

57787

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNDE
İTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Harita Müh. Temel BAYRAK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“ Harita Yüksek Mühendisi “
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05.01.1996

Tezin Savunma Tarihi : 02.02.1996

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet KAYA 

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Gürol BANGER 

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Celalettin KARAALI 

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN 

Ocak 1996

TRABZON

F.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi, gerekse çalışmaların yürütülmesi sırasında ilgisini esirgemeyen, programlama tekniği konusunda yardımcı olan hocam sayın Doç. Dr. Ahmet KAYA' ya teşekkür etmeyi zevkli bir görev bilirim.

Yapıcı eleştirilerinden faydalandığım ve literatüre katkılarından dolayı hocam sayın Prof. Dr. Türkay TÜDEŞ' e ve programlama aşamasında boyut probleminin çözülmesinde güzel yardımlarını esirgemeyen hocam sayın Prof. Dr. Gürol BANGER' e içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması için gerekli olan dataların temininde yardımcı olan Arş. Gör. Fevzi KARSLI' ya, Mehmet ALKAN' a ve Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü Fotogrametri Dairesi Başkanlığı' nda çalışan Harita Mühendisi Salih DEMİR' e teşekkür ederim.

Trabzon, Ocak 1996

Temel BAYRAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
TÜRKÇE ÖZET	V
İNGİLİZCE ÖZET	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	IX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM)	1
1.3. SYM' ni Temsil Etme Yöntemleri	3
1.3.1. Matematiksel Parça Metodlar	3
1.3.2. Şekil Metodlar	4
1.3.2.1. Çizgi Modeller	4
1.3.2.2. Nokta Modeller	5
1.3.2.2.1. Kare Gridler	5
1.3.2.2.2. Üçgenleme	6
1.4. Verilerin Elde Edilmesi	7
1.4.1. Nokta Dağılımı ve Yoğunluğu	8
1.4.2. Yersel Ölçülerle Araziden Veri Derleme	9
1.4.3. Haritaların Sayısallaştırılması İle Veri Derleme	10
1.4.4. Fotogrametrik Yöntemle Veri Derleme	12
1.4.5. Karışık Yöntemle Veri Derleme	13
1.4.6. Veri Tabanı	14
1.5. Veri Derleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	14
1.6. Verilerin İşlenmesi ve SYM' nde İnterpolasyon	15
1.7. SYM' nden Faydalanma	19
1.7.1. SYM' nin Kullanıldığı Yerler	19
1.7.2. Arazi Modellemenin Uygulama Bulduğu Alanlar	20
1.7.3. SYM' nden Elde Edilen Ürünler	22

2.	UYGULAMA	24
2.1.	Multikuadrik İnterpolasyon ve İşlem Adımları	24
2.2.	Parça Parça Bilineer İnterpolasyon ve İşlem Adımları	30
2.3.	Uygulamada Kullanılan Testler	37
2.3.1.	Çarpıklık - Basıklık Testi	37
2.3.2.	T - Testi	38
2.4.	Uygulama Bölgesinin Seçimi ve Verilerin Elde Edilmesi	39
3.	BULGULAR	40
4.	İRDELEME	41
5.	SONUÇLAR	42
6.	ÖNERİLER	44
7.	KAYNAKLAR	45
8.	EKLER	47
9.	ÖZGEÇMİŞ	61

ÖZET

Yeryüzündeki arazi şeklinin bir sayısal temsili olarak bilinen Sayısal Yükseklik Modelleri, karmaşık yüzeylerin bilgisayar destekli modellendirilmesine yönelik bir çalışmadır. Sayısal Yükseklik modelleri gerçekte, arazinin topoğrafik yüzeyine, matematiksel tanımı yapılabilen bir yüzey yerleştirme çalışmasıdır.

Bu çalışmada Sayısal Yükseklik Modeli oluşturmada kullanılan interpolasyon yöntemlerinden; Multikvadrik ve Parça Parça Bilineer İnterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır.

İki yöntemle üretilen yüksekliklerin paftadan okunan değerlerden farkları alınarak testlere tabi tutulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılarak, Sayısal Yükseklik Modeli oluşturma çalışmalarında birbirlerine karşı sağladıkları avantaj ve dezavantajlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Sayısal Yükseklik Modelleri, Multikvadrik İnterpolasyon, Parça Parça Bilineer İnterpolasyon

SUMMARY

Comparison of Interpolation Methods in Digital Height Models

The comparison of interpolation methods which is known as a digital representative of variation of flood tide in space is a subject used in computer based modelling.

In reality the comparison of interpolation methods is a specific work a surface which its mathematical definition can be done to topographic surface of land.

In this chapter Multiquadric and Piecewise Bilinear methods are used. These methods are interpolation methods used forming comparison of interpolation model.

The codes obtained by using these two methods. They differ the values which read from map. They are tested and compared. In the end the advantages and disadvantages are examined.

Key Words : Digital Height Models, Multiquadric Interpolation, Piecewise Bilinear Interpolation

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1: SYM' nde İnterpolasyon	16
Şekil 2: Multikvadrik İnterpolasyonda Genel İş Akışı	29
Şekil 3: Parça Parça Bilineer İnterpolasyonda Normlandırma Sonucu Oluşan Koordinat Sistemi	30
Şekil 4: Parça Parça Bilineer İnterpolasyonda Genel İş Akışı	36



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1: SYM' nden Elde Edilen Ürünler	22
---	----



SEMBOL LİSTESİ

EYE	: Eşyükselti Eğrileri
SYM	: Sayısal Yükseklik Modelleri
\bar{v}	: Farklar Ortalaması
s	: Standart Sapma
v_i	: Farkların Farklar Ortalamasından Farkı
c_1	: Çarpıklık
c_2	: Basıklık
χ_o^2	: Çarpıklık - Basıklık İçin Test Büyüklüğü
χ_2^2	: Çarpıklık - Basıklık İçin Sınır Değer
s_v	: Farklar Ortalamasının Ortalama Hatası
T	: T - Testi İçin Test Büyüklüğü
q	: T - Testi İçin Sınır Değer
x,y,z	: Dayanak Nokta Koordinatları
X,Y	: Grid Koordinatları
H	: Paftadan Doğrusal İnterpolasyonla Okunan Yükseklikler
MH	: Multikuadrik İnterpolasyonla Üretilen Yükseklikler
PIH	: Parça Parça Bilineer İnterpolasyonla Üretilen Yükseklikler

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yüze model uydurma, matematiksel ifade ile; fiziksel ya da suni olarak meydana getirilmiş bir yüzeyin gösterim yöntemlerini tanımlamak için kullanılan genel bir terimdir. Arazi modelleme, Dünya yüzeyinin gösteriminin özel problemleri ile uğraşan yüzey modellemenin özel bir kategorisidir. Bilim ve teknolojinin çeşitli dallarında sürdürülen bir çok çalışmaların bir kısmı fiziksel yeryüzünün sayısal olarak modellendirilmesine yöneliktir. Karmaşık yüzeylerin bilgisayar destekli modellendirilmesine yönelik çalışmalar 1970' li yıllarda başlayıp günümüzde daha da artan bir önemle devam etmektedir.

Bu amaçla Sayısal Arazi Modeli çalışmaları ilk kez 1950' li yıllarda Boston' da (U.S.A) Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde Prof. Miller tarafından başlatılmıştır. O dönemin bilgisayarlarının sınırlı imkanlara sahip olması nedeni ile çalışmalar, kara yollarına yönelik olarak en, boy kesitlerinin hesap ve çizimlerinin yapılması gibi dar bir uygulama alanı içinde kalmıştır.

İlk olarak yapılan bu çalışmaya paralel olarak, değişik ülkelerde de aynı çalışma farklı isimlerle yapılmıştır. Bu konuda ilgili terimler; Digital Terrain Model (DTM) "Sayısal Arazi Modeli", Digital Elevation Model (DEM) "Sayısal Yükselme Modeli", Digital Ground Model (DGM) "Sayısal Yer Modeli ", Digital Height Model (DHM) "Sayısal Yükseklik Modeli " dir. Pratikte bu terimler birbirlerinin yerine kullanılmaktadır.

Genelde aynı prosedürü ihtiva etmelerine karşın, DEM ve DTM terimleri Amerika' da, DHM terimi Almanya' da ve DGM terimi ise İngiltere' de yaygın olarak kullanılır [1].

1.2. Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM)

Arazi yüzeyi eşyükseklik eğrileriyle (EYE) temsil edilir. EYE' ler iç içe, kapalı poligon kümeleri gibi düşünülebilir. EYE kümeleri sürekli değişen bir yüzeyin gösterimi için çok uygun olmalarına rağmen özellikle sayısal çözümleme veya modelleme için uygun değildirler. Bu sebeple uzaydaki bir özneliğin (genellikle yükseklik) sürekli değişikliği

hakkındaki bilgiyi etkili olarak kullanabilmek ve onu temsil edebilmek için diğerk başka metodlar geliştirilmiştir.

SYM , arazinin topoğrafik yüzeyine, matematiksel tanımı yapılabilen bir yüzey yerleştirme problemidir. Üç boyutlu koordinatları ile tanımlanmış olan örnekleme noktalarına dayanılarak yapılan bu yüzey yerleştirme işlemi ile oluşturulan modelden, daha sonraki aşamalarda, arzu edilen sıklıkta yeni noktalar belirlenebilir ve üretilen bu yeni değerlerden değişik amaçlar için yararlanılabilir.

SYM' ler yüzey modelleme için orjinal bir biçimde geliştirilmelerine rağmen iki boyutlu bir yüzey üzerindeki herhangi bir z özniteliğinin sürekli değişiminin modelini yapmak için de kullanılabilir [2].

SYM, bugün için bir çok ülkede ve büyük bir çeşitlilik içinde bulunmaktadır. Bu çeşitlilik ; örneğin , gravite ölçmelerine düzeltme getirme amacıyla oluşturulmuş çok düşük duyarlıktaki modellerden, yol güzergahı çalışmaları için üretilmiş çok yüksek duyarlığa sahip modellere kadar geniş bir yelpaze içinde yer almaktadır [3].

Ulusal harita üretim kuruluşları tarafından standart bir ürün niteliğinde sunulan SYM, genellikle EYE' lerin sayısallaştırılmasından türetilmiştir. 1/25.000 veya 1/50.000 ölçekli temel harita serilerine ait EYE' ler bu çalışmalara altlık oluşturmuştur.

SYM için işlem süreci üç adımda gerçekleşir. Bu adımlar

1. Verilerin Elde Edilmesi
2. Verilerin İşlenmesi
3. Uygulama

işlemleridir [4].

Verilerin elde edilmesi adımında topoğrafik yüzeyin yeterli incelikte temsil edilebilmesi için yeterli sayıda koordinatları bilinen noktalara ihtiyaç vardır. Bu noktalara *örnekleme* ya da *dayanak noktası* adı verilir. Bu noktaların koordinat bilgileri herhangi bir şekilde elde edilerek bir kayıt ortamında saklanır.

İkinci adımda; toplanan bilgilere değişik testler uygulanarak verilerin kontrolü, gerekirse uygun olmayanların ayıklanması, istenilen sayıda yüksekliği bilinen yeni noktaların üretilmesi ve uygun bir fonksiyonla interpolasyon işleminin uygulanarak modelin elde edilmesi işlemi yer alır.

Üçüncü adımda oluşturulan SYM' den kullanıcının isteğine göre değişik şekillerde faydalanılır. Bu şekillerin aslında SYM' nin bize sunduğu ürünler olduğunu söyleyebiliriz.

1.3. Sayısal Yükseklik Modellerini Temsil Etme Yöntemleri

Bir alandaki yüzey yüksekliğinin değişiklikleri çeşitli şekillerde modellenebilir. SYM ya matematiksel olarak tanımlanmış yüzeylerle ya da nokta veya çizgi şekillerle temsil edilebilir [2].

1.3.1. Matematiksel Parça Yöntemler

Matematiksel metodlarla yüzey yerleştirme, karmaşık şekilleri temsil etmeye uygun olan sürekli fonksiyonlara bağlıdır. Matematiksel fonksiyonlar kartoğrafyadan çok az ilgi görmüştür. Fakat bu tür fonksiyonlar yaygın olarak kompleks yüzeylerin modellenmesi için bilgisayar destekli tasarımlarda kullanılır. Matematiksel parça metodlarda üç farklı yaklaşım söz konusudur.

1. Tüm yüzeyi aynı anda kapsayan tek bir fonksiyonla interpolasyon

Bu yaklaşımda tüm yüzeyi temsil eden $z=f(x,y)$ fonksiyonu aynı anda tüm dayanak noktaları kullanılarak belirlenir. Bu metoda ;

- . Multiküadratik
- . Lineer En Küçük Kareler
- . Çift Fourier Serileri

örnek olarak gösterilebilir.

2. Parça Parça Polinomlarla İnterpolasyon

Bu yaklaşımda yüzey parçalara bölünür ve her bir parça bir fonksiyonla temsil edilir. Ancak bu durumda parçaların sınırları boyunca süreksizlikler ve çatlaklar ortaya çıkabilir. Bunu düzeltmek için parçaların sınırları boyunca düzgünlüğü sağlayıcı birleştirme koşulları kullanılır.

- . Lineer İnterpolasyon
- . Sonlu Elemanlar Yöntemi
- . 8 Katsayılı Bikuadratik Polinom
- . 12 Katsayılı Kübik Polinom
- . 16 Katsayılı Kübik Polinom

gibi metodlar bu yaklaşıma örnek teşkil ederler.

3. Nokta Nokta İnterpolasyon

Bu yaklaşımda ise yüksekliği bulunacak noktayı çevreleyen kritik daire veya karenin içinde kalan dayanak noktaları kullanılır. Dolayısıyla interpolasyon fonksiyonunun katsayıları noktadan noktaya değişir. Bu yöntem daha fazla hesabı gerektirmesine karşın esnekliği artırır. Bu metoda aşağıdaki yaklaşımlar örnek olarak gösterilebilir.

- . Ağırlıklı Ortalama
- . Kayan Yüzeylerle
- . Lineer Prediksiyon
- . En Küçük Arazi Parçalarındaki Polinomlar

Yukarıda interpolasyon yöntemleri için bir sınıflama yapılmıştır. Aslında bunların kesin bir sınıflamasını yapmak oldukça güçtür. Bazı interpolasyon yöntemleri birden fazla guruba girebilmektedir [5].

1.3.2. Şekil Metodları

1.3.2.1. Çizgi Modeller

Arazinin en yaygın çizgi modelleri hipsometrik eğrileri tanımlayan EYE kümeleri tarafından sağlanır. Profiller genellikle eğim analizleri, ortofoto harita yapımı ya da blok

diagramlar için kullanılan türemiş bir üründür. EYE' ler mevcut haritalarda çizili bulunduğu için SYM için veri kaynağıdır ve scanner' lar kullanılarak bu eğrileri otomatik olarak sayısallaştırmak için fevkalade uğraşlar verilmiştir. Maalesef sayısallaştırılmış yükselti eğrileri özellikle eğim hesabı ya da gölge kabartma model yapımı için uygun değildir ve bu sebeple genellikle kare grid gibi bir nokta modele çevirilirler.

1.3.2.2. Nokta Modeller

1.3.2.2.1. Kare Gridler

SYM' nin en yaygın şekli kare gridler ya da stereoskopik hava fotoğraflarından analitik stereo-plotter' larla değerlendirilmiş nicel ölçülerden elde edilen dikdörtgen şeklinde gridlerdir. Kare gridler düzenli veya düzensiz sıralanmış veri noktalarından interpolasyon vasıtası ile üretilebilirler.

Özellikle grid esaslı Coğrafi Bilgi Sistemlerinde matrislerin bilgisayarlarda idare edilmesi kolay olduğu için kare gridler SYM' nin en çok kullanılan formu olmuştur [2].

Kare gridler EYE' nin, eğim açılarının hesabı için, görünüm ve gölgeleme için faydalı olmasına rağmen düzenli grid sistem dezavantajsız değildir. Örnekleme zamanı veri bolluğu problemi "progressive sampling" 'in uygulaması tarafından büyük ölçüde çözülmüştür. Bununla birlikte, sürekli olarak değişen yükseklik yüzeyi çizgisel haritalarla kullanılabilen gridlenmiş veriyi saklamak için geliştirilmiş formların hiç birinde kolayca kodlanamadığından data fazlalığı veri depolamada devam eder.

Kare gridler tepeler, çukurlar, geçitler, dağ sıraları ve akarsu yönleri gibi arazinin bütün kritik özelliklerini temsil edebilmek için çok kaba olabilir. Düzgün aralıklı bir raster' da kırık çizgiler ya da arazi yapısını gösteren çizgilere ait bilgiler bulunmaz. Bunlar ancak raster çizgileri ile kesim noktalarının özel olarak depolanmasıyla dikkate alınabilir. Bu ise hiçte kolay sayılamayacak ek çalışma ve bellek gereksinimi doğurur [6].

Başka açılarda hesaplamalar doğru mesafe ve açıları bulmak için trigonometrik hesapları gerektirirken, eksenlerin yöneltmesi basit bir satır veya sütun araştırmasına indirilebilmesi için grid çizgilerine paralel yön boyunca bütün hesaplamalara müsaade eder.

Yine de bu dezavantajlara rağmen kare gridler SYM'nin en kolay şekilde elde edilebilir formudur.

İnterpolasyon hesap tekniği bakımından çok basit organize edilebilmesi ve grid düğüm nokta yüksekliklerinin kolay bir şekilde depolanması olanağı bu yöntemin en önemli üstünlüklerindedir.

Yol, inşaat ve madencilik alanına yönelik çalışmalarda, iki durumu (söz gelimi kazıdan önceki ve sonraki durumu) gösteren SYM' de raster ağının aynı düğüm noktalarını seçmek mümkündür. Bu nedenle hacim hesaplarında önem kazanan aynı noktalardaki eski ve yeni yükseklik değerleri kolaylıkla hesaplanabilir.

1.3.2.2.2. Üçgenleme

Üçgenleme; kare gridlerin fazlalıklarından kaçınan ve aynı zamanda yalnızca sayısallaştırılmış EYE' lere dayandırılan sistemlerden hesaplamının bir çok çeşidi (eğim gibi) için daha etkili olabilen SYM için tasarlanmış bir sistemdir.

Kare gridlere benzemeyen üçgenleme, basit kabartma alanlarından toplanacak gerekenden fazla veri miktarı için ihtiyacın dışında karmaşık kabartma alanlarında toplanacak fazladan bilgiye müsaade eder. Dayanak noktalarının rastgele dağılmış olması üçgenlemede bir sorun çıkarmaz. Bu durum dayanak nokta ölçümünü kolaylaştırır. Özellikle rastgele dağılmış noktalarda en uygun çalışma olanağı sağlandığından fotogrametrik ve yersel ölçümlerle ya da grafik bilgilerin sayısallaştırılmasından elde edilen veriler herhangi bir işleme gerek kalmaksızın kullanılır.

