

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

TEZ NUMARASI

Genel :

Anabilim Dalı :

Program :

AÇIK MADEN OCAKLARI TIPİNDEKİ ARAZİLERDE
MULTİKUADRIK ENTERPOLASYON YÖNTEMİ İLE OLUŞTURULAN
SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNİN DOĞRULULUĞU

MEHMET AKİF ŞENDİNÇ

YÖNETİCİ : Yrd.Doç.Dr. Attila GÜLER

TRABZON

MART 1987

ÖNSÖZ

Bu çalışma; Karadeniz Üniversitesi'ne bağlı Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında bana destek olan ve her türlü yardımı esirgemeyen sayın Yrd.Doç.Dr. Attila GÜLER'e ve tüm hocalarımın teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

1.1. TEZİN AMACI	1
1.2. ÇALIŞMANIN İÇERİĞİ	2
2. SAYISAL ARAZİ MODELLERİ	3
2.1. SAYISAL ARAZİ MODELLERİNİN TANIMI, TARİHÇESİ VE KULLANILMA ALANLARI	3
2.2. SAYISAL HARİTA YAPIMINDA, SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDEN BEK- LENTİLER	7
2.3. SAYISAL ARAZİ MODELLERİNİN İÇERİĞİ	8
2.4. SAYISAL ARAZİ MODELLERİ KULLANIMINDA ARAZİ SINIFLAMASI . . .	9
2.4.1. Arazi Sınıflaması Gerekliliği	9
2.4.2. Sınıflamada kullanılabilecek ölçütler	10
2.4.3. Arazi sınıflamasından Beklenen özellikler	12
2.4.4. SAM'de silar tarafından yapılmış olan Arazi Sınıflaması	13
2.5. GİRİŞ VERİLERİNİN TOPLANMASI	15
2.6. VERİ KAYNAKLARI	16
2.7. KAĞIT ORTAMLARI	16
2.8. HARİTA VE İLGİLİ BELGELERDEN VERİ TOPLAMA	17
2.9. NOKTALARIN ÖRNEKLENMESİ	18
2.10.ÖRNEKLEME KONTROLÜ	19
2.11.VERİ DAĞILIMI	21
2.11.1. Düzgün gridler	24
2.11.2. Eşyükselti eğrileri	24
2.11.3. Morfolojik Çizgiler ve Noktalar.	25
2.11.4. Düzgün olmayan Gridler	26
2.12.ÖRNEKLEME YOĞUNLUĞU	26
2.13.VERİLERİN İŞLENMESİ	31
2.14.SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDEN ELDE EDİLEN ÇIKIŞ VERİLERİ. . .	32

6.	SAYISAL UYGULAMALAR	71
6.1.	VERİLERİN HAZIRLANMASI	71
6.1.1.	Test Bölgesinin tanıtımı	72
6.2.	HESAPLANMA İŞLEMLERİ	75
6.2.1.	Oluşturulan Modelin Denetlenmesi	77
6.2.2.	İstatistik Test Sonuçları	77
7.	SONUÇLAR	87

KAYNAKÇA

KISALTMALAR

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Bu tezde; açık maden ocağı tipi bir arazinin sayısal modelini, rasgele ve karakteristik dağılım gösteren örnekleme noktalarından yararlanarak oluşturmak için multiküadrik enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

Sayısal arazi modelinin içeriğini birbirinden farklı üç bölümde düşünmek olasıdır.

- Bilgi toplama
- Enterpolasyon işlemi,
- Yardımcı işlemler.

Bu üç aşama birbirleriyle sıkı bir ilişki içinde olup, herhangi bir aşamadaki aksama diğer aşamalarda düzeltilmesi olanaksız yanlışlar oluşturacaktır.

Verilerin toplanması ve bu veriler yardımıyla ara bilgilerin enterpolasyonla üretilmesinin pratik gereksinimlere yanıt vermesi ölçüsünde sayısal arazi modellerinin harita üretim amaçlı kullanımının anlamlı ve etkin olacağı açıktır. Bu etkinliğin sağlanması ise hız, doğruluk ve ekonomi prensiplerinin en uygunlaştırılması ölçüsünde söz konusudur.

