değerleri elde edildi. Bu noktalar birleştirilerek düzeç eğrileri kırık olarak elde edildi. Paftaların tamamı Auto-CAD programı kullanılarak sayısallaştırıldı. Onbir pafta burada birleştirildi. Elde edilen esas paftadır (şekil 6.1). Klasik metodla oluşturulan düzeç eğrileri yumuşatılmadı. Daha sonra karşılaştırma yapmak amacıyla dosyalar birleştirildiğinde spline yöntemi ile yumuşatıldı.

Alım için mesafe uygun olmasına rağmen detay noktalarını tam belirleyebilmek için niregiler arasına poligon güzergahı döşendi. Bu poligon güzergahı kullanılarak arazide mevcut olan iki su toplama çizgisi ayrı olarak alındı (şekil 6.2).

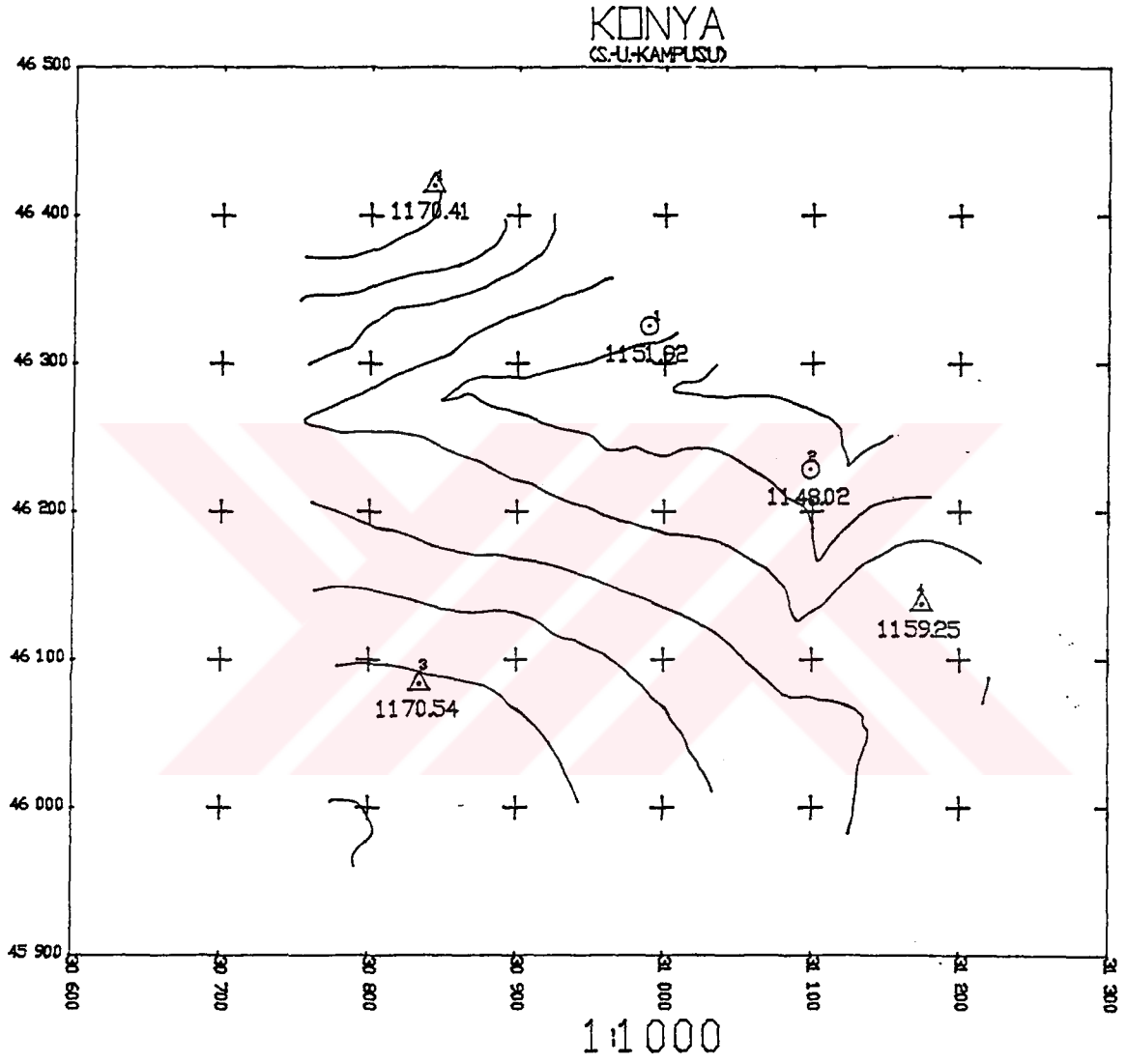
Daha sonra, arazi alımları değerleri kullanılarak SAM programları yardımıyla düzeç eğrilerini çizdirebilmek için programına göre kütük yapısı oluşturuldu. Programın kullanacağı ham veriler hazırlanmış oldu.