SYM' nin depolanması için bellek gereksinimi kare grid yöntemine göre daha azdır. Üçgenleme ve interpolasyon için gerekli zaman dayanak noktalarının sayısına bağlı olarak artar. Üçgenleme koşullarına bağlı kalınmalıdır. Aksi halde sonuçlar gerçeği görmekten uzaklaşır. Organizasyon kare grid yöntemine göre daha karmaşıktır. Fakat günümüzde modern ve büyük kapasiteli bilgisayarların varlığı bu problemi çözmektedir.

Üçgenleme manuel sayısallaştırma vasıtasıyla toplanmış verilerden ya da otomatik ortofoto makinalar yardımıyla toplanmış yoğun kare grid verinin üçgenlemesi ve otomatik nokta seçiminden oluşturulabileceği kanıtlanmıştır . Üçgenleme yapısının eğim haritaları, EYE haritaları, profiller, blok diyagramlar ve görüş haritalarını üretmek için kullanılabilir [2].

1.4. Verilerin Elde Edilmesi

SYM için gerekli olan zamanın büyük bir bölümü genellikle veri toplama aşamasında harcanır. SYM' nin doğruluğu büyük ölçüde verilerin toplanması işlemine bağlıdır. SYM için gerekli verilerin toplanması işlemine örnekleme denir. Örnekleme işlemiyle x , y , z koordinatlarıyla bilinen noktalar belirlenir.

SYM için veri derlenirken değişik yöntemler uygulanır ve farklı altlıklar kullanılır. Veriler aşağıdaki şekillerde elde edilebilir :

1. Yersel Ölçülerle Araziden
2. Haritaların Sayısallaştırılmasıyla
3. Fotogrametrik Yöntemlerle
4. Karışık Yöntemle
5. Veri Tabanı ile

Oluşturulan SYM' nin topoğrafik yüzeyi en iyi şekilde temsil edebilmesi beklenir. Bu koşul da ancak örnekleme noktalarının isabetli seçimine ve uygun noktalarda yeterli sayıda olması ile gerçekleşir. Örnekleme nokta sayısının az olması işlem sürecini azaltır. Noktaların dağılımı, nokta yoğunluğu, örnekleme biçimi, donanım ve örnekleme kontrolü veri seçimini etkileyen önemli unsurlardır. Zaten noktaların topoğrafik yüzeyi neresinde ve hangi sıklıkta olması gerektiği konusu, SYM düşüncesinin en önemli karar aşamalarından biridir. Topoğrafik yapının özellikleri, örneklemede kullanılan kayıt yöntemleri, SYM' nden beklenen doğruluk ve uygulanacak interpolasyon yöntemine bağlı olarak örnekleme dağılımı ve yoğunluğu değişecektir.

Her veri kaynağına özgü çeşitli örnekleme yöntemlerinin belirlendiği örnekleme dokuları mevcuttur. Bunlar ;

- . EYE' lerin,
- . Kesitlerin,
- . Gridlerin,
- . Morfolojik Çizgi ve Noktaların

belirlediği biçimdedir. Genel olarak fotogrametride ve topoğrafik haritalardaki sayısallaştırılmış örnekleme dokusu EYE' ler düzenindedir. Yersel ölçmelerde ise örnekleme dokusunu morfolojik çizgiler ve noktalar belirler. Amaca uygun olmayan bir örneklemenin yaratacağı eksiklikleri hiçbir interpolasyon yöntemi karşılayamaz [7].

1.4.1. Nokta Dağılımı ve Yoğunluğu

Arazi gösterimi için ölçülen doğruların yatay konumları bir nokta dağılım biçimidir. Örneğin fotogrametrik yöntemde EYE' ler, kesitler, gridler ve morfolojik çizgiler boyunca olabilir. Yersel ölçümlerde ise daha önce belirtildiği gibi, morfolojik çizgiler ve noktalar biçimindedir. Düzgün kesitlerde örnekleme yapmak operatöre yatay konumlarda düzgün bir izleme imkanı tanır ve veri kütüğünün düzgün tutulmasını sağlar [8].

Morfolojik çizgilerle yapılan örnekleme az sayıda nokta alınmasına izin vermesine karşın arazinin görsel yorumuna ve örnekleme işlemi sırasında operatörün elle kontrolünü gerektirir. Eğer SYM' nin başlıca çıktısı EYE' ler olacaksa doğrudan sayısallaştırılmaları daha uygundur. Diğer bir dağılım biçimiyle morfolojik çizgilerin birleştirilerek kullanılması, verilerin araziye kapsamlı olarak göstermesindeki etkinliği arttırabilir ve örnekleme uğraşını azaltabilir.

Bu örnekleme dağılım biçimini; SYM' nin amacı, arazinin tipi ve mevcut donanım gibi etkenler etkileyebilir. Amaç EYE' ler ise örnekleme EYE' ler boyunca yapılır. Eğer arazi engebeli ise morfolojik çizgiler boyunca sayısallaştırma yapmak gerekir.

SYM' yi oluşturmanın en önemli kavramlarından birisi de nokta yoğunluğudur. Değişik örnekleme yöntemlerinde iki durum söz konusudur. Araziyi yeterince temsil edecek şekilde en az noktanın örneklenmesi durumunda, nokta seçiminin ve ölçümlerin yapılması oldukça özen gerektirir. Arazinin gerekenden daha çok noktayla temsil edilmesi durumunda gereksiz bilgilerin ayıklanması yapılacaktır. Bu durumda noktaların örnekleme doğruluğu diğerine göre daha az olacaktır.

Gereken sayıda nokta ile örneklemede, arazi temsilinin doğru ve yeterli olmasına karşın, jeomorfolojik açıdan anlamlı olan bir çok ayrıntı kaybolabilir. Bundan dolayı özellikle kesitler boyunca örneklemelemlerde çok nokta alınması daha iyi sonuçlar verecektir.

Nokta yoğunluğu üç şekilde belirlenebilir. Bunlar;

- . Önceden Belirlemek,
- . Sürekli Ayarlama,
- . Birleşik Yöntemler

dir [8].

Önceden belirleme yöntemi ile nokta yoğunluğu örneklemeden önce belirlenir. Bu da örnekleme işlemini kolaylaştırır. Eğer nokta yoğunluğu çok küçük arazi yüzey biçimlerine uydurulursa çok fazla sayıda veri elde edilecektir. Aksi durumda küçük yüzey biçimleri tekrar elde edilemez ve hatalar oluşabilir. Nokta yoğunluğunu önceden belirleyebilmek için engebe karakteristikleri hakkında bilgi sahibi olunması ve istenilen doğruluğun bilinmesi gerekir.

Sürekli ayarlama yöntemi ile nokta yoğunluğu örnekleme sırasında arazi karakteristiklerine göre ayarlanabilir. Ayarlama ya subjektif ya da objektif olmalıdır. Nokta yoğunluğunun subjektif ayarlanmasına örnek olarak morfolojik noktalarda yapılan örnekleme gösterilebilir. Operatör stereo modeli görsel olarak tarar, engebeleri yorumlar ve hangi noktaları seçeceğine karar verir. Nokta yoğunluğunun objektif ayarlanması ise adım adım olup önceden belirlenen bir gridde ölçüler yapılarak gerçekleştirilir. Verilerin sayısal analizi yapılarak ek noktaların ölçülüp ölçülmeyeceğine karar verilir. Gerekirse ek ölçüler yapılır. Buna örnek olarak geliştirerek örnekleme (progressive sampling) yöntemi gösterilebilir.

Birleşik yöntemler sürekli ayarlama ile önceden belirleme yöntemlerinin birlikte kullanılmasıdır. Örneğin kesitlerin veya EYE'lerin aralığı önceden belirlenebilir. Sürekli ayarlama EYE'ler boyunca yapılabilir.

1.4.2. Yersel Ölçülerle Araziden Veri Derleme

Bu yöntem özellikle, arazi yapısının ağaçlık veya bitkilerle örtülü olduğu küçük alanlar için elverişlidir. Veriler jeodezik yöntemlerle doğrudan araziden alınır. Örnekleme noktalarının alımları takeometrik, prizmatik, elektro-optik ya da elektronik olarak yapılır.

Örnekleme noktalarının dağılımı ve yoğunluğu nokta alımı sırasında belirlenir. Topoğrafyanın değiştiği yani süreksizliğin olduğu kısımlarda örnekleme yoğunluğu, süreklilik gösteren kısımlara göre daha fazla olmaktadır. Örnekleme noktalarının alımında kesikli yapıyı tanımlayan noktaların seçimine azami dikkat edilir.

Son yıllarda elektronik takeometrelerin kullanılmasıyla yersel ölçümler veri elde etmede önem kazanmıştır. Ölçü duyarlılığı diğer veri elde etme yöntemlerinden daha yüksektir. Elektronik takeometrelerin bünyesine ilave edilebilen kayıt birimlerine kaydedilen bilgilerin uygun bağlantılarla bilgisayara aktarılabilmesi hız kazandıran ve hata yapma olasılığını azaltıcı etkenlerdendir. Kaydedilen koordinat bilgileri değişik çalışmalarda birer dayanak noktaları olarak kullanılabilirlerdir.

Bu yöntemin ölçü doğruluğu yüksek fakat veri elde etmek için harcanan zaman fazladır [4]. Bu nedenle bu yöntem çok hassas çalışmalarda veya arazi kontrollerinde uygulanır.

1.4.3. Haritaların Sayısallaştırılması İle Veri Derleme

Bu yöntemde veri derlemek için altlık olarak daha önceden değişik amaçlar için hazırlanan topoğrafik ya da foto-haritalar kullanılır. Bu işlem "Grafik Bilgilerin Sayısallaştırılması" olarak da adlandırılabilir. Bu haritalar arazi üzerindeki ayrıntıları fazlasıyla yapısında bulundurduğundan arazideki değişimlerin belirlenmesinde ve sayısal modelin uygunluğunun kontrolünde kullanılabilir olması bu yöntemin avantajıdır.

Yine bu yöntemde verilerin elde edilmesi aşamasında kartoğrafik sayısallaştırıcılara ihtiyaç vardır. Böylece verilerin elde edilmesi daha da ekonomikleşir. Sayısallaştırma elle (manuel) ve otomatik (Scanner) olmak üzere ikiye ayrılır.

Sayısallaştırıcılarla haritalardan veri derleme üç şekilde gerçekleşir.

1. Nokta Nokta Ölçü
2. Sürekli Ölçü
3. Tarama

Nokta nokta ölçü ve sürekli ölçü yöntemleri manuel sayısallaştırma biçimlerindedir. Tarama ise scanner' larla yapılan otomatik sayısallaştırmadır.

. Nokta Nokta Ölçü İle Veri Derleme

Bu veri derleme yönteminde izleme başlığı örnekleme noktalarına tek tek tatbik edilerek noktaların koordinatları bilgisayar yardımı ile kayıt ortamına alınır. Örnekleme noktaları olarak parsel köşeleri, pafta köşeleri, tepeler gibi topoğrafik yapıyı ve arazinin morfolojik yapısını en iyi gösterebilecek noktalar seçilir.

. Sürekli Ölçü İle Veri Derleme

Genellikle EYE' lerin sayısallaştırılmasında kullanılan sürekli ölçü ile veri derleme yöntemi üç şekilde uygulanabilir.

- . Eşit Zaman Aralıklarıyla
- . Eşit Uzunluklarla
- . Eşit Koordinat Farklarıyla

Eşit zaman aralıklı veri derleme yöntemi EYE' lerde ideal olarak uygulanır. Sayısallaştırıcıyı kullanan operatör izleme başlığını EYE üzerinde gezdirirken yine kendisinin belirlediği zaman aralığında alet izleme başlığının üzerinde bulunduğu noktaları otomatik olarak kaydeder.

Eşit uzaklıklarla ya da eşit koordinat farklarıyla veri derleme yöntemlerinde ise örnekleme noktaları arasında belli uzaklık yada koordinat farkı olmasına dikkat edilir.

. Tarama İle Veri Derleme

Bu yöntemde otomatik tarayıcılar kullanılır. Bu işlem tamamıyla otomatik olarak gerçekleşir. Sayısallaştırılacak yüzeyde tarayıcının raster gözlerine karşılık gelen noktalara ait bilgiler otomatik olarak kaydedilir. Kaynak materyalin tüm yüzeyinin taranması ile sayısal ortamda kopyası çıkarılmış olur.

Raster taramadan sonra elde edilen veriler toplandığı raster kütük adeta bir sayısal fotokopidir. Tarama sonrası işlemler ile veriler, bilgisayarlarla işlenebilir konum verileri haline

dönüştürülür. Uygun yazılımlarla bu kayıtlardan faydalanılabilir. Bu yöntemle diğerlerinden daha fazla bilgi daha kısa bir zaman diliminde elde edilebilir.

1.4.4. Fotogrametrik Yöntemle Veri Derleme

Fotogrametri geniş alanların haritalarının yapımında kullanılan en ekonomik ve en güncel yöntemdir. Fotogrametri aletlerinin gösterdiği gelişmeler dikkate alındığında, ulaşılan hız SYM için veri derlemede kaynak olarak bu yöntemin etkinliğini ortaya koymaktadır.

Fotogrametrik yöntemlerle veri toplamada kaynak materyal olarak stereo hava fotoğrafları veya stereo-spot görüntüleri kullanılmaktadır. Donanım olarak, bir grafik çalışma istasyonu, bir mini bilgisayar; hatta kişisel bir bilgisayar olabilir; yeterlidir. Mini bilgisayar olduğunda birden fazla analitik stereo kıymetlendirme cihazını ve çevre birimlerini beraberce destekleyebilir. Bu tipik çevre birimlerine ek olarak otomatik çizim masaları, üst görüntü sistemi, ikinci bir grafik ekran, CCD kamera için optik port ve bilgisayar ağı birimleri konfigürasyona eklenebilir. İki boyutta hareket eden fotogrametrik cursor yerine x,y hareket çarklarında kullanılabilir.

Analog cihazlarda fotogrametrik stereo kıymetlendirme ile toplanan ölçüler mekanik aktarma organları ile anında çizim masasına analog olarak gönderilmekteydi. Daha sonra mekanik aktarma aletlerinin yerini bir mikro bilgisayar almış ancak ölçüler depolanmaksızın anında çizdirilmiştir. Stereo kıymetlendirme aletinde toplanan x,y,z ölçülerini önce diskte toplanması daha sonra çizdirilmesi için daha güçlü mini bilgisayar kullanılmıştır. Bugünkü analitik kıymetlendirme cihazlarına bir de üst görüntü monitörü eklenmiş ve böylece şimdiye kadar sadece bir girdi birimi olan stereo kıymetlendirme cihazı (optik birim) hem girdi hem de çıktı birimi haline gelmiştir. Dürbün içindeki üç boyutlu fotogrametrik modelin üstüne diskteki grafik kütüğün farklı renklerle oturtulması kıymetlendirme sırasında izlenen çizgiyi görebilme, kontrol, revizyon gibi bir çok yeni imkanı sağlamıştır.

Bu alanda büyük bir potansiyeli olan diğer bir gelişme "Soft-Copy Fotogrametri" konusudur. Stereoskopik resim çiftinden optik olarak üç boyutlu model oluşturma yerine bu yöntemde resimler önce CDD kamera ile raster taranmakta ve bu raster görüntü çifti polarizasyon ile bir renkli grafik ekranda aynı anda görüntülenmektedir. Bu görüntüye özel

bir gözlük ile bakan operatör grafik ekranda üç boyutlu arazi modelini görmektedir. Ölçü markası yerine kullanılan ekran cursor' ü ile kıymetlendirme yapılmaktadır [9].

SYM için fotogrametrik örnekleme bir kaç metoda ayrılır. Seçerek Örnekleme (Selective Sampling), örnekleme işlemi sırasında ya da ondan önce model noktalarının seçildiği metoddur. Uyum Sağlayarak Örnekleme (Adaptive Sampling), yer üzerinde çok az extra bilgi taşıyan gerekenden fazla model noktalarının örnekleme işlemi sırasında işe yaramaz diye atılabildiği bir metoddur. Geliştirerek Örnekleme (progressive Sampling), örnekleme ve veri analizinin birlikte icra edildiği bir metoddur. Örnekleme manuel olabilir. Bir operatör stereoplotter' ı idare eder. Bu yavaş ve hataya sebebiyet veren bir yöntemdir. Yarı otomatik sistemler operatöre yol göstermek için geliştirilmiştir ve istifadeli bir hale getirilmiş doğruluk ve hızlarla sonuçlanır. Yarı otomatik sistemlerin tam otomatik sistemlerden daha iyi olduğu düşünülür.

Örnekleme gerekli ürüne bağlı olarak çeşitli şekillerde devam eder. Örnekleme EYE' leri, biçim eğrilerini, profilleri ve morfolojik çizgileri sayısallaştırmak için icra edilir. Bununla birlikte, bir çok amaçlar için kare gridlere dayandırılan daha genel bir SYM' nin genellikle düzenli veya düzensiz bir gride bağlı olması istenir.

1.4.5. Karışık Yöntemle Veri Derleme

Veriler yukarıda anlatılan şekilde tek olarak derlenebileceği gibi aynı yöntemlerin birarada kullanılması ile de toplanılabilir.

Bir bölgede SYM oluşturmak istendiğinde yapılacak olan ilk iş veri altlığı olarak kullanılacak kaynak materyallerin sorgulanması olacaktır. Bu kaynak materyaller, foto haritalar, topoğrafik haritalar ve yapılmış yersel ölçüler olabileceği gibi bunlardan oluşturulmuş sayısal bilgi kütükleri de olabilir.

Aynı çalışma bölgesine ait birden fazla altlığın bulunduğu durumda bunlar arasında bir seçim söz konusudur. Bu demek değildir ki veri toplamak için yukarıda anlatılan yöntemlerden sadece bir tanesi kullanılacaktır. Bu durumda kullanıcı arazi yüzeyinin en son durumunu gösteren ve istenilen hassasiyet doğrultusunda bazı kriterlere göre dört yöntemin karışımı olan bir metod geliştirebilir.

1.4.6. Veri Tabanı

Daha önce değişik amaçlara yönelik hazırlanmış veri tabanları, SYM' nin oluşturulmasında kullanılabilirler. Bunlar yukarıdaki yöntemlerden herhangi birisi ile derlenmiş olabilir.

Harita bilgilerinin bilgisayar belleğinde bir düzen içinde saklanmasıyla veri tabanı oluşur. Bir veri tabanındaki verilerin kendisi, aralarındaki ilişkiler ve verilerin düzeni hakkında bilgiler bulunur. Veri tabanının temel amacı değişik kullanıcıların aynı bilgiyi ortaklaşa kullanabilmesini sağlamaktır. Veri tabanında veriler konularına ve kapsamlarına göre organize edilirler.

1.5. Veri Derleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yukarıda anlatılan yöntemler doğruluk, ekonomi ve zaman açısından farklı özelliklere sahiptirler.