1. GİRİŞ

1.1 TEZİN AMACI

Son yıllarda sayısal arazi modelleri uygulamaları giderek artmış ve sürekli bir gelişim içerisine girmiştir. Buna paralel olarak topografik haritalarda eşyükseklik eğrilerinin otomatik çizimi, mevcut haritaların sayısallaştırılması amacı ile Fotogrametri ve Kartografya da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tezde amaç; mevcut donanım ve yazılımlar çerçevesinde, multi-kuadrik enterpolasyon yöntemi ile açık maden ocağı tipindeki arazilerde sayısal yükseklik modeli kullanımının doğruluğu araştırılmıştır.

1.2 ÇALIŞMANIN İÇERİĞİ

Tezin amacı paralelinde sayısal arazi modelleri bütün olarak ele alınmış, verilerin toplanmasından çıkış verilerinin elde edilmesine kadar tüm aşamalar ayrı ayrı incelenmiştir. En küçük kareler predikasyonu adı altında konunun genel bir incelemesi yapılmış, sonraki bölümde sayısal arazi modellerinde ki farklı enterpolasyon yöntemleri ve kullanılabilirliği formüle edilerek aktarılmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın uygulama bölümünde sayısal yükseklik modelinin oluşturulan modelde doğruluğu denenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

2. SAYISAL ARAZİ MODELLERİ

2.1 SAYISAL ARAZİ MODELLERİNİN TARİHÇESİ VE KULLANILMA ALANLARI

SayısalA modelleri (SAM), araziye uygulanan bir yüzey uydurma (Yüzey yaklaşımı) problemidir. Yaklaşık 30 yıl öncesinden bu yana kullanılagelen sayısal arazi modelleri bugün, elektronik teknolojisindeki gelişme ile birlikte,

- . bilgisayar olanaklarının artması,
- . otomatik çizim sistemlerinin geliştirilmesi,
- . grafik görüntü ekranlarının geliştirilmesi,
- . sayısal çıkış veren veya otomatik kayıt yapan veri derleme aletlerinin (kartografik sayısallaştırıcı, analitik ve analog değerlendirme aletleri, elektronik takeometre, vb.) geliştirilmiş olması sonucunda, gelişmiş ülkelerdeki sanayi, mimarlık, inşaat mühendisliği ve haritacılık alanlarında yaygın olarak uygulanmaktadır.

Referans düzlemi üstündeki bir yüzeyden örneklenen bir grup veriye, iki değişkenli bir fonksiyonun uydurulması problemi, bilim ve teknolojinin çeşitli alanlarında ortaya çıkmaktadır. Örneğin: Teknolojide uçakların, otomobillerin, gemilerin, tıpta kalp yüzeyinin, jeolojide yer kabuğu tabakalarının, haritacılıkta deniz dibi ve yer üstü topografik yapının bilgisayar destekli geometrik biçimlendirilmeleri yapılarak yüzeyler modellenmektedir.

Sayısal Arazi Modeli uygulamaları son on yıl içinde giderek artmış, eşyükseklik eğrilerinin otomatik çizimi, ortofoto haritaların üretimi, mevcut haritaların sayısallaştırılması, genelleştirme çalışmaları ile çevrim dışı (off-line) yapılan sayısal tek resim değerlendirilmesinin güdümü, planlama amaçlarına yönelik eğim haritalarının yapımı, en ve boy kesitlerin çizgisel gösterimi, hacimlerin belirlenmesi, aksonometrik izdüşümlerle perspektif görümlerinin çizimi için etkin ve yararlı bir araç olarak kullanılmakta ve topografik veri bankalarının omurgasını oluşturmaktadır.

Günümüzün bilimsel ve teknolojik düzeyi, sayısal harita yapımına ve haritaların güncelleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu anlamda haritalar, yeryüzünün doğal biçimi ve yapay tesislerinin modeli olarak ya birer matematik fonksiyon kümeleri ya da sayı kümeleri biçiminde olmaktadır. Bu modeller topografya, jeoloji, ormancılık, ziraat, istatistik, ticaret, ekonomi gibi çeşitli bilim alanlarına ait bilgileri içerecek şekilde bir kez genel amaçlı olarak oluşturulduktan sonra, bunlardan değişik ölçeklerde, değişik pafta bölümleri ve boyutları olan değişik içerikli, değişik özel işaretlerle, değişik altlıklarda, vb. değişik özel amaçlı çizgisel haritalar üretmek oldukça kolay olmaktadır. Ancak, kaynakları bol olan ülkeler bile bugünkü koşullarda sayısal temel harita yapımını lüks bulmaktalar. Çünkü henüz sayısal harita yapımında maliyet yüksektir. Maliyet belirli bir düzeye indiği zaman, çizgisel haritalara göre sağladığı sayısız yarar bakımından sayısal temel harita yapımının da ileride gündeme gelmesi kaçınılmazdır.