Her iki programa, 1486 noktayı kullanarak önce üçgenleme yaptırıldı. Program ortalama 2970 tane üçgen oluşturdu. Daha sonra düzeç eğrileri çizdirildi. Kesin çizimden önce programın üçgenlemesine müdahale edildi. Çünkü uygun olmayan üçgenler arazi yapısını değiştiriyordu. İki programın sonuç düzeç eğrilerini değerlendirebilmek için bir programda üst üste çakıştırılması gerekiyordu. Bunu sağlamak için program yardımıyla sonuç düzeç eğrilerinin DXF uzantılı dosyaları oluşturdu.

Büyük ölçekli haritaların yapım yönetmeliğinin 155. maddesi şöyledir: "Eşyükseklik eğrisinin çizimi için ölçülmesi gerekli detay noktaları bir hektarlık alana uygun dağılımda en az 25 tane düşecek sıklıkta olmalıdır". Tanımdan anlaşılacağı üzere düz arazi en az 20 m aralıklı arazi ölçümüyle alınması gerekir. Dağlık ve engebeli alanlar için nokta sıklığının ortalama 15 m olarak alınması mantıklıdır. Nokta sayısı değişiminin programda, üçgenlemeyi ve enterpolasyonu nasıl etkilediğini görebilmek için nokta sayısı 904'e azaltılarak programlara göre tekrar yeni ham veri kütükleri oluşturuldu. Bu dosyayı oluşturan noktaların yoğunluğu Şekil 6.3 görülmektedir. Alım noktaları arası ortalama 15 m dir. Sonuç düzeç eğrisi dosyalarının DXF uzantılı dosyaları tekrar oluşturuldu. Daha sonra karşılaştırma yapabilmek için dosyalar üst üste çizdirildi. Şekil 6.4 klasik metotla NetCADD programının karşılaştırılması, şekil 6.5 klasik metotla NetCADD programının karşılaştırılması büyütülmüş olarak, şekil 6.6 klasik metotla EGHAS programının karşılaştırılmasıdır.