Yersel ölçülerle araziden veri derleme yöntemi özellikle, arazi yapısının ağaçlık ya da bitkilerle örtülü olduğu küçük alanlar için elverişlidir. Ölçü doğruluğu yüksek fakat veri elde etmek için harcanan zaman fazladır. Fazlaca arazi çalışmasını gerektirir. Fotogrametrideki gelişmelere rağmen, bu yöntem, fazla incelik gerektiren büyük ölçekli plan alımları için yeri doldurulamayan bir kaynak olmakta devam etmektedir. Ancak oldukça ağır bir organizasyon gerektirmesi gibi bir zorunluluğu vardır. Ölçü duyarlığı diğer veri elde etme yöntemlerinden daha yüksektir.

Haritaların sayısallaştırılması ile veri derleme yöntemi ekonomik bir bilgi sağlama yöntemi olup, gerekli duyarlığı kullanılan tarayıcının pixel boyutuna bağlıdır. Harita üzerindeki ayrıntıların bolluğu topoğrafyanın değişiminin belirlenmesinde ve sayısal modelin uygunluğunun kontrolünde kullanılabilir. En ekonomik yöntem olması diğer yöntemlere göre avantajıdır.

Fotogrametrik veri derleme yöntemi güncel veri elde etmede en etkili yöntemdir. Hızla otomasyona gidilmesi hız, ekonomi ve kolaylıklar sağlamaktadır.

Verilerin elde edilmesi kısmında anlatılan yöntemlerle toplanılan verilerle sayısal topoğrafik veri tabanları oluşturulmadığı sürece veri toplama anlamsızlaşır. Veri tabanları çok esnektir. Bütün sorgulama isteklerini karşılayabilir. Akla uygun hızlı araştırma yeteneklerini desteklemek için çok becerikli ya da maharetli bir şekilde dizayn edilmesi istenen mesleki veri tabanlarının bedeli oldukça pahalı olmaktadır. Çünkü çok güçlü, hızlı ve pahalı bir donanımı (bilgisayar ve çevre birimleri) gerektirir.

En hassas ve kapsamlı SYM, fotogrametrik olarak hazırlanmış hava fotoğrafları veya yüzey araştırmalarından elde edilmiş orjinal verilerden oluşturulur .

1.6. Verilerin İşlenmesi ve SYM' nde İnterpolasyon

SYM' nin yapısına göre veri işleme safhasında bazı farklılıklar görülebilir. Genel olarak bu safhada veriler başlıca iki aşamadan geçerler. Bunlar ön işlemler ve esas işlemler olarak iki gruba ayrılır.

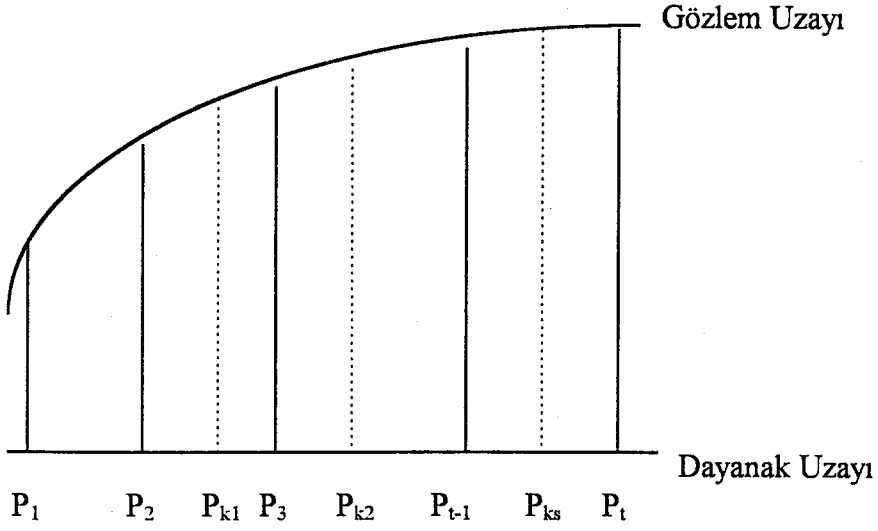
Ön işleme ile verilerin, esas dönüşüm işlemlerine hazırlanması amacı güdülür. Örnekleme işlemi kaba ve sistematik hatalardan arındırılır. Gereksiz bilgiler atılır. Ayrıca bu safhada koordinat bilgileri dönüşümleri olabilir. Örnek olarak kutupsal yöntemle elde edilmiş koordinatların dik koordinatlara dönüştürülmesi işlemini verebiliriz.

Esas İşlemler safhasında ise hatalardan arındırılmış dayanak noktaları ve amaca uygun olarak seçilecek bir ya da bir kaç interpolasyon yöntemi ile x,y,z koordinatlarıyla bilinen dayanak noktalarından istenen sayıda yeni noktaların yükseklikleri hesaplanır. Ayrıca bilgilerin genelleştirilmesi, EYE' lerin interpolasyonu, bilgi bankasının oluşturulması için gerekli hesaplamalar söz konusu olabilir.

Sayısal Yükseklik Modellerinde İnterpolasyon

İnterpolasyon problemi genel olarak, n boyutlu P_i noktalarındaki m boyutlu vektörleri kullanarak, n boyutlu P_k noktalarındaki m boyutlu bilinmeyen vektörlerin bulunması şeklinde tanımlanabilir [10].

n boyutlu P_1 noktaları dayanak uzayını, m boyutlu vektörler ise gözlem uzayını oluştururlar (Şekil 1).



P_1, P_2, \dots, P_t : Dayanak Noktaları
 $P_{k1}, P_{k2}, \dots, P_{ks}$: İnterpole Edilecek Noktalar

Şekil 1. SYM' nde İnterpolasyon

SYM için dayanak uzayının iki boyutu vardır. Bunlar noktaların yatay konumlarını belirleyen x ve y koordinatlarıdır. Vektörlerin ise bir boyutu vardır. O da noktaların yüksekliğini belirleyen z değeridir.

En Küçük Kareler Yöntemi İle İnterpolasyon

Mutlaka bir trend geçirilerek dayanak nokta değerlerinin trend' den olan farkları hesaplanmak zorundadır. Seçilen trend ile yükseklik farklarının büyüklüğü polinom derecesinin seçimine bağlıdır. Polinom derecesi ne kadar küçük tutulursa trend' in arazi yüzeyine uyumu zayıflar. Çok yüksek dereceden polinomların kullanımında ise kötü koşullu denklemler ve tehlikeli salınımlar ortaya çıkar. Yapılan uygulamalarda 2. dereceden bir trend' in kullanımı

$$z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy$$

en iyi sonucu vermiştir [7].

Tüm harita altlığı küçük hesap birimlerine ayrılması ve her birim için kovaryans fonksiyonunun ayrı ayrı belirlenmesi gerekir. Bilinmeyen sayısı dayanak nokta sayısına eşit simetrik bir denklem sisteminin çözümü gerektiğinden bellek gereksinimi artar ve büyük hesaplayıcılarla çalışma zorunluluğu doğar.

Lineer İnterpolasyon

İnterpolasyonun doğruluğu dayanak noktalarının yoğunluğuna ve dağılımına bağlı olarak değişmektedir. Hesaplama hızı yüksek bellek gereksinimi azdır. Nokta yoğunluğu uygun seçilmek şartı ile yaygın bir şekilde kullanılır.

Üçgenlerde Lineer İnterpolasyon

Dayanak noktaları raster formunda bulunuyorlarsa, hesap işlemleri basittir. Şayet raslantısal olarak dağılmış ise üçgenleme işleminden dolayı hesaplama zamanı uzar. Doğruluk kurulan üçgen ağının yapısına bağlıdır. Üçgenlerin oluşturulması, bilgisayarların hızlı ve kapasiteli olmalarına rağmen hala bir zaman problemi teşkil eder.

Korelasyon Yöntemi

Programlaması basit ve hesaplama hızı yüksektir. Fakat uygun olmayan nokta dağılımlarında sonuçlar gerçek değerlerinden uzaklaşır. Büyük artık değerler ortaya çıkar ve düzgün olmayan yükseklik eğrileri elde edilir.

Kayan Yüzeylerle İnterpolasyon

Her interpolate edilecek nokta için n (yüzey derecesi) seçimine bağlı olarak yatay, eğik ya da 2. dereceden bir yüzey yeniden belirlenir. İnterpolasyon için sınırlı sayıda dayanak noktasının kullanılması arzulandığından ve kötü koşullu normal denklemlerden kaçınmak için $n=2$ yi geçmemelidir. ($n=1$) için yalnız üç bilinmeyenli normal denklemlerin çözümü söz konusu olduğundan hesaplama zamanı düşer. Şayet aynı doğru üzerinde bulunmayan dayanak noktaları kullanılıyorsa, yoğunluk değişmesine rağmen iyi koşullu normal denklemler elde edilebilir. Arazinin en yüksek ya da derinliklerinde dayanak noktası

bulunmuyorsa bu yerler düzlenir. Bunu önlemek için 2. dereceden bir yüzey kullanılır. Bu yüzey arazinin alçalıp yükselmelerini daha iyi temsil edebilmektedir.

Eğer ağırlık fonksiyonuna göre arazi, interpolasyonun dayandığı dayanak noktaları ile yeteri kadar genişletilirse düzgün bir arazi yüzeyi oluşturulabilir. Her interpole noktası için 10 - 14 dayanak noktası kullanılması amaçlanır. Arazi kırık çizgileri yoğun dayanak noktaları ile temsil edilmeli ve şev içlerinde, şev üst ve alt sınırları arasında kalan dayanak noktaları lineer olarak kullanılmalıdır.

Bilineer İnterpolasyon

Linear yöntemde olduğu gibi yüzey doğrudan dayanak noktalarından geçer. İnterpolasyon düzgün kareler üzerinde yapılıyorsa, sınırlar boyunca çatlaklar oluşmaz. Komşu sınırlar boyunca süreklilik vardır.

En Küçük Parçalardaki Polinomlarla İnterpolasyon

Her bir yerel yüzey aynı anda hesaplanır. Yüzey elementlerinin sınırları boyunca süreklilik ve düzgünlük vardır. Katsayılar matrisinin inversinin bir kez alınması tüm çalışma alanı için yeterlidir. Daha çok genelleştirmenin söz konusu olduğu çalışmalarda kullanılır.

Sonlu Elemanlarla İnterpolasyon

Homojenlik ve izotropluk dikkate alınmaksızın yükseklik interpolasyonu yapılabilir. Arazi kırık çizgilerini yeteri doğrulukta göstermek mümkündür. Bilineer elemanlarla bikübik elemanlar yer değiştirirse yüzey elemanları büyütülebilir ve hesaba ayrılan kapasite düşer. Bikübik elemanlarla çalışırken kırık çizgilerin dikkate alınması karmaşık bir yapı doğurur. Bu nedenle kırık çizgiler söz konusu ise bilineer elemanlar kullanılır. Sonlu elemanlar yönteminde elemanların büyüklüğü istenilen doğruluk oranında küçük olmalıdır. Çünkü elemanların kapsadığı alan büyürken yerel olma özelliği ve yaklaşımın doğruluğu azalır.

1.7. SYM' nden Faydalanma

1.7.1. SYM' nin Kullanıldığı Yerler

SYM bir çok alanda kullanılır. En önemlileri aşağıda sıralanmıştır.

1. Ulusal veri tabanlarında sayısal topoğrafik haritalar için yükseklik verisinin depolanması [2].

2. Yol tasarımı ve diğer sivil ve askeri mühendislik projelerinde yarma ve dolgu problemlerinin hesabı.

3. Peyzaj tasarım, planlama (peysaj mimarlık) ve askeri amaçlar (silah yöneltme sistemleri, pilot talimi) için arazi şeklinin üç boyutlu gösterimi.

4. Arazi görüş analizi.

5. Baraj yerlerinin, yol rotalarının vs. hesaplanması.

6. Arazinin farklı karakterlerinin mukayesesi ve statik analizi.

7. Gölge kabartma haritalarını hazırlamak için kullanılabilen eğim haritaları, görüş haritaları ve eğim profillerinin hesabı, jeomorfolojik çalışmaları destekleme ya da akarsu ve erozyon tahmini.

8. Toprak, arazi kullanımı veya bitki topluluğu gibi tematik (bir bilgiye ait) veriyle relief (kabartma) verinin birleştirilmesi ya da tematik bilginin gösterimi için bir fon olarak kullanılması.

9. Görünüm yöntemleri ve görünümlerin görüntü simulation modelleri için veri tedarik edilmesi.

10. Üç boyutlu yükseklik modeli ile çalışarak imar adaları, yollar vs. nin daha gerçekçi olarak planlanması .

11. Kanalizasyon, yağmur suyu drenajı, içme suyu, elektrik, PTT gibi alt yapı projelerinin hızlı, ekonomik ve daha kolay bir biçimde yapılması ve maliyet analizi.

12. Çevre düzenlemesi projelerinin gerçekleştirilmesi.

13. Haberleşme ağı planlaması [13].

1.7.2. Arazi Modellemenin Uygulama Bulduğu Alanlar

Arazi modelleme teknikleri kullanımda yaygındır ve çeşitli bilim dallarında yaygın olarak uygulanmıştır. Bu teknikler özellikle aşağıdaki alanlardaki problemlere uygulanmıştır [1].

a) Topoğrafik Harita Yapımı : Arazinin sayısal temsili bazen harita yapım yöntemlerinin ana unsurlarından birini oluşturur. Hem büyük ölçüde (site-specific) hem de küçük ölçüde (national) topoğrafik modelleme yapılabilir.

b) Mühendislik : Arazi modelleri mühendislik alanında kullanımda yaygındır. Başlangıçta hemen hemen yalnızca karayolu mühendisliği projelerinde yarma ve dolgu hacim işlerinin tespiti için kullanılmıştır. Bugünlerde, bununla birlikte, aynı prensipler hem çizgisel hem de geniş saha kapsamlı projelerde uygulanmaktadır. Ayrıca modelleme teknikleri hazır yapıların sayısal dizayn modellerini oluşturmak için de kullanılabilir. Tasarımları ve arazi modellerini birleştirme kabiliyeti de mühendislik projelerinin çevresel etkilerini meydana getirmek için gerçekçi görsel izlenimlere imkan verir.

c) Hidrografik / Bathymetric Harita Yapımı : Ses iskandili ile sondaj yapan aletlerden elde edilmiş derinlikleri kullanarak deniz dibinin küçük ölçüde modelleri üretilebilir. Daha yakın zamanlarda geniş ölçüde deniz dibinin sayısal modelleri yapılmıştır [1].

d) Jeolojik ve Jeofizik Harita Yapımı : Bir bilim dalı olan jeolojide arazi modelleme uzun zaman önce yaygın uygulama alanı buldu. Arazi yüzeylerinin yanında, yeraltı yüzeylerinin modelleri özel jeolojik katmanlar tanımlanarak meydana getirilebilir. Bu tip

modeller çoğu kez sondaj sırasında elde edilmiş seyrek veya dağınık verilerden elde edilir. Fay' ların varlığı jeolojik uygulamaların özel bir problemidir. Modellemenin bu gibi özel problemleriyle uğraşmak için jeologlar tarafından bu alanda bir çok özel teknikler tasarlanmaktadır. Jeofiziksel araştırma ve harita yapımına yakın ilgili olan arazi modellemede çokça düzenli kullanılan bir faaliyet alanıdır ve temel teori şartlarında bir çok makaleler ve teknikler jeofizikçiler tarafından yapılmıştır.

e) Maden Mühendisliği : Bu alanda arazi modellemenin uygulaması jeoloji ve jeofiziğe bağlıdır. Kullanılmış verilerin bir çoğu yeniden toplanır ve kötü bir şekilde kullanılır. Ne yazık ki bir çok çalışma böyle verilerle maden mühendisleri tarafından yapılmıştır. Özellikle Krige tarafından yapılan çalışmalar dikkate alınır. Bu alanda diğer bir uygulama hacim hesabı yapmak için kömür stoklarının sayısal modellemesi ile uğraşılır.

f) Simulation (Benzetim) ve Visualization (Görüntüleme) : Özellikle radar simulationu ve uçak yolculuğu için arazi modellemenin en ileri en komplike formu görüntüleme ve benzetim alanındadır. Arazi modellerinden gelen Dünya yüzeyinin gerçekçi gösterimi, hakiki süre ihtiyacı ve pilotun yer görüşünün sürekli değişen simulationu ile birleştirilir. Son olarak, fraktaller kullanarak arazi modelleme suni olarak oluşturulmuş yüzey görüntüsü üretebilir. Bu durum bilgisayar grafikleri ve canlandırma (animation) alanıyla özel ilgilidir.

g) Askeri Mühendislik : Bir kumandan için arazi tanıma hayati önem taşır. Bundan dolayı arazi modelleme ve diğer sayısal harita yapımı üretimlerinin askeri uygulamalarındaki gelişme ve araştırma üzerine harcanan para miktarı ve esaslı uğraşlar bizleri şaşırtmamalıdır. Arazi modelleri, örneğin, araziden özel bir noktadan görüş mesafesi çıkarmak için kullanılabilir; o zaman radar donanımları, yer füze fırlatıcıları veya haberleşme ekipmanları için en uygun konumu saptamak amacıyla komutan tarafından kullanılabilir. Eğer meyilli arazi hakkındaki bilgi modelden elde edilebilirse, bu bilgi paletli yada paletsiz taşıtlar için uygun yollar planlamak amacıyla kullanılabilir. Askeri savaş alanı plan yapımı veya çevresel etki analizleri için arazinin statik simulationları da önemlidir.

1.7.3. SYM' nden Elde Edilen Ürünler

Sanayi, inşaat, madencilik, ziraat, haritacılık ve diğer ilgili alanlarda yaygın bir şekilde kullanılan SYM' nden faydalanma uygun bilgisayar yazılımları ile gerçekleşir ve yazılım donanım desteği ile SYM' nden çeşitli türemiş ürünler elde edilebilir [2] .

Tablo 1. SYM' nden Elde Edilen Ürünler

Blok diagramlar ve Profiller
Nümerik Bütünleme ile Hacim Hesabı
EYE Haritaları
Bakış Doğrultusu Haritaları
Eğim, İç Bükeylik, Dış Bükeylik ve Görüş Haritaları
Gölge Kabartma Haritaları
Drenaj Ağı ve Drenaj havza Tasarımı

Bir alandaki niceliğe ait bir değişkenin (yükseklik olması gerekmez) değerinin değişimini gösteren bilinen cazip bir metod olduğu için blok diagramlar sayısal arazi modelinin en çok bilinen şekillerinden biridir.

Bir çok sivil mühendislik problemlerinde getirilecek ya da nakledilecek malzeme miktarını tahmin edebilmek için arazi şeklinin modelini yapmak gerekir. Bu malzemelerin doğru tahminleri doğru değer biçmeyi gerektirir. En yaygın prosedür iş başlamadan önce arazinin ölçülmesi ile bir yerin SYM' sini kurmaktır ve daha sonra önerilmiş değişiklikleri göstermek için ikinci bir SYM oluşturmaktır. Bu ikisi arasındaki fark nakledilecek ya da eklenecek malzeme miktarıdır. Bu hacim nümerik integrasyon (bütünleme) ile elde edilebilir.