Sayısal arazi modelleri kısaca, yeryüzünün elektronik bilgi işlemlerine uygun biçimde sayısal gösterimi olarak tanımlanabilir.

Çeşitli kaynaklardaki tanımlara bakıldığında sayısal arazi modelinin genel olarak, fiziksel arazi yüzeyinin sayısal yollarla ifade edilmesi anlamında ele alınabileceği anlaşılmaktadır. Bu anlamda bir sayısal arazi modeli her zaman iki kısımdan oluşur:

. Harita ölçeğinde doğru ve bir bütün olarak topografik yüzeyi tanımlayan bir yükseklik değerleri kümesi ya da $Z_i = f(x_i, y_i)$, ($i=1,2,3,...,n$) fonksiyonunun katsayıları kümesi.

. Herhangibir yeni yüzey noktasına ait yüksekliğin hesabı için gerekli enterpolasyon algoritması.

Bu tanım, sayısal arazi modellerinin, çoğunlukla uygulanan eşit aralıklı grid ağı noktalarındaki yüksekliklerin bir kümesi olarak kullanılmasını aşar; Yani daha geniş kapsamlıdır. Yalnızca yüksekliklerden

oluşturulan ve titizlikle belirlenmiş enterpolasyon kuralları (algoritması) olmayan SAM, sayısal yükseklik modeli (SYM) olarak tanımlanmalıdır. (Detering, 1978).

Bu açıdan bakıldığında SAM, daha geniş kapsamlı bir kavram olmakta ve SYM, SAM'ın bir ürünü durumunda olmaktadır.

SYM, aplikasyon programlarında doğrusal enterpolasyon için uygun olacak kadar dar olan gridlere dayandırılır. SAM'ın oluşturulmasında ise örnekleme noktalarının yoğunluğu, enterpolasyon fonksiyonun tipi ve derecesi, istenen doğruluk, vb. çeşitli faktörlere bağlı olarak grid aralıkları çok daha geniş seçilebilmektedir.

Sayısal arazi modelleri geniş anlamda, ayrıntıların konum ve arazi yükseklik bilgilerinin her ikisini, dar anlamda ise yalnızca yükseklik bilgilerini içerir. Sayısal arazi modelleri seçilmiş yüzey noktalarının x,y,z koordinatları kümelerine ek olarak, uygun bilgisayar programlarını içerir. Bu programlara enterpolasyon, hacim ve diğer verilerin hesabı için gereksinme duyulur.

Sayısal Arazi Modelleri; x,y,z koordinatları ölçülerek bulunmuş dayanak noktalarından, ince düzgün bir ağın kesişme noktalarının yükseklikleri çeşitli enterpolasyon yöntemlerinden birisi yardımı ile tahmin edilerek oluşturulur.

Sayısal arazi modeli faaliyetleri dört ana evre içinde yürütülür; bu evreler

- verilerin elde edilmesi
- enterpolasyonlar ve dönüşümler
- bilgilerin saklanması
- bilgilerin tekrar edilmesidir.

Sayısal arazi modelleri verileri, yersel ölçmelerle araziden, kartografik sayısallaştırıcılarla topografik haritalardan, fotogrametrik ölçmelerle fotoğraflardan elde edilebilir. Sayısal arazi modelleri-

nin iskeletini oluşturan bu verilerin toplanmasına örnekleme (sampling) adı verilir. Her veri kaynağına özgü çeşitli örnekleme yöntemlerinin belirlediği örnekleme dokuları,

- Eş yükseklik eğrilerinin,
- Kesitlerin,
- Gridlerin,
- Morfolojik çizgi ve noktaların

belirlediği biçimlerde dir. Geleneksel olarak fotogrametride ve topografik haritalardaki sayısallaştırmalarda örnekleme dokusu eşyükseklik eğrileri düzenindedir.