Şekil 6.1 Klasik metotla enterpolasyon yapılmış topoğrafik harita

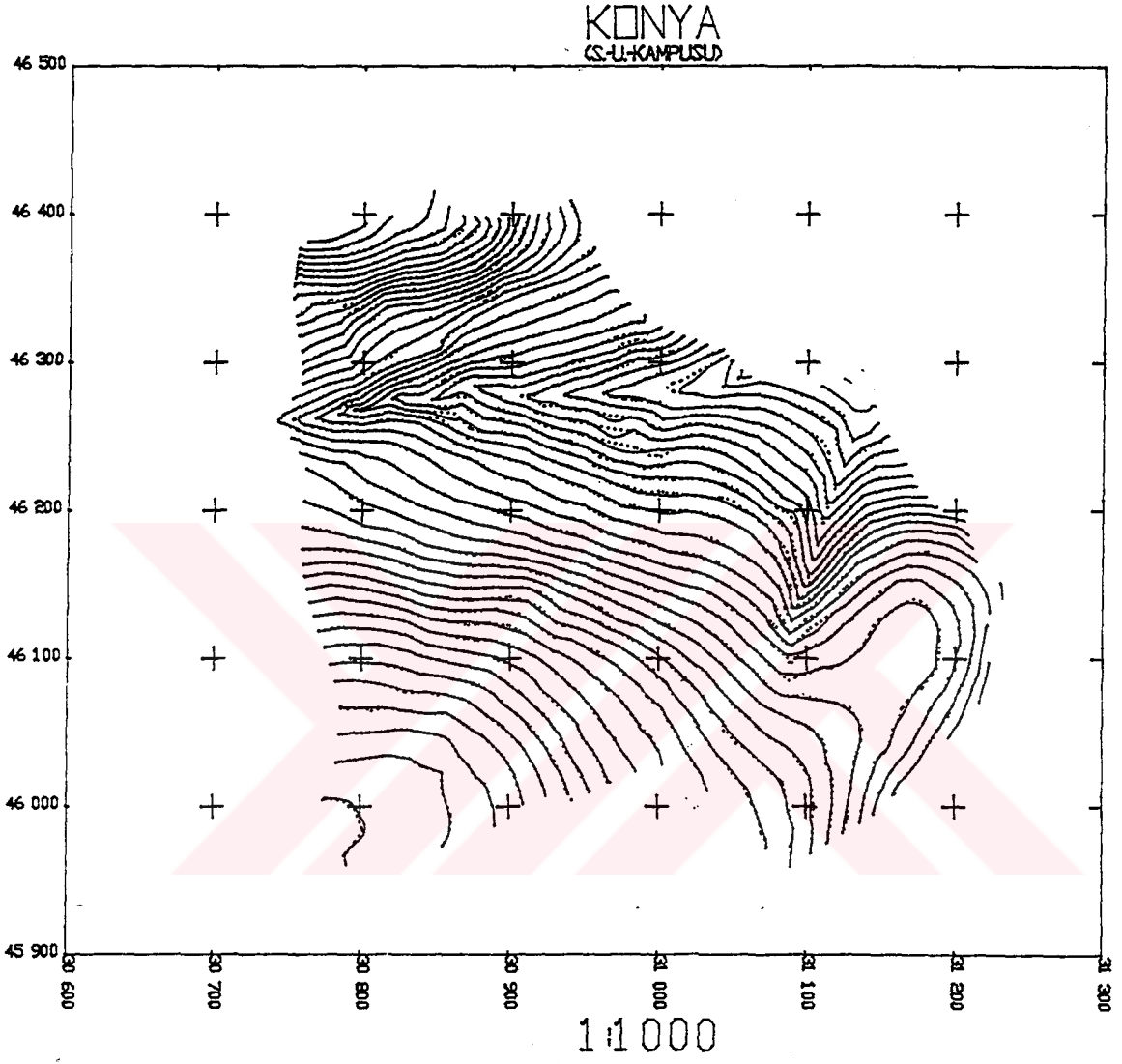


Şekil 6.2 Test alanında nirengi ve poligonların gösterimi

Selçuk Üniversitesi Test Alanı

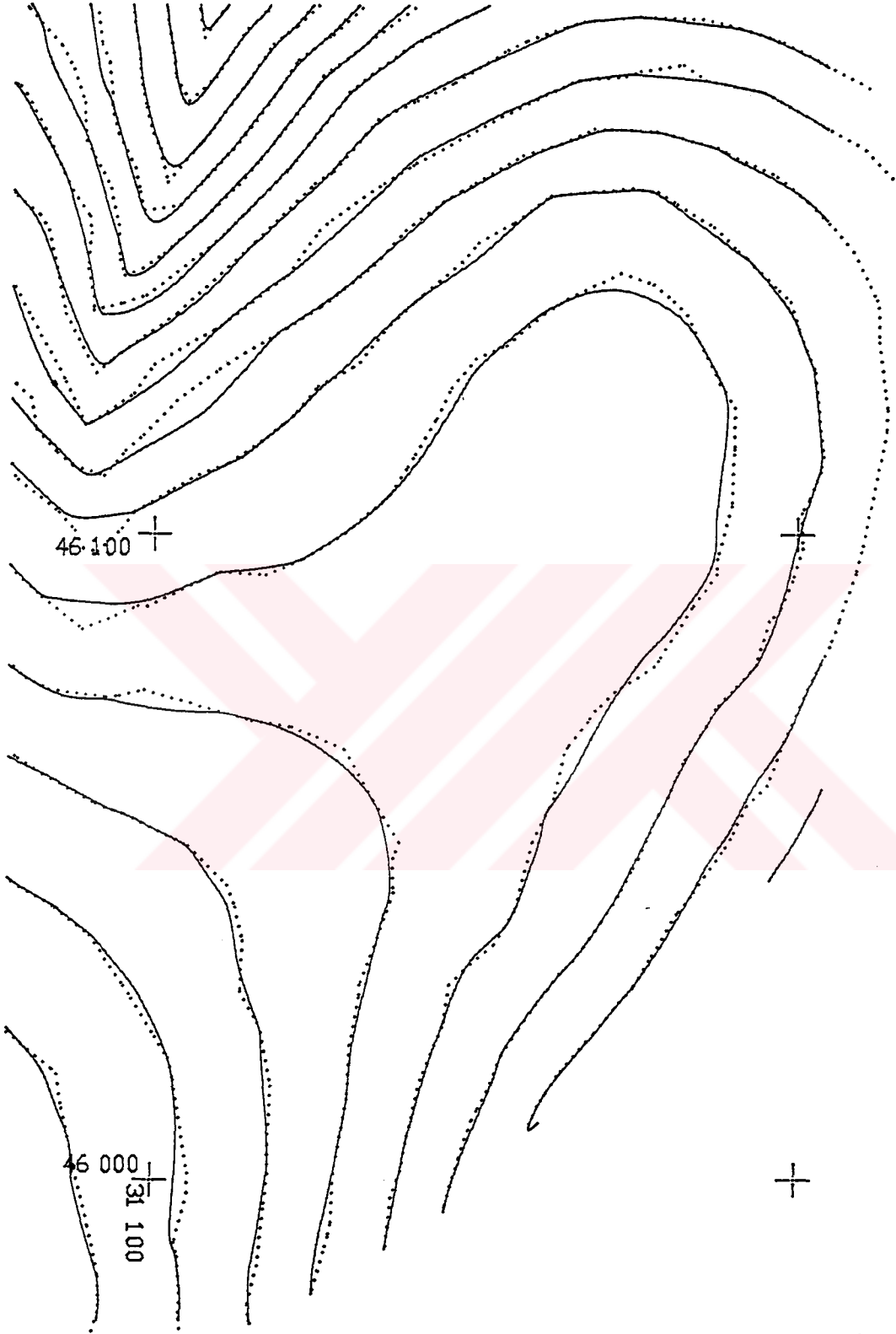


Şekil 6.3 Test alanı için seyrekleştirilmiş nokta dökümü



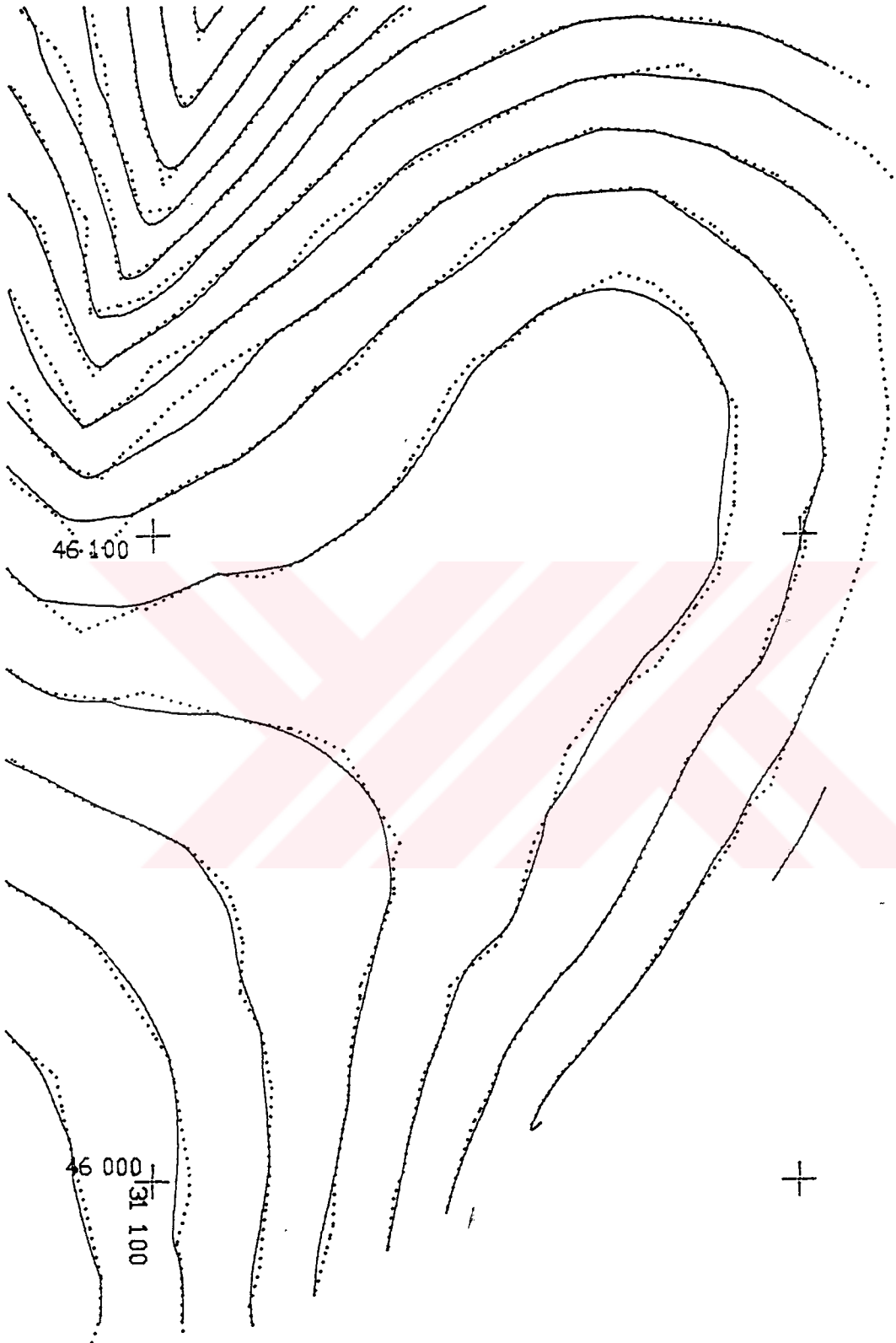
Şekil 6.4 Klasik metotla NetCADD programı düzeç eğrisi karşılaştırması

Selçuk Üniversitesi Test Alanı