EYE' ler hücreleri uygun yükseklik tabakalarında yeniden sınıflandırma ve tabakaları farklı renklerde ya da grinin tonlarında basma ile kolayca kare gridlerden elde edilir. Basit çevresel harita yapımı ve renkli grafik gösterim için yeterli olduğu düşünülmese de rağmen EYE sonuçlarının kartoğrafik amaçlar için çoğu kez çok kaba olacağı farzedilir.

Bir görünümde noktaların karşılıklı görünürlüğü (intervisibility) saptama yeteneği askeri operasyonlar, mikrodalga haberleşme ağı planlama ve eğlence kabilinden çalışmalar için önemlidir. Geleneksel EYE haritalarından karşılıklı görünürlüğü saptama

karşılaştırılabilen ve seçilebilen profillerin sınırsız miktarından dolayı kolay değildir. İntervisibility haritalar TIN' lardan ve yükseklik matrislerinden hazırlanabilir.

Eğim haritaları, arazi üzerindeki eğimlerin sınıflandırılarak arazi parçalarının bu sınıflandırmaya göre değişik renkler veya tarama kodlarıyla gösterilmesiyle elde edilirler [12].

Duyarlığı yüksek ölçme teknikleri (örneğin yersel ölçmeler) ile elde edilen yükseklik bilgilerinden türetilmiş bir SYM kullanılarak sulama ağının planlanması ve drenaj çalışmalarının kontrolü etkin bir biçimde bilgisayar ortamında yapılabilmektedir.



2. UYGULAMA

2.1. Multikvadrik İnterpolasyon ve İşlem Adımları

Bu yöntemde, örnekleme noktalarına göre düşük dereceden bir $t(x,y)$ polinomu kullanılarak trend yüzeyi geçirildikten sonra, kalan Δh_j artık değerleri ile multikvadrik yüzeyin katsayıları belirlenmektedir. Multikvadrik yüzey genel olarak,

$$\sum_{j=1}^n c_j q(y_j, x_j, y, x) = \Delta h \quad (1)$$

biçimindeki serilerle gösterilebilir. Burada Δh , y ve x ' in fonksiyonları olan tek bir cins ikinci dereceden yüzeylerin toplamıdır. Her bir ikinci dereceden yüzeyin dikey simetri eksenini, örnekleme noktalarının y_j ve x_j yatay konumlarında yer almıştır. c_j katsayısı ikinci dereceden terimlerin işaretini ve eğimini belirler. (1) genel gösterimindeki multikvadrik yüzeye bir örnek,

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(y_j - y)^2 + (x_j - x)^2 + f \right]^{1/2} = \Delta h \quad (2)$$

iki yapraklı dairesel hiperboloid serilerinin toplamıdır. Diğer bir örnek,

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(y_j - y)^2 + (x_j - x)^2 + f \right] = \Delta h \quad (3)$$

dairesel paraboloid serilerinin toplamıdır.

(2) eşitliğinde $f=0$ alınırsa multikvadrik yüzey,

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(y_j - y)^2 + (x_j - x)^2 \right]^{1/2} = \Delta h \quad (4)$$

biçimindeki dairesel dik konilerin toplamından oluşur. Dairesel dik konilerin toplamından oluşan multikvadrik yüzeyin c_j katsayılarını belirlemek için n sayıdaki örnekleme noktalarından yararlanılarak,

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2 \right]^{1/2} = \Delta h_i \quad (5)$$

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

biçiminde n sayıda lineer denklem sistemi oluşturulur. Burada $n \times n$ boyutlu \underline{A} katsayılar matrisi,

$$a_{i,j} = \left[(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

elemanlarından oluşmuştur. n elemanlı bilinmeyen vektörü,

$$c^t = [c_1 \ c_2 \ c_3 \ \dots \ c_n] \quad (7)$$

dir. Örnekleme noktalarındaki artık yükseklik değerlerini gösteren n elemanlı vektör ise,

$$\Delta h^t = [\Delta h_1 \ \Delta h_2 \ \Delta h_3 \ \dots \ \Delta h_n] \quad (8)$$

dir. Bu durumda (4) eşitliği matris gösterimi ile

$$\underline{A} * \underline{c} = \underline{\Delta h} \quad (9)$$

olur. Buradan bilinmeyen vektörü,

$$c = A^{-1} * \Delta h \quad (10)$$

matris eşitliğinden elde edilir. c_j katsayılarının hesaplanmasından sonra koordinatları y, x olan P noktalarının yükseklikleri,

$$h_p = t(x,y) + \sum_{j=1}^n c_j \left[(y_j - y)^2 + (x_j - x)^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

ile interpolate edilebilir [7].

Multikvadrik İnterpolasyonda İşlem Adımları

Buradaki semboller program yazılımında kullanılan sembollerdir.

. Grid Köşe Noktalarının Koordinatlarının Hesaplanması

$$\begin{aligned} X_{gi} &= G_{xb} + (i-1) * G_a & i=1,2,\dots,G_{xar} \\ Y_{ji} &= G_{yb} + (j-1) * G_a & j=1,2,\dots,G_{yar} \end{aligned}$$

G_{xb}, G_{xs} : Grid ağı X başlangıç ve sonu
 G_{yb}, G_{ys} : Grid ağı Y başlangıç ve sonu
 G_a : Grid aralığı (isteğe bağlı seçilebilir)
 G_{xar}, G_{yar} : X ve Y ekseninde grid çizgi sayısı

. Normlandırma

Dayanak noktaları ve oluşturulan grid ağı köşe nokta koordinatları grid ağının başlangıç koordinatlarına göre normlandırılır.

$$\begin{aligned} X_{ni} &= (X_i - G_{xb}) / G_a & i=1,2,\dots,n : \text{Dayanak nokta sayısı} \\ Y_{ni} &= (Y_i - G_{yb}) / G_a \\ X_{yn} &= (X_{yi} - G_{xb}) / G_a \\ Y_{yn} &= (Y_{yi} - G_{yb}) / G_a \end{aligned}$$

X_n, Y_n : Normlandırılmış dayanak nokta koordinatları

X_{yn}, Y_{yn} : Normlandırılmış grid ağı köşe koordinatları

. Trend Yüzeyi Katsayılarının Hesabı

Trend yüzeyi katsayılarının hesabında trend derecesi 1 olarak alınmıştır.

$$A_{n,3} = \begin{bmatrix} 1 & Yn_1 & Xn_1 \\ 1 & Yn_2 & Xn_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & Yn_n & Xn_n \end{bmatrix} \quad h_{n,1} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_n \end{bmatrix} \quad BT_{3,1} = \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \end{bmatrix}$$

$$BT = (A^T * A)^{-1} * A^T * h \quad : \text{Trend yüzeyi katsayıları}$$

. Trend Yüzeyinden Farkların Hesabı

$$DH = h - A * BT \quad : \text{Trend Yüzeyinden Farklar}$$

. Multikvadrik Yüzeyin Katsayıları Hesabı

$$S_{i,j} = \sqrt{(Yn_j - Yn_i)^2 + (Xn_j - Xn_i)^2} \quad \begin{matrix} i=1,2,\dots,n \\ j=1,2,\dots,n \end{matrix}$$

S : Normlandırılmış dayanak noktalarının birbirine olan uzaklıkları

$$S_{n,n} = \begin{bmatrix} S_{1,1} & S_{1,2} & \cdot & \cdot & S_{1,n} \\ S_{2,1} & S_{2,2} & \cdot & \cdot & S_{2,n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ S_{n,1} & S_{n,2} & \cdot & \cdot & S_{n,n} \end{bmatrix}$$

S Matrisi köşegeni sıfır olan simetrik bir matristir.

$$C = S^{-1} * DH \quad : \text{Multikvadrik yüzeyin katsayıları}$$

. Grid Köşe Noktalarının Yüksekliklerinin Hesabı

D : Normlandırılmış dayanak nokta koordinatlarının, normlandırılmış grid köşe noktalarına olan uzaklıkları

$$D = \sqrt{(Yn_i - Yyn_j)^2 + (Xn_i - Xyn_j)^2}$$

i=1,2,.....,n : Dayanak nokta sayısı

j=1,2,.....,m : Yüksekliği bulunacak nokta sayısı

$$D_{n,m} = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \cdot & \cdot & d_{1,m} \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \cdot & \cdot & d_{2,m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{n,1} & d_{n,2} & \cdot & \cdot & d_{n,m} \end{bmatrix}$$

$$B_{m,3} = \begin{bmatrix} 1 & Yyn_1 & Xyn_1 \\ 1 & Yyn_2 & Xyn_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & Yyn_m & Xyn_m \end{bmatrix}$$

$$Hy_{m,1} = \begin{bmatrix} hy_1 \\ hy_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ hy_m \end{bmatrix}$$

$$t = B * BT$$

Hy = t + C^T*D : Grid ağı köşe noktalarının yükseklikleri



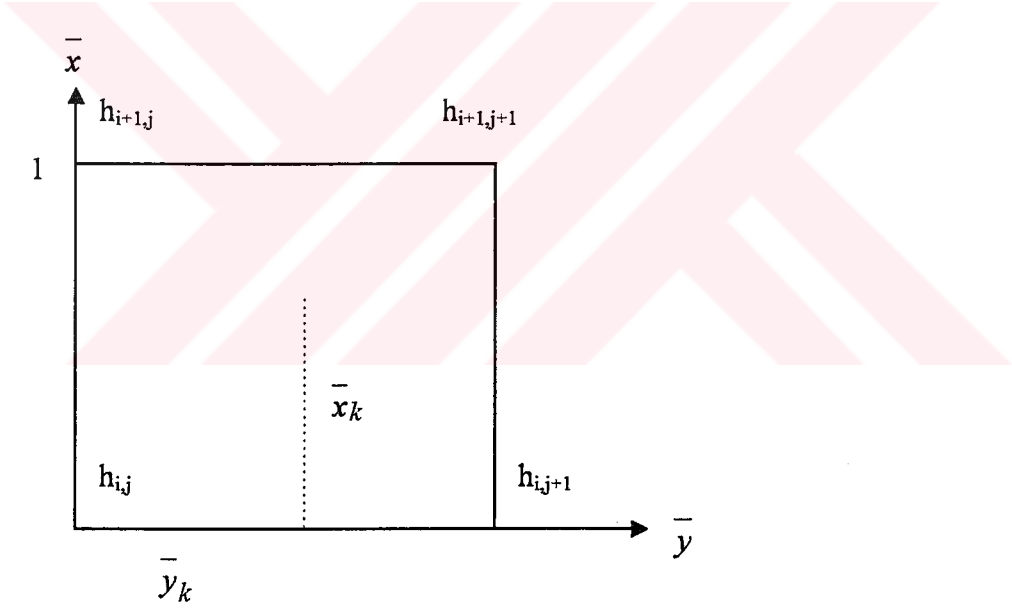
Şekil 2. Multikuadrik İnterpolasyonda Genel İş Akışı

2.2. Parça Parça Bilineer İnterpolasyon Ve İşlem Adımları

Bilineer interpolasyonda, polinomlarla tanımlanabilen yüzey parçası, dört köşe noktasının yerel koordinat sistemindeki değerlerinin bilindiği, genellikle kare biçimli şekillerden oluşur. Yüzey elemanlarının köşelerinin üç boyutlu koordinatları ise, bilinear interpolasyonla analitik olarak hesaplanır (9). Bilineer yüzeye parabolik hiperboloid de denir ve bu yüzey, başlangıcı i, j olan normlandırılmış yerel bir koordinat sisteminde,

$$h = a_0 + a_1\bar{x} + a_2\bar{y} + a_3\bar{x}\bar{y} \quad (12)$$

eşitliği ile belirlidir. Şekil 6. kare biçiminde dizilmiş dört noktanın oluşturduğu bilinear yüzeyi göstermektedir. Burada koordinat sistemi kare uzunluğu ile normlandırılmış ve i, j nolu noktanın bulunduğu konum yerel koordinat sisteminin başlangıcı olarak alınmıştır.



Şekil 3. Parça Parça Bilineer İnterpolasyonda Normlandırma Sonucu Oluşan Koordinat Sistemi

Dört köşe noktasının yükseklikleri,

$$\begin{bmatrix} h_{i,j} \\ h_{i,j+1} \\ h_{i+1,j} \\ h_{i+1,j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (13)$$

matris gösterimi ile elde edilebilir.

Çözüm yapılırsa,

$$\begin{aligned} a_0 &= h_{i,j} \\ a_1 &= h_{i+1,j} - h_{i,j} \\ a_2 &= h_{i,j+1} - h_{i,j} \\ a_3 &= h_{i,j} + h_{i+1,j+1} - h_{i,j+1} - h_{i+1,j} \end{aligned} \quad (14)$$

olarak elde edilir. Bu durumda bilineer yüzey parçasının eşitliği,

$$\begin{aligned} h &= h_{i,j} + (h_{i+1,j} - h_{i,j})\bar{x} + (h_{i,j+1} - h_{i,j})\bar{y} \\ &\quad + (h_{i,j} + h_{i+1,j+1} - h_{i,j+1} - h_{i+1,j})\bar{x}\bar{y} \end{aligned} \quad (15)$$

biçiminde elde edilir. (15) eşitliği yeniden düzenlenirse,

$$h = (1 - \bar{x})(1 - \bar{y})h_{i,j} + \bar{x}(1 - \bar{y})h_{i+1,j} + \bar{y}(1 - \bar{x})h_{i,j+1} + \bar{x}\bar{y}h_{i+1,j+1} \quad (16)$$

eşitliği bulunur. (16) eşitliğinde h' lı terimlerin katsayıları ağırlık katsayıları gibi alınırsa,

$$h = \sum_{i=1}^{i+1} \sum_{j=1}^{j+1} w_{i,j}(\bar{x}, \bar{y})h_{i,j} \quad (17)$$

olur. Burada ağırlık fonksiyonları,

$$\begin{aligned}
w_{i,j}(\bar{x}, \bar{y}) &= (1 - \bar{x})(1 - \bar{y}) \\
w_{i,j+1}(\bar{x}, \bar{y}) &= \bar{y}(1 - \bar{x}) \\
w_{i+1,j}(\bar{x}, \bar{y}) &= \bar{x}(1 - \bar{y}) \\
w_{i+1,j+1}(\bar{x}, \bar{y}) &= \bar{x}\bar{y}
\end{aligned} \tag{18}$$

ile belirlidir.

Yukarıdaki şekilde görülen ve SYM için interpolasyonu istenen kare grid ağına ait noktaların yükseklikleri bilinmeyenler olarak tanımlanır. Bu grid noktalarının yükseklikleri, arazide rastgele dağılmış olarak ölçülen örnekleme noktalarının h_k yükseklikleri ve interpolasyon yüzeyinin genel bir eğrilik minimizasyonu ile elde edilir. Bu problem bir dolaylı ölçüler dengelemesi olarak yorumlanabilir ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak çözülebilir.

P_{rk} örnekleme noktasının yüksekliği, çevresindeki dört adet bilinmeyen grid noktalarının yüksekliklerinin (16) eşitliği biçiminde bir fonksiyonudur. Koordinatları x_k, y_k olan bir P_{rk} örnekleme noktasının başlangıcı i, j noktasında bulunan kare gridindeki \bar{x}_k, \bar{y}_k normlandırılmış koordinatları,

$$\begin{aligned}
\bar{x}_k &= (x_k - x_i) / d \\
\bar{y}_k &= (y_k - y_j) / d \\
d &= x_{i+1} - x_i = y_{j+1} - y_j
\end{aligned} \tag{19}$$

$$i=1, 2, \dots, (n-1) \quad j=1, 2, \dots, (m-1)$$

ile belirli ise (16) eşitliğinde y ve x yerine normlandırılmış yerel koordinatları yazmak gerekir. Böylece normlandırılmış yerel koordinatları \bar{x}_k, \bar{y}_k ve yüksekliği h_k olan P_{rk} örnekleme noktası, $h_{i,j}, h_{i,j+1}, h_{i+1,j}, h_{i+1,j+1}$ bilinmeyenlerini içeren bir düzeltme denklemini oluşturur. Katsayılar \bar{x}_k ve \bar{y}_k 'nin lineer fonksiyonlarıdır. P_{rk} örnekleme noktalarına ilişkin düzeltme denklemleri,

$$v_{rk} = (1 - \bar{x}_k)(1 - \bar{y}_k)h_{i,j} + \bar{x}_k(1 - \bar{y}_k)h_{i+1,j} + \bar{y}_k(1 - \bar{x}_k)h_{i,j+1} + \bar{x}_k\bar{y}_kh_{i+1,j+1} - h_k$$

$$k=1, 2, \dots, q$$

$$i=1, 2, \dots, (n-1)$$

$$j=1, 2, \dots, (m-1)$$

(20)

biçimindedir. Burada q örnekleme noktalarının sayısı; n , x eksenini yönündeki grid çizgisi sayısı; m , y eksenini yönündeki grid çizgisi sayısıdır. Bütün örnekleme noktaları için içindeki buldukları kare grid başlangıcına göre normlandırılmış yerel koordinatları ile (19) eşitliği biçiminde düzeltme denklemleri yazılır.

Parça parça bilineer yüzeylerle oluşturulan yüzeyde eğrilik minimizasyonu, interpolasyon yüzeyinin bütün ikinci türevlerinin sıfır olması nedeniyle tam olarak gerçekleştirilemez. Bunun yerine yüksekliklerin ikinci farkları kullanılır. Her bir i,j grid noktası için x ve y doğrultularında yüksekliklerin ikinci farklarına ilişkin,

$$v_{cx_{i,j}} = h_{i-1,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j} - 0$$

$$i=2,3,\dots,(n-1); j=1,2,\dots,(m-1)$$

(21)

$$v_{cy_{i,j}} = h_{i,j-1} - 2h_{i,j} + h_{i,j+1} - 0$$

$$i=1,2, \dots, n; j=2,3, \dots, (m-1)$$

biçiminde düzeltme denklemleri oluşturulur. Bu düzeltme denklemleri şekil düzeltme denklemleri olup, parça parça bilineer yüzeylerden oluşan tüm yüzeyi düzgünleştirmeye yöneliktir.

(20) ve (21) eşitlikleri biçimindeki düzeltme denklemleri elde edildikten sonra, bu düzeltme denklemlerinden normal denklemler sistemi oluşturulur. Normal denklemler sistemi indirgenerek grid noktalarına ait yükseklikler elde edilir.

Bu yöntemde istenirse arazide ölçülmüş kırık çizgilerde dikkate alınabilir. Bunun için lineer yüzeylerle bilineer yüzeyleri birleştirerek kullanmak gerekir [10].

Parça Parça Bilineer İnterpolasyonda İşlem Adımları

Buradaki semboller program yazılımında kullanılan sembollerdir.