Yersel ölçmelerde ise örnekleme dokusunu morfolojik çizgiler ve noktalar belirler. Fotogrametride, sözü edilen dört dokudan herhangi biri veya bunların bileşimi kullanılabilir. Sayısal arazi modellerinde örnekleme evresi önemli bir evredir. Hiçbir enterpolasyon yöntemi amaca uygun olmayan bir örneklemenin yaratacağı eksiklikleri karşılayamaz. Verilerin elde edilmesi, bütün faaliyetler arasında genellikle en çok zaman alan ve bu nedenle de pahalı olan bir evredir. Sayısal arazi modelinin maliyet ve duyarlılığını, diğer işlemlere göre daha çok etkiler. Bu yüzden verilerin elde edilmesi üzerinde önemle durulmalıdır.

Enterpolasyondan elde edilen doğruluk kuşkusuz, örnekleme noktalarının yoğunluğuna, dağılım biçimine ve seçilen enterpolasyon yöntemi-ne bağlıdır.

Sayısal arazi modellerinde dayanak noktalarının yatay konumları amaç ve olanaklara göre;

- 1- Rastlantısal olarak,
- 2- Arazinin karakteristik çizgi ve noktalarında,
- 3- Düzgün bir kareler veya dikdörtgenler ağıının kesişme noktalarında seçilebilir.

Yüzey yaklaşımı probleminin çözümü için çok çeşitli yöntem bulun-

makta, fakat temel olarak üç ayrı yol uygulanmaktadır. Bu üç yol;

- tüm araziyi kapsayan tek bir fonksiyonla yaklaşım,
- araziyi parçalara bölüp her parçayı farklı bir fonksiyonla ifade ederek yaklaşım,
- nokta nokta yaklaşımıdır.

Literatürde, yukarıda belirtilen üç temel yaklaşım çerçevesinde kalan çok değişik enterpolasyon yöntemi bulunmaktadır. Bu tezin konusu olan yöntemlerde, tüm araziyi aynı anda kapsayan yaklaşım söz konusudur.

2.2 SAYISAL HARİTA YAPIMINDA SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDEN BEKLENTİLER

Mühendislik projelerinin çoğunda topografiya genellikle ilk gereksinimlerden birisidir. Oluşturulacak bir merkezi bilgi bankasından, istendiğinde bilgilerin sayısal yada değişik formlarla alınabilmesinin tek yolu da sayısal arazi modellerinin oluşturulmasıdır. (Mahan 1976).

Harita yapan ve kullanan kuruluşların karşı karşıya bulunduğu sorunlar ülkeden ülkeye değişmektedir. Bunda ülkenin sosyal, ekonomik ve teknik koşulları oldukça etkindir. Sayısal harita yapımının temeli olan sayısal arazi modellerinden beklentiler şöylece sıralanabilir. (Stefonovic 1973; Mahan 1976).

- Harita yapımını hızlandırmak,
- Harita güncelleştirilmesinin yapılmasını hızlandırmak,
- Harita yapımında maliyeti düşürmek,
- Bilgi bankası oluşturmak,
- Operatörün yapacağı işleri alabildiğince azaltmak,
- İnsan gücü isteklerini azaltmak,
- Haritaların kalitesini geliştirmek,
- Genelleştirme yoluyla türetilmiş harita serileri oluşturmak,
- Özel amaçlı harita yapımını kolaylaştırmak,
- Üretimde standardı korumak,
- Toplanan istatistik bilgilerin istatistik analiz ve yorumunu sağlamak.

- Belirlenen doğrultular boyunca profiller oluşturmak,
- Arazinin perspektif görüntüsünü elde etmek,
- Yol yapımında, değişik geçkilerin sayısal irdelenmesini yapmak,
- Stereo kıymetlendirme aletleri kullanmaksızın hava fotoğraflarından haritalara doğruluğu yüksek nokta taşımak (uzay geriden kestirme ve SAM'ın birlikte kullanımıyla)

2.3 SAYISAL ARAZİ MODELLERİNİN İÇERİĞİ

Sayısal arazi modeli içeriğini birbirinden farklı üç bölümde düşünmek olasıdır.

- Bilgi Depolama:

İşlemler için gerekli noktaların x,y,z koordinatlarının uygun bir ortama depolanmasıdır.

- Enterpolasyon işlemi

Planimetrik konumuyla bilinen noktaların yüksekliklerinin belirlenmesi için gerekli işlemler ve hesaplamalardır.

- Yardımcı işlemler:

Enterpolasyon işlemiyle çoğaltılan noktalardan yararlanarak eş-yükselti eğrilerinin çizimi, hacim hesaplamaları vb. işleri yapmak amacıyla yapılan işlemlerdir.