Şekil 6.5 Klasik metodla NetCADD programı düzeç eğrisi karşılaştırması büyütülmüş gösterim. (--- çizgi klasik metodla oluşturulan düzeç eğrisini göstermektedir.)

Selçuk Üniversitesi Test Alanı

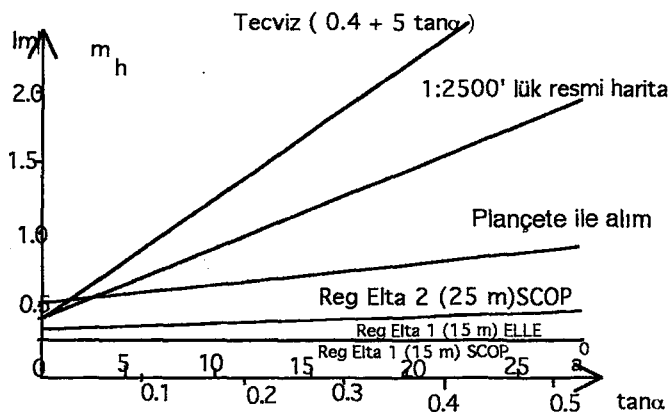


Şekil 6.6 Klasik metolla EGHAS programı düzeç eğrisi karşılaştırması büyütülmüş gösterim. (.... çizgi klasik metolla oluşturulan düzeç eğrisini göstermektedir.)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çizdirilen yükseklik eğrilerinin karşılaştırması iki tarzda düşünülmelidir. Yükseklik eğrileri çizgilerinin kesin değeri (düzeç eğrisi haritasının doğruluğu), düzeç eğrisi çizgilerinde tasvir edilen morfolojik özellikler ve küçük detayların doğruluğu araştırılmalıdır. Malesef, detayların nekadarı gösterileceğine dair tüm kartoğraflar arasında önemli bir fikir birliği yoktur. Düzeç eğrisinin morfolojik doğruluğunu ölçmek veya tanımlamak için açık bir ölçü yoktur.