. Grid Köşe Noktalarının Koordinatlarının Hesaplanması

$$X_{gi} = G_{xb} + (i-1) * G_a \quad i=1,2,\dots,G_{xar}$$

$$Y_{gj} = G_{yb} + (j-1) * G_a \quad j=1,2,\dots,G_{yar}$$

G_{xb}, G_{xs} : Grid ağı X başlangıç ve sonu

G_{yb}, G_{ys} : Grid ağı Y başlangıç ve sonu

G_a : Grid aralığı (isteğe bağlı seçilebilir)

G_{xar}, G_{yar} : X ve Y ekseninde grid çizgi sayısı

. Normlandırma

Dayanak noktaları içinde bulunduğu gridin başlangıcına göre normlandırılır.

$$X_{ni} = (X_i - X_{gbi}) / G_a \quad i=1,2,\dots,n \text{ : Dayanak nokta sayısı}$$

$$Y_{ni} = (Y_i - Y_{gbi}) / G_a$$

X_n, Y_n : Normlandırılmış dayanak nokta koordinatları

X_{gb}, Y_{gb} : Dayanak noktasının içine düştüğü gridin X, Y başlangıcı

. Düzeltmelerin Hesabı

. Dayanak Noktalarına Ait Düzeltmeler

Normlandırılmış yerel koordinatları ve yüksekliği bilinen dayanak noktası, çevresindeki 4 grid köşesinin bilinmeyen yüksekliklerini içeren bir düzeltme denklemini oluşturur.

$$v_{rk} = (1 - \bar{x}_k)(1 - \bar{y}_k)h_{i,j} + \bar{x}_k(1 - \bar{y}_k)h_{i+1,j} + \bar{y}_k(1 - \bar{x}_k)h_{i,j+1} + \bar{x}_k\bar{y}_kh_{i+1,j+1} - h_k$$

$$k=1, 2, \dots, q$$

$$i=1, 2, \dots, G_{xar}$$

$$j=1, 2, \dots, G_{yar}$$

. Şekil düzeltme denklemleri

X ekseninde ve Y ekseninde;

$$v_{cx_{ij}} = h_{i-1,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j} - 0 \quad i=2,3,\dots,(n-1); j=1,2,\dots,(G_{xar}-1)$$

$$v_{cy_{ij}} = h_{i,j-1} - 2h_{i,j} + h_{i,j+1} - 0 \quad i=1,2,\dots,n; j=2,3,\dots,(G_{yar}-1)$$

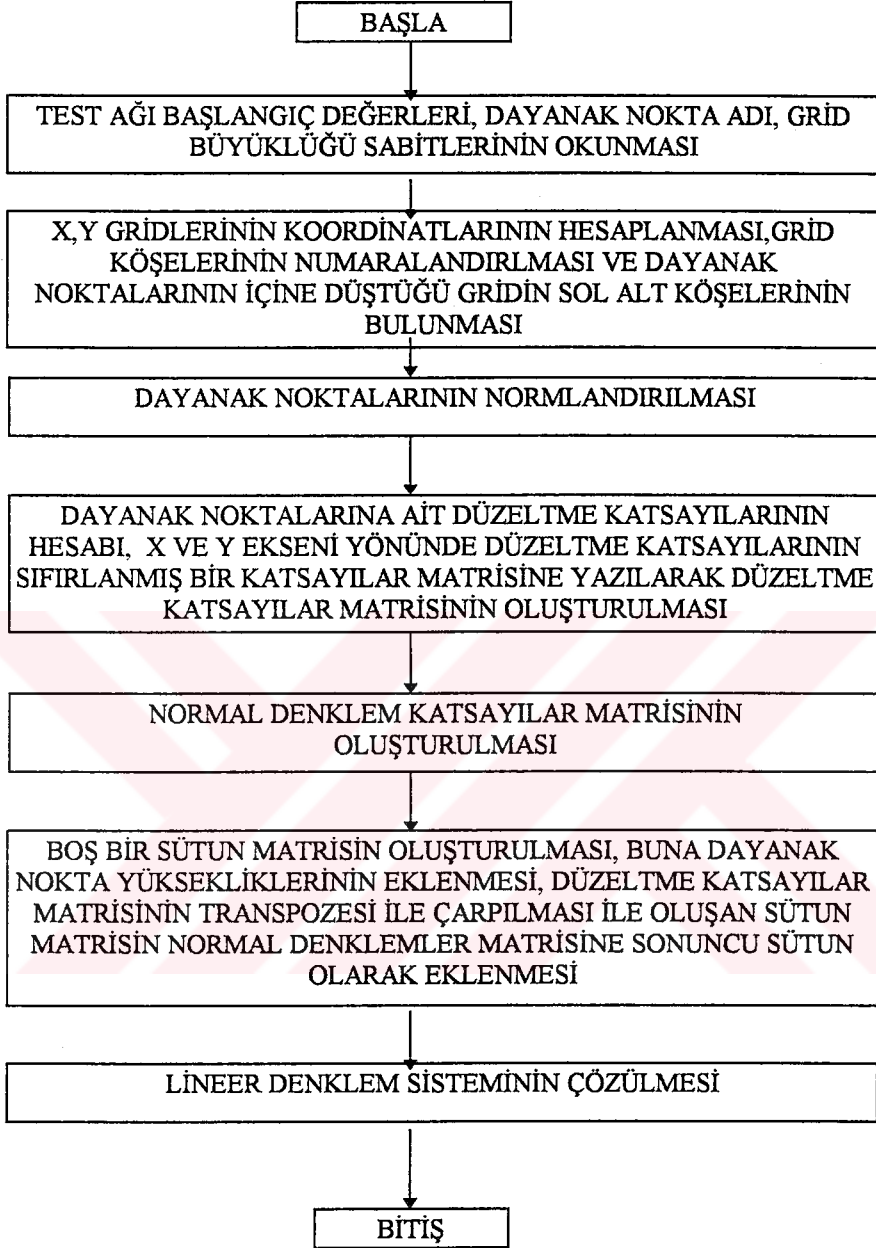
Bu düzeltme denklemleri şekile ait olup, parça parça bilineer yüzeylerden oluşan tüm yüzeyi düzgünleştirmeye yöneliktir.

. Normal Denklemler

3. adımın a ve b şıklarında düzeltme denklemleri elde edildikten sonra; bu düzeltme denklemlerinden normal denklemler sistemi oluşturulur.

. Yeni Yükseklikler

Normal denklemler sistem indirgenerek (Gauss Yoketme İle Lineer Denklem Sistemi Çözümü) grid noktalarına ait yükseklikler elde edilir.



Şekil 4. Parça Parça Bilineer İnterpolasyonda Genel İş Akışı

2.3. Uygulamada Kullanılan Testler

2.3.1. Çarpıklık-Basıklık Testi

n : Grid nokta sayısı

\bar{v} : Farklar ortalaması

s : Standart sapma

v_i : Farklar

$$c_1 = \frac{1}{ns^3} \sum_{i=1}^n v_i^3$$

$$c_2 = \frac{1}{ns^4} \sum_{i=1}^n v_i^4 - 3$$

c_1, c_2 : Çarpıklık ve Basıklık

H_0 : $c_1 \sim N(0, \sqrt{6/n})$, $c_2 \sim N(0, \sqrt{24/n})$

H_s : İrdelenen verilerin dağılımı çarpık ve basıktır

$$\chi_0^2 = c_1^2 \frac{n}{6} + c_2^2 \frac{n}{24}$$

$\chi_{2,0.95}^2 = 5.991$: Test büyüklüğü ve sınır değeri

$$\chi_0^2 > \chi_{2,0.95}^2$$

ise;

H_0 : İrdelenen veriler normal dağılımlıdır hipotezi geçersiz buna karşın

H_s : İrdelenen verilerin dağılımı çarpık ve basıktır hipotezi geçerli olur.

2.3.2. T-Testi

- n : Grid nokta sayısı
 \bar{v} : Farklar ortalaması
 s : Standart sapma
 s_v : \bar{v} 'nin ortalama hatası

$$s_v = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$T = \frac{\bar{v} - \mu}{s_v}$$

$$q_{f, 1-\alpha/2}$$

$$H_0: \mu = 0$$

$$H_s: \mu \neq 0$$

T, q : Test büyüklüğü ve sınır değeri

$T \leq q$ ise H_0 hipotezi geçerlidir. Yani farklar ortalaması "sıfır" dır.

$T > q$ ise H_0 hipotezi geçersizdir. Yani farklar ortalaması sıfırdan farklıdır.

2.4. Uygulama Bölgesinin Seçimi ve Verilerin Elde Edilmesi

Sayısal uygulamanın yapıldığı alan X-ekseni yönünde 4410700 m - 4410900 m , Y-ekseni yönünde 459750 m - 459950 m değerleriyle sınırlandırılmış 200*200 m'lik bir bölümdür. Harita ölçeği 1 : 1.000 ve eşyükseklik eğrisi aralığı 1 m'dir. Bu bölge içine 87 dayanak noktası rastgele dağılmıştır.

Haritada uygulama bölgesi üzerine 10 m aralıklı bir grid ağı döşenmiş ve test ağını oluşturan noktaların yükseklikleri doğrusal interpolasyonla hesaplanmıştır.

Dayanak noktalarının Y, X, H koordinatlarından, QuickBASIC dilinde yazılmış iki program yardımıyla test noktalarının yükseklikleri Multiquadrik ve Parça parça bilinear interpolasyonlarla hesaplanmıştır. İnterpolasyonlarla üretilen bu değerlerin doğrusal interpolasyonla paftadan hesaplanan değerlerden olan farkları grid ağı kenarlarında büyük olarak gözlenmelerinden dolayı X-ekseni yönünde 4410720m-4410880 m, Y-ekseni yönünde 459770m-459930m değerleriyle sınırlandırılmışalanda üretilen grid koordinatları uygulamada esas alınmıştır.

Grid noktalarının bilinen (doğrusal interpolasyonla bulunan) yükseklikleriyle, hesaplanan yükseklikleri arasındaki farklar, farklar ortalaması ve standart sapma hesaplanmıştır. Farklar ortalamasının sıfırdan farklı olup olmadığının testi yapılmış ve ayrıca farkların normal dağılımda olup olmadığı test edilmiştir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada 200*200 m' lik bir alana ait 87 nokta dayanak noktası olarak kullanılmıştır. Bunlar x,y,z 'si ile belirli noktalardır. Bu alan üzerine 10 m aralıkla bir kare grid ağı döşenmiş ve QuickBASIC dilinde yazılan iki interpolasyon programıyla (Multikvadrik ve Parça Parça Bilineer İnterpolasyon) dayanak nokta verileri kullanılarak 289 noktanın x,y,z koordinatları interpolasyonlarla hesaplanmıştır. Bu kare gride ait noktaların koordinatları ayrıca pafta üzerinden doğrusal interpolasyonla hesaplanmıştır. Doğrusal interpolasyonla elde edilen yüksekliklerden interpolasyon programlarıyla elde edilen yükseklik değerlerinin farkları alınarak bu farklara ilişkin 2 küme elde edilmiştir. Bu kümelere T-testi uygulanarak v farklarının ortalama değerlerinin sıfırdan farklı olup olmadığı ve Çarpıklık-Basıklık testi uygulanarak normal dağılımda olup olmadıkları irdelenmiştir.

Multikvadrik interpolasyonda T-testi uygulanarak 289 grid noktası için v farklarının ortalama değeri -0,021 (m), interpolate edilen bir noktanın satandart sapması $\pm 0,138$ (m), v farklarının ortalama değerinin ortalama hatası $\pm 0,008$ (m) ve test büyüklüğü 2.61 olarak bulunmuştur. Test büyüklüğü t-dağılımı tablolarından alınan sınır değerle karşılaştırılarak $T > q$ olduğu yani farklar ortalamasının sıfırdan farklı olduğu. Yine Multikvadrik interpolasyonda Çarpıklık-Basıklık testi uygulanarak Çarpıklık -0,364, Basıklık 2.178 ve bu değerlerle hesaplanan test büyüklüğü 63.482 olarak bulunmuştur. Test büyüklüğü serbestlik derecesi iki olan Şi Kare dağılım tablosundan alınan sınır değerle karşılaştırılarak test büyüklüğünün sınır değerden büyük olduğu görülmüştür. Bu v farklarının normal dağılımda olmadığı anlamına gelir.

Parça Parça Bilineer interpolasyonda yapılan analiz sonucu v farklarının ortalama ortalama değeri -0.032 m, satandart sapmanın $\pm 0,251$ (m), v farklarının ortalama değerinin ortalama hatası $\pm 0,014$ (m) ve test büyüklüğü 2.163 olarak bulunmuştur. $T > q$ olduğundan farklar ortalamasının sıfırdan farklı olduğu görülmüştür. Uygulanan Çarpıklık-Basıklık testi ile Çarpıklığın -0,647, Basıklığın 1.380 ve test büyüklüğünün 40.077 olarak çıktığı gözlenmiştir. Test büyüklüğünün sınır değerden daha büyük olmasına bağlı olarak v farklarının normal dağılımda olmadığı söylenebilir.

4. İRDELEME

Bu çalışmada Multikvadrik ve Parça Parça Bilineer İnterpolasyonlarla elde edilen yüksekliklerin doğrusal interpolasyonla pafta üzerinden okunan yüksekliklerinden farkları alınarak elde edilen v farklarına uygulanan T-testi sonucu farklar ortalamasının sıfırdan farklı olduğu, Çarpıklık-Basıklık testi ile farklara ait kümelerin normal dağılımda olmadıkları gözlenmiştir.

Her iki yöntemle değişik zamanlarda ayrı ayrı yapılmış ve yayınlanmış çalışmalarda farklar ortalamasının sıfırdan farklı olduğu yani interpolasyonla elde edilen yüzeyin ölçülen yüzeyden daha alçak olduğu ve farklar ortalamasının sıfır kabul edilebildiği sonuçlar bulunmuştur. Yine bu çalışmalarda farklar kümelerine uygulanan testler sonucu farkların normal dağılımda oldukları tespitlerinin yanında normal dağılımda olmadıkları gözlenmiştir.

Bu çalışmada yöntemlerin belirlenen doğrulukları tek bir örnekleme sıklığına göredir. Örnekleme noktalarının sıklığının artması durumunda interpolasyon yöntemlerinin doğruluğunun arttığı yapılan diğer çalışmalarla tespit edilmiştir .

Sayısal Yükseklik Modeli üretiminde ağırlıklı olarak bilgisayar desteği gerekmektedir. Mevcut programlama dili derleyicilerinin limitlerinin çok büyük veri grupları ile çalışmayı zorlaştırdıkları yapılan tüm çalışmaların ortak kanaatidir.

5. SONUÇLAR

Multikvadrik interpolasyonda birinci ve ikinci derece polinomlarla elde edilen trendlerle yapılan interpolasyonlar arasında bir fark olmadığı için bu çalışmada trend yüzeyi olarak 1. derece bir polinom kullanılması yeterli görülmüştür.

Parça Parça Bilineer interpolasyonda çalışma alanı bindirmeli olarak dört bölgeye ayrılmıştır. Dayanak noktalarına ait düzeltme denklemleri ve şekil düzeltme denklemlerinden oluşturulan matrislerinin boyutlarının büyük olması ve buna bağlı olarak işlem süresinin artması bizi böyle bir uygulamaya itmiştir.

Bu çalışmada her iki yöntemle yapılan interpolasyonlarla en iyi sonuç $\pm 0,138$ (m) standart sapma ile Multikvadrik interpolasyonla elde edilmiştir.

Multikvadrik interpolasyonda algoritmanın ters matris hesabını gerektirmesi dayanak nokta sayısının artmasının hesaplama zamanını arttıracığı görülmektedir.

Parça Parça Bilineer interpolasyonda işlem süresi dayanak nokta sayısına ve şekil düzeltme denklemleri sayısına bağlıdır.

Her iki yöntemle üretilen nokta sayısı dayanak nokta sayısından kat kat fazla olması nedeniyle oldukça fazla bellek gereksinimi doğururlar. Parça Parça Bilineer interpolasyon algoritma gereği daha fazla bellek kullanır.

Her iki interpolasyonla da büyük veri yığınları ile uğraşıldığından bilgisayar bellek ve hızının optimizasyonu için değişik programlama tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla kullandığımız programlama dilinin kullandığı hafıza kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle küçük bir uyarılma ile kütük operasyonları yapılmıştır. Ancak bu durumda işlem hızı azalmıştır. Özellikle Parça Parça Bilineer interpolasyonun hesabı hatırı sayılır bir zaman dilimini gerektirmiştir.

Taranan yayınlarda interpolasyon yazılımları için kullanılabilir matematik modellerin bulunmaması nedeniyle extra bir sayısal çözümlene bilgisi ve profesyonel programlama yardımı alınmasını gerektirmiştir.

Her iki interpolasyonla yapılan bu deneysel çalışma ile elde edilen duyarlıklar çerçevesinde Multikvadrik ve Parça Parça Bilineer interpolasyon yöntemiyle hesaplanan yükseklik değerleri topoğrafik harita üretiminde olduğu kadar çeşitli mühendislik hizmetlerinde kullanılabilir nitelikleri taşımaktadır.



6. ÖNERİLER

Multiküadrik interpolasyonda multiküadrik yüzeyin katsayılarının hesabı tüm yüzey için aynı anda hesaplanmasını gerektirir. Yapılan uygulamada buna dikkat edilmelidir. Eğer bellek ve zaman sınırlaması varsa toplam alan bindirmeli olarak alt bölgelere ayrılmalıdır. Böylelikle alt bölgelerin sınırları boyunca oluşabilecek uyumsuzluklardan kaçınılmalıdır.

Parça Parça Bilineer interpolasyonda ise i, j sayıda oluşturulacak grid noktaları için i, j boyutlu normal denklem sisteminin çözülmesi gerekir. Dolayısıyla büyük boyutlu matrislerin hesabı yerine uygulama alanı bindirmeli olarak alt bölgelere ayrılması yerinde ve gerekli bir uygulama olur.

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği hizmetlerinin otomasyonu sonucu elde edilen verilerin işlenmesi Sayısal Yükseklik Modelleri uygulamaları için yeterli ve gerekli olduğundan bu alanda yapılacak çalışmalar hızlandırılmalıdır.

Sayısal Yükseklik Modellerinin elde edilmesinde söz konusu olan her adımda bilgisayar kullanılması gerekir. Kullanılan bilgisayar programının hafıza kapasitesini sınırlamaması gerekir.

Sayısal Yükseklik Modellerinin oluşturulmasından sonra yapılacak hesaplama ve analiz işlemlerinin oldukça hızlı ve ekonomik olması bu alanda yapılacak çalışmalara destek verilmesini gerektiren önemli unsurlardan sadece birisidir.