Mühendislik çalışmalarında yükseklik bilgilerinin elde edilmesine yönelik SAM için aşağıdaki konular önemlidir. (Nakomura 1969 : Koyuncu 1981).

- SAM'ın olabildiğince az sayıda noktayla oluşturulması,
- Araziye ait bilgilerin verimli bir biçimde işlenmesi,
- SAM'ın arazi topografyasını yeteri incelikte temsil etmesi,
- Enterpolasyonla yükseklikleri elde edilen noktalar için hesaplama zamanının çok fazla olmaması,

Yukarıda belirtilen gereksinimleri etkileyen başlıca değişkenler olarak;

- Arazinin tipi,
- Örnekleme noktalarının dağılımı ve sıklığı,
- Enterpolasyon yöntemi sayılabilir.

2.4 SAYISAL ARAZİ MODELLERİ KULLANIMINDA ARAZİ SINIFLAMASI

2.4.1 ARAZİ SINIFLAMASI GEREKLİLİĞİ

Sayısal arazi modellerinin niteliği, temsil ettiği arazinin tipine bağlı olarak değişmektedir. Aynı şekilde enterpolasyon için kullanılacak yöntemde arazi yapısına bağlı olmaktadır. Bu nedenle belirli ölçütlere dayanan bir arazi sınıflandırması yapıp, sayısal arazi modellerinin değerlendirilmeside buna göre yürütülmelidir.

Arazi gösteriminde değişik örnekleme boyutları ya da aynı boyutlarda değişik örnekleme yöntemleri kullanıldığında araziye uyum farklılıklar göstermektedir. Acaba özyapısal özellikleri bilinen bir arazi tipi için en uygun bir örnekleme boyutu düşünülebilir mi? Yine aynı arazi için bir en uygun örnekleme yöntemi sözkonusu olabilir mi? Matematik gösterimlere uygun olacak şekilde ilgili örnekleme boyutlarıyla verilebilecek arazi sınıfları oluşturulabilir mi? Bunlara bağlı olarak şu sorunlar çözülmüş olacaktır:

- Arazinin nicel özyapısına uyumlu bir sınıflama yapmak,
- Verilen arazi için yükseklik bilgileri elde etmede en uygun örnek boyutlarıyla çalışmak,
- Arazinin tipine göre uygun dağılımda örnek almak,
- En uygun enterpolasyon yöntemini belirlemek,
- En az güç tüketimiyle en çok etkinlikte SAM verileri üretiminde otomasyon sağlamak.

Araziyi tanımlamada kullanılan parametreler bazı kesin koşulları sağlamalıdır. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- Parametre kavramsal olarak tanımlı olmalıdır. Yani olabildiğince arazinin fiziksel karakteristiklerinin düşünsel bir görüntüsünü yan-

sıtmalıdır,

- Parametre kolayca sayısal biçimde ölçülebilir olmalıdır,
- Parametre sonradan yapılacak sayısal ve istatistik değerlendirmeye uygun olmalıdır,
- Parametre farklı ölçeklerde karşılaştırılabilir olmalıdır.

2.4.2 SINIFLAMADA KULLANILABİLECEK ÖLÇÜTLER

Araziyi tanımlamada kullanılabilecek değişkenler iki ana grupta toplanabilir:

Arazi engebelerini belirleyen değişkenler;

- . Gradyent ve eğrilik,
- . Doğrultu kosünüsleri ve öz vektörler,
- . Yüzey alanı, bump frekans, düzlemlerin dağılımı,
- . Kırık çizgiler,
- . Harmonik vektör büyüklüğü,
- . Genlik güç spektrumu.

ARAZİ ENGEBESİNİ BELİRLEYEN PARAMETRELER

- Eğim ve Küresellik

Verilen bir noktadaki gradyent (en büyük eğim) aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

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

Eğrilik ise:

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

şeklinde tanımlanabilir.

Engebe parametreleri gradyent ve eğriliklerin ortalama değerleri ile varyanslarıdır.

- Doğrultu kosinüsleri ve öz vektörler

İki nokta arasındaki x, y, z yönlerindeki doğrultu kosinüsleri bir matris formunda hesaplanabilir. (Buna A matrisi diyelim.) Daha sonra A matrisinin kovaryans matrisi olan B matrisi hesaplanır. A matrisi, B'nin öz vektörler matrisi olan R ile çarpılarak C matrisi bulunur. C'nin çarpıklığı (üçüncü merkezsel momenti) yüzeydeki eğimlerin simetri derecesini, eksesi ise (dördüncü merkezsel momenti) eğimlerin küçüklüğünün yada büyüklüğünün göreceli çokluğunu gösterir. Çarpıklığın olması asimetric, olmaması ise simetric eğimlerin sözkonusu olduğunu gösterir.