Takeometrik yer ölçmesi Topcon GTS-4 ile arazi noktalarının ortalama 10 m lik geliş güzel alımına dayandırılmıştır. Bu alım tüm morfolojik özellikleri gösterebilmektedir. Enterpolasyon kontrol amaçlı 10 m lik ortalama alım pratikte uygulanmayacak kadar çok sıklıktadır. Otomatik enterpolasyon ile elle enterpolasyonun karşılaştırılması düşünülmüştür. Her iki düzeç eğrisi çizimi hakikatte mantıklıdır. Morfolojik özellikler arazide düşünüldü ve direk krokisi çizildi. Bu arazi ölçmecisinin tecrübesine ve kabiliyetine dayanan subjektif değerlendirmedir. Aynı sayıda kontrol noktası kullanarak çizdirilen düzeç eğrileri üst üste çakıştırıldığında hiç bir fark görülmemiştir. Bunun sebebi nokta yoğunluğunun çok fazla olması ve arazinin iyi tanımlanmasıdır. Pratikte bu kadar sık alım yapılmaz. Alım seyrekleştirildiğinde, bir kaç yerde çok az farklılık görülmüştür. İki düzeç eğrisi arasındaki sapma su toplama çizgilerinin olduğu bölgededir. Bunun sebebi sapmanın olduğu bölgelerin kayalık zemin olması, noktalar seyrekleştirildikten sonra enterpolasyona etkisinin azalmasıdır. Oluşan çok küçük farklılıklar yumuşatma yapıldıktan sonra büyümüştür. Klasik harita yapımı ile NetCADD yazılımı şekil 6.5 de gösterilmiştir. Klasik harita yapımı ile EGHAS yazılımı şekil 6.6 de gösterilmiştir. Daha az yoğunlukta ölçülmüş arazi noktalarının etkileri Stuttgart üniversitesinde yapılan araştırmada elde edilen sonuçları desteklemektedir Şekil 7.1 (Ackerman 1978).



Şekil 7.1 Arazi eğiminin bir fonksiyonu olarak arazi ölçmelerinden elde edilen düzeç eğrileri çizgilerinin yükseklik doğruluğunu gösterir.

Düzeç eğrisi oluşturabilmek için kontrol noktalarından yararlanılarak kare ağı (grid) veya üçgenleme yapılabilir. İncelenen programlarda üçgenleme metodları kullanılmıştır. Üçgenleme metodunun avantajları veya dez avantajları şöyle sıralanabilir;

- Ek olarak alınan kontrol noktaları yardımıyla morfolofik yapıyı daha kolay yakalayabilir ve enterpolasyona dahil edilebilir.

- Enterpolasyon, kontrol noktalarının aynısı kullanılarak yapılmaktadır. Bu nedenle veri kaybı yoktur.

- Kontrol noktalarının haricinde, bilgilerin depolanması gerekmez.

- Üçgenleme algoritmaları karışıktır. Tek bir üçgenleme metodu yardımıyla morfolojik yapıyı yakalamak zordur.

- Algoritmanın yanlış üçgenleme yapması durumunda arazi yapısı değişebilmektedir.

- Bu metotta oluşturulacak üçgenin minimum ve maksimum boyutları verildiği için, arazi gerçeğe daha yakın olarak tanımlanabilmektedir.

- Üçgenleme oldukça hızlı oluşturulabilmektedir.

Mutlaka, optimum çözüm için enterpolasyon yöntemleri üzerinde çalışma yapılmalı, uygun enterpolasyon yöntemleri arazi tiplerine göre belirlenmelidir. Enterpolasyon yöntemi ile ilgili olarak tavsiyeler;

- Bahsedilen enterpolasyon yöntemleri içinde en iyi sonuçları, multikuadrik enterpolasyon, kayan yüzeylerle enterpolasyon ve bilineer enterpolasyon vermektedir.