Duyarlığı yüksek ölçme teknikler ile elde edilen yükseklik bilgilerinden türemiş Sayısal Yükseklik Modelleri kullanılarak her türlü planlamanın yapılabilmesi ve ekranda bunların kontrolünün mümkün olması nedeniyle SYM çalışmalarına hız verilmelidir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Kennie, T. J. M. ve Petrie, G., Terrain Modelling In Surveying and Civil Engineering, Thomas Telford Ltd., London, 1990.
- [2] Burrough, P.A., Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University Press, New York, 1986.
- [3] Önder, M., Sayısal Yükseklik Modellerinde Genel Durum ve Gelişmeler, Harita Dergisi, Sayı 110, (1993) 67-76.
- [4] Koyuncu, D., Sayısal Arazi Modelleri, Harita Dergisi, Sayı 87, (1981) 51-61.
- [5] Güler, A, Sayısal Arazi Modellerinde Enterpolasyon Yöntemleri, Harita Dergisi, Sayı 85, (1978) 53-69
- [6] Özer, H., Sayısal Arazi Modeli Oluşturma Yöntemleri, Harita Dergisi, Sayı 102, (1989) 15-22.
- [7] Güler, A., Sayısal Arazi Modellerinde İki Enterpolasyon Yöntemi ile Denemeler, K.T.Ü. Araştırma ve inceleme Yayınları Dizisi, Genel Yayın No 22, Fakülte Yayın No 19, Trabzon, 1983.
- [8] Doğaray, K., Sayısal Yükseklik Modelleri ve Lineer En Küçük Kareler Enterpolasyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Müh.Mim. Fakültesi, Trabzon, 1987.
- [9] Sarbanoğlu, H., Coğrafi Bilgi Sistemleri İçin Veri Toplama Yöntemleri, Harita Dergisi, Sayı 107, (1991) 51-81
- [10] Güler, A., Sayısal Yükseklik Modellerinde Parça Parça Bilineer Yüzeylemlerle Enterpolasyon, I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Şubat 1987 ,Ankara, 1-18.
- [11] Özer, H., ve Yıldırım, A., 1/25.000 Ölçekli Haritalardan SYM Üretimi ve Kullanım Alanları, Uluslararası Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, 9-10 Haziran 1993, Konya, S. Ü. Bilgisayar Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Tebliğler Kitabı, 197-206.

- [12] Maraş, H.H., Sayısal Arazi Modeli Ürünleri, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Müh. Mim. Fakültesi, Konya, 1993.
- [13] Cömert, Ç., Sayısal Yükseklik Modeli ve Multikvadrik Enterpolasyon Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Müh. Mim. Fakültesi, Trabzon, 1988.



8. EKLER

Ek 1 : Dayanak Nokta Koordinatları

Ek 2 : Paftadan Okunan Yükseklikler, İnterpolasyonlarla Elde Edilen Yükseklikler ve Aralarındaki Farklar

Ek 3 : Uygulama Bölgesinin Haritası

Ek 4 : Dayanak Nokta Koordinat Değerlerinden Winsurf ile çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek 5 : Haritadan Doğrusal İnterpolasyonla Okunan Değerlerden Winsurf ile Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek 6 : Multikvadrik İnterpolasyonla Üretilmiş Değerlerden Winsurf ile Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek 7 : Parça Parça Bilineer İnterpolasyonla Üretilmiş Değerlerden Winsurf ile Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek 8 : Multikvadrik İnterpolasyonla Üretilen ve Doğrusal İnterpolasyonla Hesaplanan Değerlerin Farklarına Ait Değerlerden Winsurf İle Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek 9 : Parça Parça Bilineer İnterpolasyonla Üretilen ve Doğrusal İnterpolasyonla Hesaplanan Değerlerin Farklarına Ait Değerlerden Winsurf İle Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek 10 : Dayanak Noktalarının Pafta Üzerinde Gösterimi

Ek -1

No	X	Y	H	No	Y	X	H
1	755.41	751.54	33.12	44	819.76	869.50	30.09
2	722.50	767.34	28.20	45	820.43	840.14	32.26
3	746.78	777.67	31.57	46	822.50	837.72	32.52
4	721.51	791.41	26.29	47	811.31	848.97	30.28
5	745.28	812.95	27.99	48	801.68	813.24	33.64
6	717.36	828.80	24.32	49	803.63	810.45	33.98
7	741.73	838.69	25.49	50	778.00	780.83	35.60
8	714.79	847.72	22.41	51	775.43	782.75	35.06
9	739.69	869.46	22.45	52	769.25	773.72	34.48
10	714.23	884.92	19.19	53	767.25	776.72	34.34
11	730.15	906.56	15.13	54	797.57	767.65	39.03
12	709.91	916.46	13.97	55	823.12	756.61	42.14
13	733.96	937.60	15.51	56	816.24	794.77	36.86
14	708.89	935.84	10.89	57	844.72	765.75	42.20
15	817.83	949.89	20.43	58	859.42	768.52	43.05
16	846.78	939.69	25.68	59	832.58	815.89	35.52
17	771.10	939.78	16.44	60	847.50	807.61	36.72
18	798.79	942.08	18.81	61	881.43	787.75	42.03
19	826.96	919.57	26.30	62	851.42	841.18	35.20
20	813.43	917.05	23.87	63	874.07	822.12	37.885
21	784.73	931.94	17.82	64	896.69	851.54	37.62
22	761.93	931.41	17.16	65	888.65	891.61	34.28
23	804.81	883.64	27.42	66	713.34	754.07	25.71
24	775.43	892.91	22.02	67	895.04	935.78	32.36
25	756.31	906.93	19.13	68	876.78	880.47	34.44
26	802.33	859.54	28.87	69	862.46	866.65	34.16
27	770.21	882.97	21.45	70	872.82	849.86	36.21
28	753.32	887.10	19.01	71	785.43	865.66	26.72
29	786.27	828.94	30.27	72	781.48	763.46	35.83
30	763.41	846.76	26.19	73	738.03	758.52	30.71
31	747.44	863.41	23.71	74	791.36	912.07	21.23
32	778.38	819.25	31.14	75	831.35	784.19	38.47
33	752.03	825.16	27.73	76	857.52	792.09	39.29
34	767.57	793.34	32.16	77	898.01	812.34	40.26
35	878.17	932.90	29.91	78	827.89	883.44	29.77
36	889.33	911.87	32.60	79	795.80	751.61	37.68
37	885.67	915.29	32.47	80	882.21	761.97	44.04
38	856.96	914.98	30.72	81	842.21	833.07	34.82
39	863.86	894.24	32.67	82	865.91	814.31	37.35
40	868.17	892.47	32.98	83	890.60	799.50	40.84
41	837.97	897.50	30.18	84	899.49	784.19	42.83
42	838.49	864.09	32.81	85	801.72	785.68	35.78
43	840.54	861.28	33.04	86	815.06	775.80	37.70
				87	895.54	832.09	38.70

Ek - 2

<i>No</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>H</i>	<i>MIH</i>	<i>PIH</i>	<i>MIH- H</i>	<i>PIH- H</i>
1	770,00	720,00	27,52	27,55	27,21	0,03	-0,31
2	780,00	720,00	27,02	26,95	26,86	-0,07	-0,16
3	790,00	720,00	26,17	26,20	26,42	0,03	0,25
4	800,00	720,00	25,71	25,77	25,96	0,06	0,25
5	810,00	720,00	25,35	25,36	25,46	0,01	0,11
6	820,00	720,00	24,98	24,95	24,90	-0,03	-0,08
7	830,00	720,00	24,40	24,46	24,26	0,06	-0,14
8	840,00	720,00	23,51	23,62	23,71	0,11	0,20
9	850,00	720,00	22,57	22,76	22,79	0,19	0,22
10	860,00	720,00	21,66	21,90	21,88	0,24	0,22
11	870,00	720,00	20,81	20,95	20,63	0,14	-0,18
12	880,00	720,00	20,02	19,86	19,38	-0,16	-0,64
13	890,00	720,00	18,26	18,26	18,00	0,00	-0,26
14	900,00	720,00	16,50	16,33	16,58	-0,17	0,08
15	910,00	720,00	14,81	14,97	15,31	0,16	0,50
16	920,00	720,00	13,69	14,21	14,27	0,52	0,58
17	930,00	720,00	13,16	13,43	13,36	0,27	0,20
18	770,00	730,00	29,14	29,20	28,93	0,06	-0,21
19	780,00	730,00	28,50	28,59	28,48	0,09	-0,02
20	790,00	730,00	27,63	27,81	27,92	0,18	0,29
21	800,00	730,00	26,87	27,13	27,31	0,26	0,44
22	810,00	730,00	26,48	26,55	26,65	0,07	0,17
23	820,00	730,00	25,88	25,97	25,94	0,09	0,06
24	830,00	730,00	25,27	25,30	25,18	0,03	-0,09
25	840,00	730,00	24,40	24,51	24,55	0,11	0,15
26	850,00	730,00	23,45	23,68	23,55	0,23	0,10
27	860,00	730,00	22,53	22,78	22,52	0,25	-0,01
28	870,00	730,00	21,65	21,64	21,20	-0,01	-0,45
29	880,00	730,00	20,29	20,11	19,81	-0,18	-0,48
30	890,00	730,00	18,30	18,34	18,36	0,04	0,06
31	900,00	730,00	16,44	16,43	16,99	-0,01	0,55
32	910,00	730,00	15,19	15,14	15,87	-0,05	0,68
33	920,00	730,00	15,02	15,10	15,12	0,08	0,10
34	930,00	730,00	14,97	14,97	14,49	0,00	-0,48
35	770,00	740,00	30,65	30,75	30,55	0,10	-0,10
36	780,00	740,00	30,19	30,25	30,06	0,06	-0,13
37	790,00	740,00	29,22	29,37	29,40	0,15	0,18
38	800,00	740,00	28,32	28,48	28,65	0,16	0,33
39	810,00	740,00	27,62	27,67	27,83	0,05	0,21
40	820,00	740,00	26,90	26,94	26,98	0,04	0,08
41	830,00	740,00	26,15	26,15	26,09	0,00	-0,06
42	840,00	740,00	25,26	25,26	25,38	0,00	0,12
43	850,00	740,00	24,32	24,45	24,29	0,13	-0,03
44	860,00	740,00	23,41	23,58	23,18	0,17	-0,23
45	870,00	740,00	22,31	22,35	21,79	0,04	-0,52
46	880,00	740,00	20,46	20,34	20,27	-0,12	-0,19
47	890,00	740,00	18,47	18,59	18,84	0,12	0,37

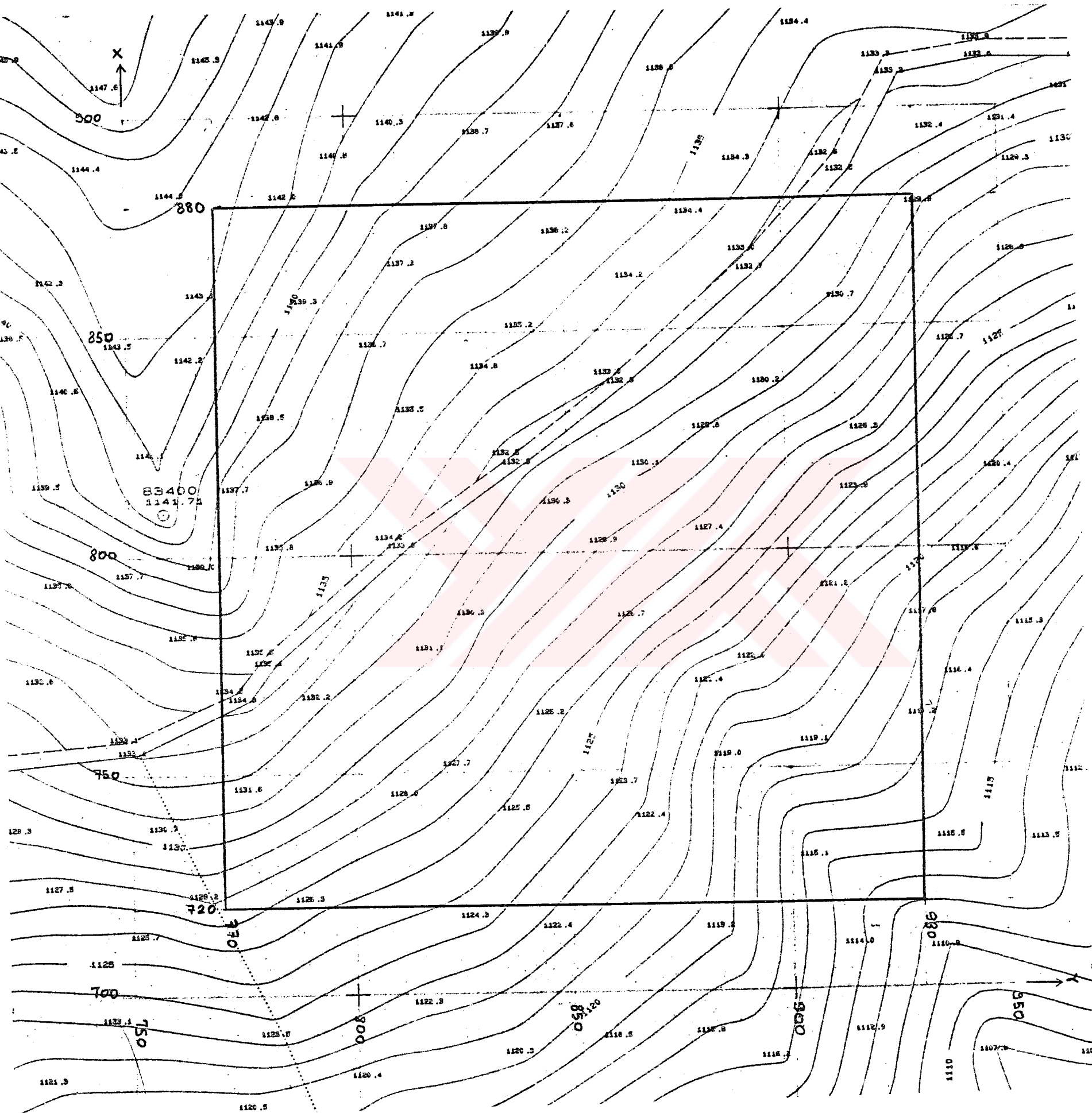
<i>No</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>H</i>	<i>MIH</i>	<i>PIH</i>	<i>MIH- H</i>	<i>PIH- H</i>
48	900,00	740,00	16,96	17,29	17,64	0,33	0,68
49	910,00	740,00	16,70	16,49	16,71	-0,21	0,01
50	920,00	740,00	16,42	16,21	16,02	-0,21	-0,40
51	930,00	740,00	16,28	16,01	15,46	-0,27	-0,82
52	770,00	750,00	32,21	32,20	32,07	-0,01	-0,14
53	780,00	750,00	31,76	31,75	31,55	-0,01	-0,21
54	790,00	750,00	30,67	30,73	30,81	0,06	0,14
55	800,00	750,00	29,78	29,72	29,93	-0,06	0,15
56	810,00	750,00	28,90	28,80	28,99	-0,10	0,09
57	820,00	750,00	27,98	27,96	28,01	-0,02	0,03
58	830,00	750,00	27,10	27,05	27,01	-0,05	-0,09
59	840,00	750,00	26,02	26,04	26,19	0,02	0,17
60	850,00	750,00	25,13	25,09	25,02	-0,04	-0,11
61	860,00	750,00	24,16	24,13	23,84	-0,03	-0,32
62	870,00	750,00	22,67	22,54	22,33	-0,13	-0,34
63	880,00	750,00	20,52	20,43	20,79	-0,09	0,27
64	890,00	750,00	19,02	18,81	19,44	-0,21	0,42
65	900,00	750,00	18,39	18,39	18,45	0,00	0,06
66	910,00	750,00	18,18	17,95	17,64	-0,23	-0,54
67	920,00	750,00	17,63	17,27	16,91	-0,36	-0,72
68	930,00	750,00	16,83	16,64	16,25	-0,19	-0,58
69	770,00	760,00	33,31	33,46	33,47	0,15	0,16
70	780,00	760,00	32,92	33,00	32,93	0,08	0,01
71	790,00	760,00	31,64	31,89	32,11	0,25	0,47
72	800,00	760,00	30,76	30,82	31,15	0,06	0,39
73	810,00	760,00	29,94	29,93	30,11	-0,01	0,17
74	820,00	760,00	29,02	29,01	29,04	-0,01	0,02
75	830,00	760,00	28,00	27,95	27,94	-0,05	-0,06
76	840,00	760,00	26,77	26,78	27,00	0,01	0,23
77	850,00	760,00	25,68	25,65	25,77	-0,03	0,09
78	860,00	760,00	24,43	24,50	24,54	0,07	0,11
79	870,00	760,00	23,16	22,89	23,00	-0,27	-0,16
80	880,00	760,00	21,34	20,98	21,54	-0,36	0,20
81	890,00	760,00	19,93	19,76	20,31	-0,17	0,38
82	900,00	760,00	19,74	19,51	19,38	-0,23	-0,36
83	910,00	760,00	19,19	19,07	18,56	-0,12	-0,63
84	920,00	760,00	18,26	18,08	17,74	-0,18	-0,52
85	930,00	760,00	17,31	17,19	16,95	-0,12	-0,36
86	770,00	770,00	34,55	34,64	34,75	0,09	0,20
87	780,00	770,00	34,28	34,45	34,22	0,17	-0,06
88	790,00	770,00	32,90	33,09	33,32	0,19	0,42
89	800,00	770,00	31,78	31,93	32,27	0,15	0,49
90	810,00	770,00	31,02	31,06	31,17	0,04	0,15
91	820,00	770,00	30,13	30,08	30,04	-0,05	-0,09
92	830,00	770,00	28,87	28,88	28,87	0,01	0,00
93	840,00	770,00	27,65	27,64	27,84	-0,01	0,19
94	850,00	770,00	26,58	26,48	26,62	-0,10	0,04
95	860,00	770,00	25,18	25,31	25,39	0,13	0,21
96	870,00	770,00	23,60	23,80	23,92	0,20	0,32

<i>No</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>H</i>	<i>MIH</i>	<i>PIH</i>	<i>MIH- H</i>	<i>PIH- H</i>
97	880,00	770,00	22,02	21,97	22,54	-0,05	0,52
98	890,00	770,00	21,35	21,18	21,39	-0,17	0,04
99	900,00	770,00	20,76	20,59	20,40	-0,17	-0,36
100	910,00	770,00	19,84	19,70	19,46	-0,14	-0,38
101	920,00	770,00	18,89	18,61	18,51	-0,28	-0,38
102	930,00	770,00	17,67	17,49	17,58	-0,18	-0,09
103	770,00	780,00	35,75	35,84	35,89	0,09	0,14
104	780,00	780,00	36,33	35,74	35,34	-0,59	-0,99
105	790,00	780,00	34,29	34,41	34,40	0,12	0,11
106	800,00	780,00	32,86	33,13	33,30	0,27	0,44
107	810,00	780,00	32,02	32,13	32,15	0,11	0,13
108	820,00	780,00	31,12	31,14	30,99	0,02	-0,13
109	830,00	780,00	29,66	29,73	29,79	0,07	0,13
110	840,00	780,00	28,59	28,56	28,74	-0,03	0,15
111	850,00	780,00	27,70	27,52	27,56	-0,18	-0,14
112	860,00	780,00	26,57	26,51	26,38	-0,06	-0,19
113	870,00	780,00	25,40	25,25	25,10	-0,15	-0,30
114	880,00	780,00	24,20	23,81	23,83	-0,39	-0,37
115	890,00	780,00	23,02	22,82	22,66	-0,20	-0,36
116	900,00	780,00	21,73	21,75	21,54	0,02	-0,19
117	910,00	780,00	20,66	20,47	20,43	-0,19	-0,23
118	920,00	780,00	19,50	19,16	19,33	-0,34	-0,17
119	930,00	780,00	18,15	17,84	18,25	-0,31	0,10
120	770,00	790,00	37,46	37,33	37,00	-0,13	-0,46
121	780,00	790,00	36,20	36,34	36,25	0,14	0,05
122	790,00	790,00	35,19	35,09	35,27	-0,10	0,08
123	800,00	790,00	34,11	34,00	34,20	-0,11	0,09
124	810,00	790,00	32,97	32,98	33,09	0,01	0,12
125	820,00	790,00	31,82	31,83	31,95	0,01	0,13
126	830,00	790,00	30,61	30,52	30,80	-0,09	0,19
127	840,00	790,00	29,56	29,45	29,58	-0,11	0,02
128	850,00	790,00	28,66	28,50	28,53	-0,16	-0,13
129	860,00	790,00	27,72	27,67	27,48	-0,05	-0,24
130	870,00	790,00	26,91	26,69	26,46	-0,22	-0,45
131	880,00	790,00	25,82	25,49	25,33	-0,33	-0,49
132	890,00	790,00	24,45	24,28	24,12	-0,17	-0,33
133	900,00	790,00	23,02	22,93	22,82	-0,09	-0,20
134	910,00	790,00	21,56	21,41	21,50	-0,15	-0,06
135	920,00	790,00	20,29	20,07	20,23	-0,22	-0,06
136	930,00	790,00	19,18	18,76	19,01	-0,42	-0,17
137	770,00	800,00	38,78	38,64	37,92	-0,14	-0,86
138	780,00	800,00	36,78	36,76	36,93	-0,02	0,15
139	790,00	800,00	35,47	35,46	35,90	-0,01	0,43
140	800,00	800,00	34,63	34,72	34,89	0,09	0,26
141	810,00	800,00	33,82	33,79	33,84	-0,03	0,02
142	820,00	800,00	32,71	32,67	32,75	-0,04	0,04
143	830,00	800,00	31,53	31,44	31,65	-0,09	0,12
144	840,00	800,00	30,43	30,32	30,49	-0,11	0,06
145	850,00	800,00	29,51	29,37	29,52	-0,14	0,01

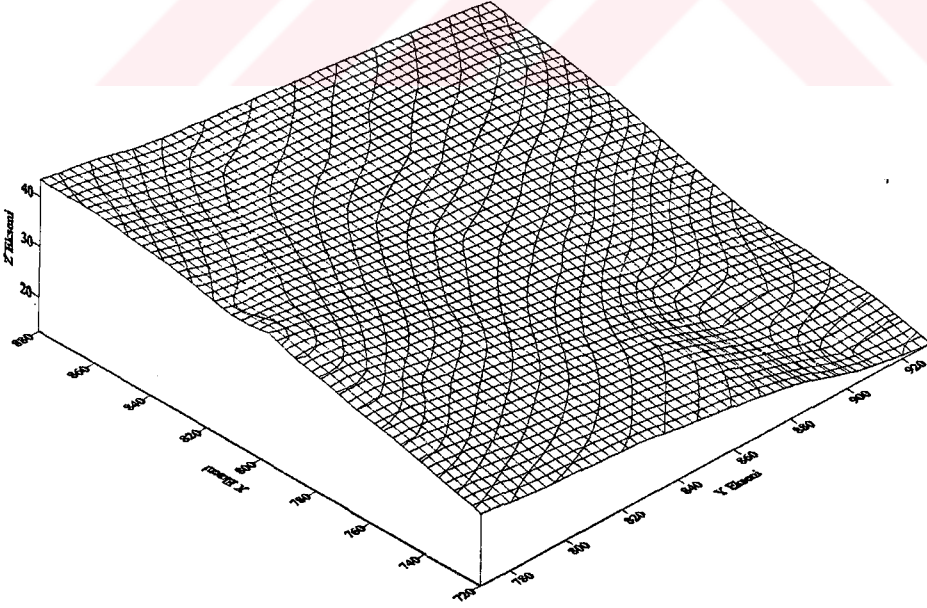
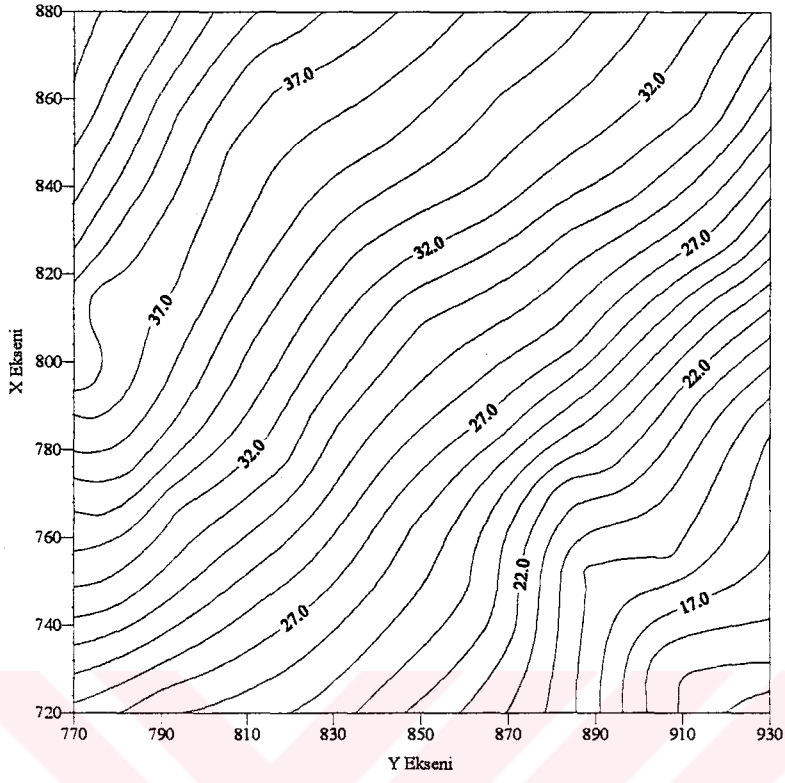
<i>No</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>H</i>	<i>MIH</i>	<i>PIH</i>	<i>MIH- H</i>	<i>PIH- H</i>
146	860,00	800,00	28,66	28,62	28,56	-0,04	-0,10
147	870,00	800,00	27,93	27,87	27,74	-0,06	-0,19
148	880,00	800,00	27,18	27,01	26,73	-0,17	-0,45
149	890,00	800,00	25,82	25,80	25,55	-0,02	-0,27
150	900,00	800,00	24,40	24,33	24,25	-0,07	-0,15
151	910,00	800,00	22,85	22,81	22,88	-0,04	0,03
152	920,00	800,00	21,61	21,42	21,55	-0,19	-0,06
153	930,00	800,00	20,40	20,21	20,26	-0,19	-0,14
154	770,00	810,00	38,93	38,66	38,71	-0,27	-0,22
155	780,00	810,00	37,13	37,16	37,64	0,03	0,51
156	790,00	810,00	36,34	36,37	36,59	0,03	0,25
157	800,00	810,00	35,52	35,62	35,59	0,10	0,07
158	810,00	810,00	34,54	34,56	34,58	0,02	0,04
159	820,00	810,00	33,50	33,45	33,54	-0,05	0,04
160	830,00	810,00	32,42	32,29	32,50	-0,13	0,08
161	840,00	810,00	31,29	31,17	31,41	-0,12	0,12
162	850,00	810,00	30,38	30,12	30,52	-0,26	0,14
163	860,00	810,00	29,67	29,60	29,65	-0,07	-0,02
164	870,00	810,00	29,02	28,98	29,02	-0,04	0,00
165	880,00	810,00	28,28	28,25	28,10	-0,03	-0,18
166	890,00	810,00	27,15	27,15	26,97	0,00	-0,18
167	900,00	810,00	25,77	25,79	25,67	0,02	-0,10
168	910,00	810,00	24,44	24,36	24,28	-0,08	-0,16
169	920,00	810,00	23,12	22,97	22,89	-0,15	-0,23
170	930,00	810,00	21,87	21,76	21,52	-0,11	-0,35
171	770,00	820,00	39,51	39,39	39,48	-0,12	-0,03
172	780,00	820,00	37,90	37,94	38,23	0,04	0,33
173	790,00	820,00	37,35	37,27	37,15	-0,08	-0,20
174	800,00	820,00	36,39	36,43	36,14	0,04	-0,25
175	810,00	820,00	35,32	35,30	35,13	-0,02	-0,19
176	820,00	820,00	34,17	34,21	34,14	0,04	-0,03
177	830,00	820,00	33,14	33,12	33,16	-0,02	0,02
178	840,00	820,00	32,22	32,22	32,20	0,00	-0,02
179	850,00	820,00	31,44	31,35	31,40	-0,09	-0,04
180	860,00	820,00	30,76	30,74	30,62	-0,02	-0,14
181	870,00	820,00	30,09	30,08	30,13	-0,01	0,04
182	880,00	820,00	29,25	29,27	29,32	0,02	0,07
183	890,00	820,00	28,15	28,34	28,39	0,19	0,24
184	900,00	820,00	26,94	27,28	27,33	0,34	0,39
185	910,00	820,00	25,71	26,08	26,15	0,37	0,44
186	920,00	820,00	24,82	24,83	24,88	0,01	0,06
187	930,00	820,00	23,42	23,43	23,54	0,01	0,12
188	770,00	830,00	40,66	40,42	40,35	-0,24	-0,31
189	780,00	830,00	38,89	38,92	39,00	0,03	0,11
190	790,00	830,00	37,82	37,83	37,81	0,01	-0,01
191	800,00	830,00	36,84	36,87	36,74	0,03	-0,10
192	810,00	830,00	35,99	35,89	35,75	-0,10	-0,24
193	820,00	830,00	34,97	34,94	34,84	-0,03	-0,13
194	830,00	830,00	33,98	33,99	33,96	0,01	-0,02

<i>No</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>H</i>	<i>MIH</i>	<i>PIH</i>	<i>MIH- H</i>	<i>PIH- H</i>
195	840,00	830,00	33,20	33,18	33,16	-0,02	-0,04
196	850,00	830,00	32,57	32,54	32,43	-0,03	-0,14
197	860,00	830,00	32,00	31,97	31,69	-0,03	-0,31
198	870,00	830,00	31,25	31,27	31,26	0,02	0,01
199	880,00	830,00	30,48	30,37	30,48	-0,11	0,00
200	890,00	830,00	29,44	29,60	29,64	0,16	0,20
201	900,00	830,00	28,47	28,78	28,69	0,31	0,22
202	910,00	830,00	27,66	27,76	27,59	0,10	-0,07
203	920,00	830,00	26,58	26,63	26,37	0,05	-0,21
204	930,00	830,00	25,02	25,03	25,00	0,01	-0,02
205	770,00	840,00	41,32	41,26	41,17	-0,06	-0,15
206	780,00	840,00	39,77	39,81	39,77	0,04	0,00
207	790,00	840,00	38,36	38,48	38,48	0,12	0,12
208	800,00	840,00	37,25	37,30	37,34	0,05	0,09
209	810,00	840,00	36,33	36,30	36,36	-0,03	0,03
210	820,00	840,00	35,51	35,53	35,51	0,02	0,00
211	830,00	840,00	34,87	34,83	34,75	-0,04	-0,12
212	840,00	840,00	34,27	34,20	34,10	-0,07	-0,17
213	850,00	840,00	33,67	33,60	33,42	-0,07	-0,25
214	860,00	840,00	33,10	33,06	32,73	-0,04	-0,37
215	870,00	840,00	32,22	32,40	32,30	0,18	0,08
216	880,00	840,00	31,69	31,57	31,57	-0,12	-0,12
217	890,00	840,00	30,97	30,88	30,79	-0,09	-0,18
218	900,00	840,00	30,18	30,17	29,93	-0,01	-0,25
219	910,00	840,00	29,15	29,14	28,89	-0,01	-0,26
220	920,00	840,00	27,92	27,89	27,69	-0,03	-0,23
221	930,00	840,00	26,33	26,38	26,34	0,05	0,01
222	770,00	850,00	42,02	42,07	41,91	0,05	-0,11
223	780,00	850,00	40,55	40,62	40,50	0,07	-0,05
224	790,00	850,00	39,12	39,13	39,17	0,01	0,05
225	800,00	850,00	37,88	37,80	37,98	-0,08	0,10
226	810,00	850,00	36,81	36,71	36,98	-0,10	0,17
227	820,00	850,00	36,15	36,09	36,18	-0,06	0,03
228	830,00	850,00	35,77	35,58	35,51	-0,19	-0,26
229	840,00	850,00	35,17	35,13	34,99	-0,04	-0,18
230	850,00	850,00	34,48	34,49	34,33	0,01	-0,15
231	860,00	850,00	33,82	33,84	33,66	0,02	-0,16
232	870,00	850,00	33,14	33,18	33,19	0,04	0,05
233	880,00	850,00	32,57	32,50	32,51	-0,07	-0,06
234	890,00	850,00	31,85	31,87	31,78	0,02	-0,07
235	900,00	850,00	31,15	31,19	30,97	0,04	-0,18
236	910,00	850,00	30,43	30,35	30,02	-0,08	-0,41
237	920,00	850,00	29,20	29,15	28,88	-0,05	-0,32
238	930,00	850,00	27,60	27,60	27,58	0,00	-0,02
239	770,00	860,00	42,88	42,85	42,53	-0,03	-0,35
240	780,00	860,00	41,27	41,35	41,17	0,08	-0,10
241	790,00	860,00	39,76	39,83	39,87	0,07	0,11
242	800,00	860,00	38,57	38,51	38,69	-0,06	0,12
243	810,00	860,00	37,43	37,39	37,68	-0,04	0,25

<i>No</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>H</i>	<i>MIH</i>	<i>PIH</i>	<i>MIH- H</i>	<i>PIH- H</i>
244	820,00	860,00	36,74	36,71	36,88	-0,03	0,14
245	830,00	860,00	36,34	36,29	36,24	-0,05	-0,10
246	840,00	860,00	35,87	35,83	35,79	-0,04	-0,08
247	850,00	860,00	35,22	35,24	35,16	0,02	-0,06
248	860,00	860,00	34,53	34,52	34,51	-0,01	-0,02
249	870,00	860,00	33,84	33,82	33,96	-0,02	0,12
250	880,00	860,00	33,23	33,26	33,31	0,03	0,08
251	890,00	860,00	32,62	32,66	32,62	0,04	0,00
252	900,00	860,00	32,02	32,01	31,85	-0,01	-0,17
253	910,00	860,00	31,27	31,30	30,97	0,03	-0,30
254	920,00	860,00	30,23	30,18	29,91	-0,05	-0,32
255	930,00	860,00	28,61	28,70	28,71	0,09	0,10
256	770,00	870,00	43,12	43,10	42,99	-0,02	-0,13
257	780,00	870,00	42,12	41,99	41,78	-0,13	-0,34
258	790,00	870,00	40,69	40,71	40,58	0,02	-0,11
259	800,00	870,00	39,02	39,38	39,44	0,36	0,42
260	810,00	870,00	38,40	38,21	38,43	-0,19	0,03
261	820,00	870,00	37,57	37,53	37,62	-0,04	0,05
262	830,00	870,00	37,13	37,05	36,97	-0,08	-0,16
263	840,00	870,00	36,57	36,53	36,54	-0,04	-0,03
264	850,00	870,00	36,02	35,98	35,92	-0,04	-0,10
265	860,00	870,00	35,28	35,26	35,29	-0,02	0,01
266	870,00	870,00	34,59	34,58	34,67	-0,01	0,08
267	880,00	870,00	34,01	33,97	34,02	-0,04	0,01
268	890,00	870,00	33,31	33,28	33,33	-0,03	0,02
269	900,00	870,00	32,54	32,60	32,57	0,06	0,03
270	910,00	870,00	31,99	31,85	31,73	-0,14	-0,26
271	920,00	870,00	31,02	30,84	30,77	-0,18	-0,25
272	930,00	870,00	29,66	29,59	29,74	-0,07	0,08
273	770,00	880,00	43,39	43,38	43,38	-0,01	-0,01
274	780,00	880,00	42,52	42,56	42,33	0,04	-0,19
275	790,00	880,00	41,16	41,59	41,27	0,43	0,11
276	800,00	880,00	40,16	40,20	40,18	0,04	0,02
277	810,00	880,00	39,13	39,13	39,21	0,00	0,08
278	820,00	880,00	38,48	38,40	38,39	-0,08	-0,09
279	830,00	880,00	37,81	37,78	37,71	-0,03	-0,10
280	840,00	880,00	37,26	37,04	37,25	-0,22	-0,01
281	850,00	880,00	36,67	36,63	36,63	-0,04	-0,04
282	860,00	880,00	36,02	35,97	36,00	-0,05	-0,02
283	870,00	880,00	35,35	35,31	35,33	-0,04	-0,02
284	880,00	880,00	34,60	34,66	34,65	0,06	0,05
285	890,00	880,00	33,94	33,90	33,94	-0,04	0,00
286	900,00	880,00	33,12	33,13	33,20	0,01	0,08
287	910,00	880,00	32,47	32,39	32,41	-0,08	-0,06
288	920,00	880,00	31,74	31,61	31,60	-0,13	-0,14
289	930,00	880,00	30,61	30,53	30,76	-0,08	0,15