- Bilineer enterpolasyon bilgisayar zamanı ve doğruluk birlikte düşünüldüğünde daha verimlidir.

- Enterpolasyon metodlarını uygulayabilmek için bilineer enterpolasyon da daha az belleğe ihtiyaç vardır.

- Nokta sayısının artması durumunda SAM' ın doğruluğunun yanında işlem süresi de artmaktadır (Aydemir, 1982).

Özetlenen bilgiler ışığında bilineer enterpolasyon en uygunu gözükmektedir.

Yükseklik eğrilerinin iki program içinde aynı çıkması ve klasik metodla çakışması;

Programların kullandıkları üçgenleme metodlarının ve enterpolasyon yöntemlerinin aynı olduğu görülmektedir.

Sayısal düzeç eğrisi enterpolasyonunun yüksek doğruluk kabiliyetini göstermektedir. Yüksek kalitede kartoğrafik düzeç eğrisi çizgileri elde edileceği doğrulanmıştır. İki ayrı nokta yoğunluğu ile arazinin iyi tasvir edildiği sonucuna varılmıştır.

Doğruluk sonuçları, büyük ölçüde uygun veri elde edilmesine bağlıdır. Kaydedilen arazi noktalarının ortalama yoğunluğu ile düzeç eğrisi doğruluğu arasında lineer bir ilişki vardır. Düzeç eğrileri ile gösterilecek olan yerel arazi özellikleri ile gerekli doğruluğun ilişkilendirilmesi açıkça belirtilmemiştir.

Üçgenlemede, matematik modelden tam doğru olarak üçgenleme yapması beklenemez. Bu nedenle, programların üçgenleri düzeltmeye izin vermesi bir avantajdır. Bugün mevcut olan daha sonra yazılacak olan SAM yazılımlarının veri saklama yöntemleri aynı olmalı birbirleri ile veri alışverişleri olabilmelidir. Üretilen topoğrafik haritalar sayısal olarak saklanmalıdır.

Arazi iyi tasvir edilebilirse en basit enterpolasyon yöntemi ile dahi yeterli doğruluğa ulaşılabilmektedir. Bu nedenle araziyi iyi tasvir edebilme yöntemleri pratikte geliştirilmelidir.

Arazinin iskeletini oluşturan yapı ayrıca kiroki tutularak alınmalı ve arazi ölçülen kontrol noktaları ile birleştirilmelidir. Bu fotogrametrik ve yersel ölçme yöntemlerinde sonuç düzeç eğrisini %40 ile %60 oranında iyileştirmektedir (Li 1994).

SAM verileri ile sayısal çalışıp, elde edilen düzeç eğrisinin grafik olarak saklanması için bir faydası yoktur. SAM verileri tescil edilirken mutlaka sayısal olarak manyetik ortamda alınmalıdır.

Programlarda standartlaşmaya gidilmelidir. SAM verileri herhangi bir editor de görülebilmelidir.

SAM'ın istenilen doğrulukta olabilmesi ve ilerideki ihtiyaçlara cevap verebilmesi için teknik yönetmeliğinin olması gerekir.