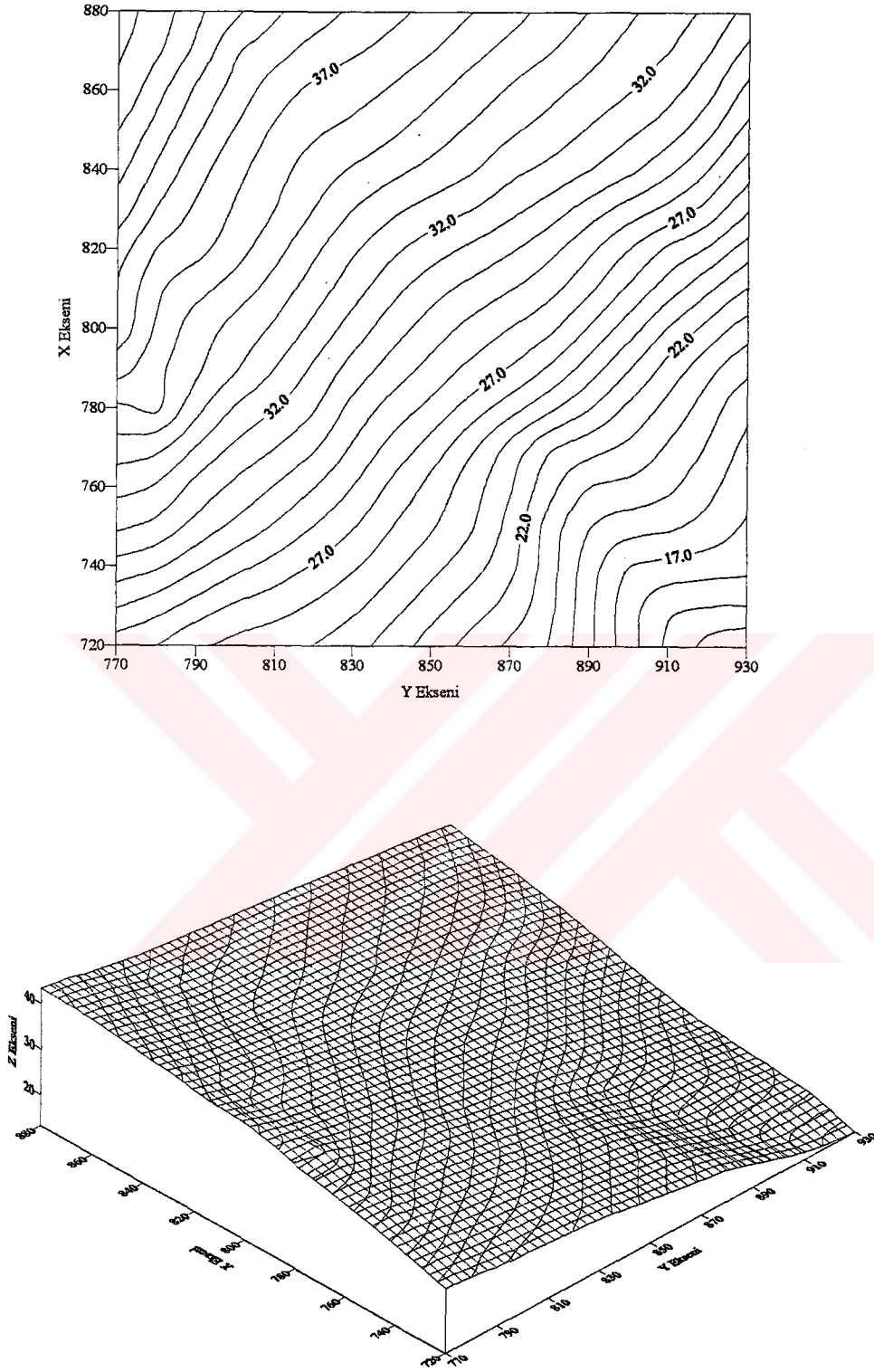


Ek - 4



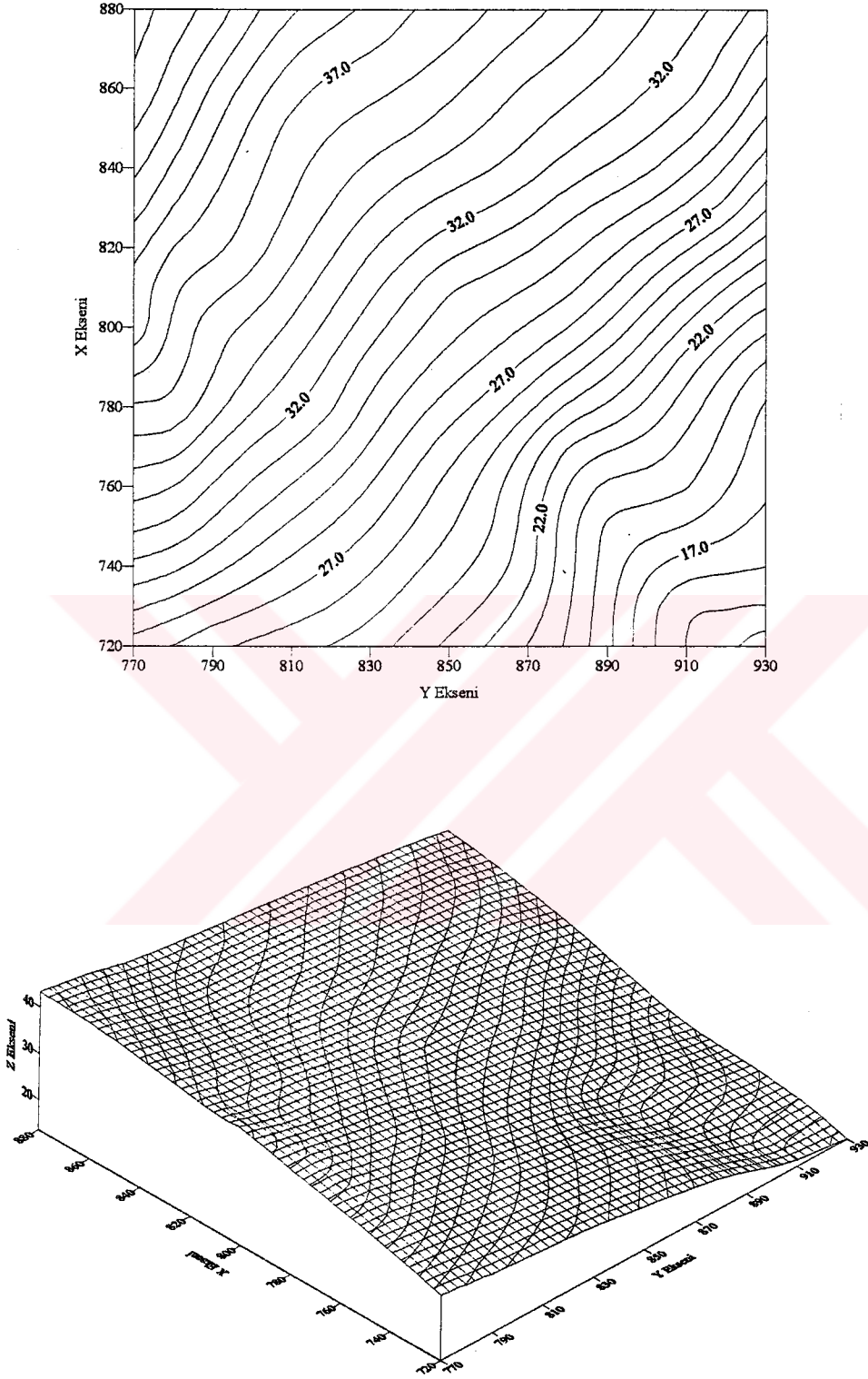
Ek Şekil 1 : Dayanak Nokta Koordinat Değerlerinden Winsurf ile çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek - 5



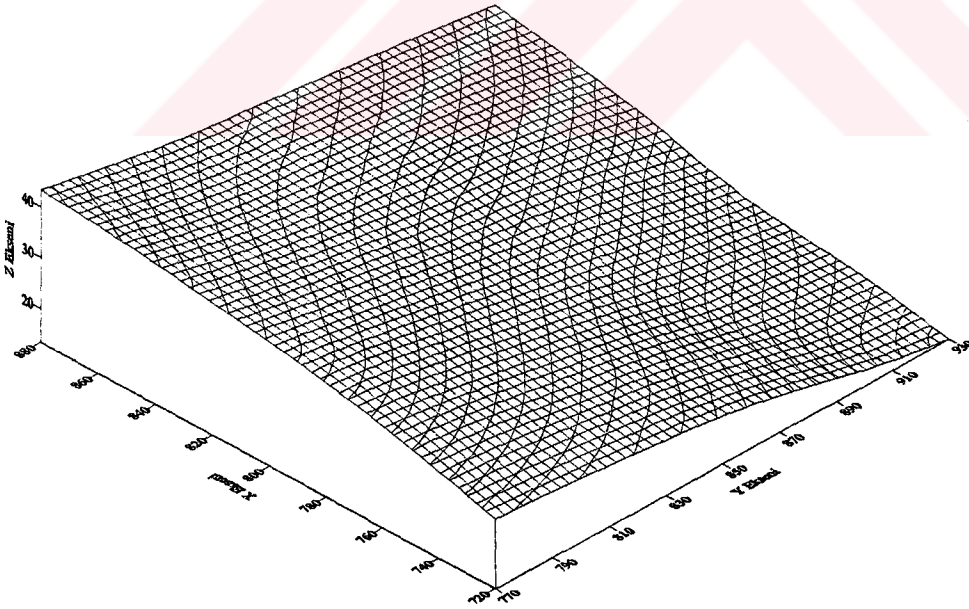
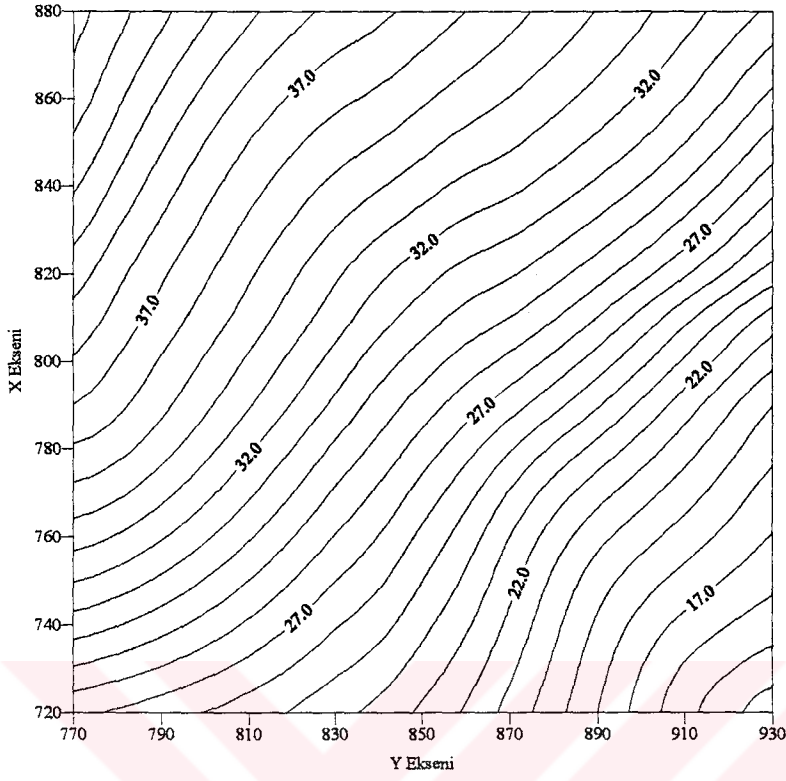
Ek Şekil 2 : Haritadan Doğrusal İnterpolasyonla Okunan Değerlerden Winsurf ile Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek - 6



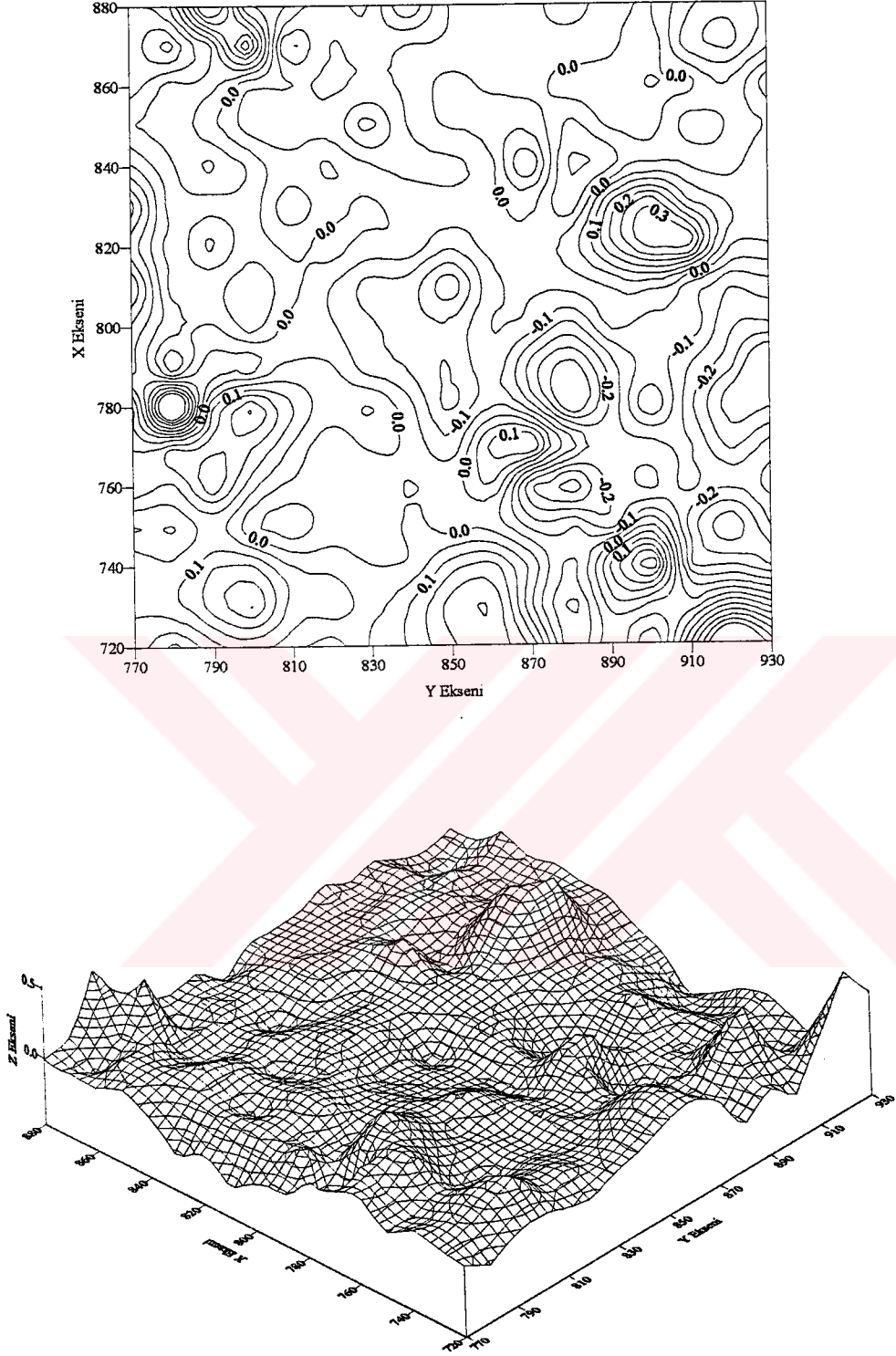
Ek Şekil 3 : Multikvadrik İnterpolasyonla Üretilmiş Değerlerden Winsurf ile Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek - 7



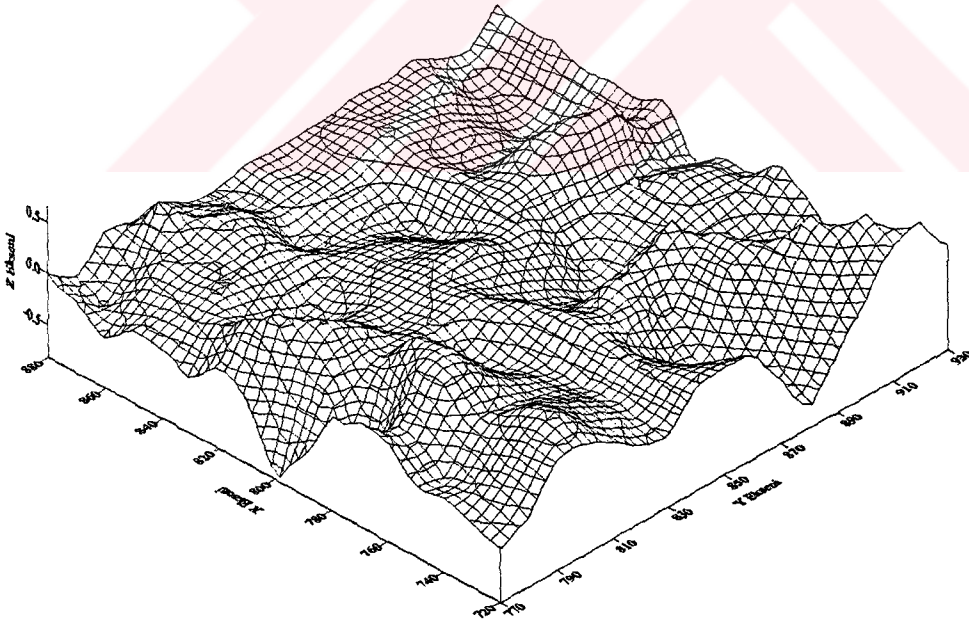
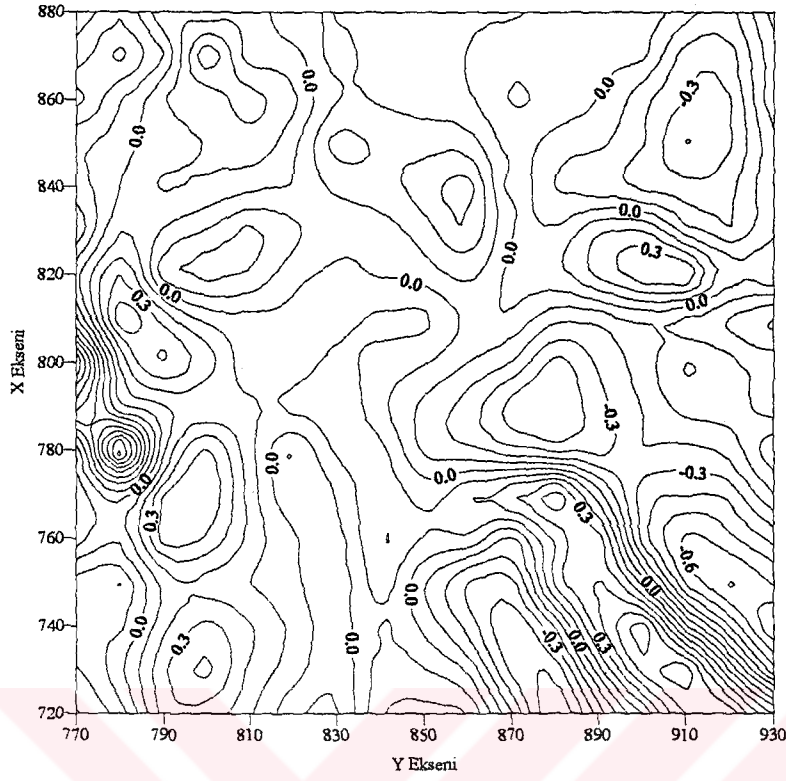
Ek Şekil 4 : Parça Parça Bilineer İnterpolasyonla Üretilmiş Değerlerden Winsurf ile Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek - 8



Ek Şekil 5 : Multikvadrik İnterpolasyonla Üretilen ve Doğrusal İnterpolasyonla Hesaplanan Değerlerin Farklarına Ait Değerlerden Winsurf İle Çizilmiş EYE ve Yüzey

Ek - 9



Ek Şekil 6 : Parça Parça Bilineer İnterpolasyonla Üretilen ve Doğrusal İnterpolasyonla Hesaplanan Değerlerin Farklarına Ait Değerlerden Winsurf İle Çizilmiş EYE ve Yüzey

9. ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Trabzon' da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Trabzon' da tamamladı. 1988 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptı. 1992 yılında bölümün lisans programını tamamladı. Aynı yıl adı geçen bölümde Yüksek Lisans programına başladı. 1993 yılında Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu göreve devam etmektedir. Bildiği yabancı dil İngilizcedir.

Trabzon, Ocak 1996

Temel BAYRAK