8.KAYNAKLAR

- Ackermann, F.,1979 " The Accuracy Of Digital Height Models". Proc., 37th Photogrammetric Week, University of Stuttgart, S. 113- 143..
- Aydemir, S., 1982, "Sayısal Arazi Modelleri ve Enterpolasyon Yöntemlerinin Doğruluğu" Master Tezi, Trabzon.
- Cryer,Janathan D. 1986 Time Series analysis, Boston. Duxbury Press, s.286.
- Emshoff,James R.,Sisson,Roger L., 1970 "Design and use of computer simulation models". Newyork Macmillan, s.320.
- Evans, R. 1972 " Air Photographs For Soil Survey In Low-Land England". Phot. Record s. 302-322.
- Frederiksen, P. 1986 " Optimal Sample In Digital Elevation Models", Washington, Phot. Eng. and Remote Sensing vol 26, Part 3/1, s. 252-259.
- Frederiksen, P.,1980 "Terrain Analysis And Accuracy Prediction By Means Of The Fourier Transformation", Amsterdam, Photogrammetria. Bd. 23, b4 S 284-293.
- Güler, A., 1978 "Sayısal arazi modellerinde enterpolasyon yöntemleri", Ankara, Harita Dergisi, sayı 87, s.53-70
- Güler, A., 1984 "Sayısal arazi modellerinde iki enterpolasyon yöntemi ile denemeler" Harita ve Kadastro Dergisi s.98-117.
- Kennie,T.J.M., Petrie G.,1989 "Engineering surveying technology" Glosgow, London. Blackie, s.485.
- Koyuncu. D., 1981 "Sayısal Arazi Modelleri" Harita Dergisi, Temmuz, Sayı 87, s. 51- 61.
- Kübik, K. ve Botman, A. 1976 " Interpolation accuracy for topographic and geological surfaces" ITC J., 1976(2) S 236-274.
- Kraak, M. J., 1990 "Three- Dimensional Cartographic Considerations Related to the Visualisation of Digital Terrain Models " XIX International Congress Helsinki, Finland.
- Ley, R. 1986 "Accuracy Assesment Of Digital Terrain Models". proceedigs, Auto Carto London, s. 455-464.
- Li, Z., 1991 " Effects of Check Point On The Reability of DTM Accuracy Estimates Obtained From Experimental Tests" Washington, Phot. Eng. and Remote Sensing vol 57, No.10, s.1333-.1340.
- Li, Z., 1991 " Variation of The Accuracy of Digital Terrain Models With Sampling Interval" Photog Record, 14(7a), s113-128.
- Li, Z., 1994 "A comparative study of the accuracy of digital terrain models (DTMs) based on various data models " Photogrammetry and Remote Sensing, cilt 49, sayı 1, s.2-11.
- Macarovič, B. 1972 " Information Transfer in Construction of Data From Sampled Data". Amsterdam, Photogrammetria, 28(4), s. 111-130.

Macarovič, B.,1979 " Transfer Function of Interpolation Methots". Geo- Processing. I. Amsterdam.

Mandelbrot, Benoit B.,1983 " The fractal geometry of nature". San Francisco:W. H. Freeman, s.468.

Mark, P.,1975 "Systematic Comparator Errors - Mathematical Description And Influence On Block Triangulation". München. Veröff. DGK Reich B, Nr. 214. s. 38-42.

Miler ve Laflamme 1958. " The Digital Terrain Model- Theory and Application". Washington Photogrammetric Engineering s.433- 442.

Özer, H. 1989 "Sayısal Arazi Modelleri Oluşturma Yöntemleri", Ankara, Harita Dergisi, Ocak, sayı 102.

Rivett, Patrick 1972 "The Constraction Of Models For Decision Analysis" . Prencibles of model building, London, Newyork, Willey s.141.

Saaty,Thomas L., Alexander, Joyce M., 1981 " Thinking with models".Mathematical models in the physical, biological and social science Oxfort, Newyork, Pergamon Press s.181.

Stamp L. Dubley, Beaver,Stanley H.,1971 "A Geographic And Economic Survey" The British Isles London, Longman s.21

Temfli, K., 1980 "Spectral Analysis of Terrain Relief For The Accuracy Estimation Of Digital Terrain Models" ITC Journal, 1980-3 s.478-510.

Torlegard, K.,1986. "A Comparative Test Of Photogrammetrically Sampled Digital Elevation Models" ,Amsterdam, Photogrammetria, 41(1) s.1-16.

Turner, H., 1977 " A Comparison Of Same Metods Of Slope Measurement From Large Scale Air Photos",Amsterdam, Photogrammetria 32(1) s. 209- 237.

Yoeli, P., 1983 "Shadowed Conturs with computer and plotter". Americin Cartographer vol. 10 No:2, s.101- 110.

1989, Büyük Ölçekli haritaların Yapım Yönetmeliği, TMMOB Harita kadastro Mühendisleri Odası, Kent Basım evi, s.101.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