- Yüzey alanı, bump frekans, düzlemlerin dağılımı

Yüzey alanı ile düzlemsel alanlar arasındaki oranlar yüzeyin engebe parametresi olarak kullanılabilir. Bump frekans, arazi üzerindeki noktalardan bu noktalara en iyi biçimde (dengeleyerek) yerleştirilmiş düzlem yüzeye dik doğrultudaki uzaklıkların ortalama ve varyansları ile bulunabilir.

Düzlemlerin dağılımı ile ilgili parametreler; önce üçerli yükseklik noktası gruplarında kesişen üçgensel düzlemler yerleştirilir. (dengelemesiz ve kesinkez), sonra bu düzlemlerin normalleri ve bunlara karşılık gelen birim vektörler hesaplanır. Vektör kuvveti, vektör dispersiyonu ve üçgensel düzlemlerin eğim ortalaması ve varyansı hesaplanır.

Vektör kuvveti: Doğrultu kosinüslerinin karelerinin toplamının birim vektörleri sayısına bölümünün kareköküdür. Vektör dispersiyonu ise, birim vektörlerin varyansıdır. Yükseklik değişimlerinin az olduğu alanlarda vektör kuvveti büyük, dispersiyon küçük olacaktır.

- Kırık çizgiler

Arazinin kırık çizgileri, eğim değişimlerinin ani ve önemli olduğu doğrultular boyunca belirlenir. Kırık çizgiler kesikliklerin uzaysal türevleri olarak, matematiksel anlamda gösterilebilirler. Bunlar

fiziksel olarak hendek, set, uçurum kenarları ve sırt hatları olabilirler. Bunların stereo modelde tanınmaları o kadar kolay değildir. Önemli olan kırık çizgilerin bulunmasında nesnel ölçütler ortaya koyabilmektir. Bunun için, ardışık kesitlerin değişik bölümlerine uyabilen polinomlarla eğim analizi düşünülebilir. Böyle bir durumda eldeki örnekleme noktalarının yeterli sayıda olması bir zorunluluktur.

- Harmonik vektör büyüklüğü

Bu yöntem tüm yüzeyi temsil edecek şekilde seçilmiş tek bir matematik fonksiyonun katsayılarından oluşan katsayılar uzayı düşüncesine dayanır. Bir lineer fonksiyonla belirlenmiş düzlemden olan arazi farklarının ölçülmesiyle ve bu lineer fonksiyona çift fourier serilerinin eklenmesiyle matematik fonksiyon oluşturulabilir.

- Genlik güç spektrumu

Arazi yapısının tanımlanmasında band genişliğinin kullanımı, harmonik vektör büyüklüğü yöntemine benzer. Burada harmonik katsayılar uzayı yerine, bu yüzeyin spektral analizinde kullanılan katsayılar uzayı kullanılır.

2.4.3 ARAZİ SINIFLAMASINDAN BEKLENEN ÖZELLİKLER

- Mantıklı, basit ve derli toplu olmalı,

- Sınıfların birbirine bindirmesini ve belirsiz olmasını önleyecek biçimde tek anlamlı olmalı,

- Kümenin herhangi bir kesimini gözardı etmeyecek biçimde ayrıntılı ve kapsamlı olmalı,

- Sınıflamada kullanılan terimler arazi karakteristiklerinin bazı fiziksel özelliklerini açık seçik göstermeli ve bu özelliklere uygun seçilmeli,

- Nicel özellikler gözönüne alınarak olabildiğince nesnel bir sınıflama yaparken, sınıflamada kullanılan ölçütler küme teorisi ve istatistik analizlere dayandırılmalı,

- Sayısal arazi modeli çalışmalarına yatkın olmalıdır. (Ayeni, 1978)

2.4.4 SAM'de SİLAR TARAFINDANYAPILMIŞ OLAN ARAZİ SINIFLAMASI:

Sayısal arazi modeli çalışmalarında kullanılabilecek düzeyde bir arazi sınıflaması SİLAR tarafından yapılmış olanıdır. Silar'ın sınıflamasına göre aşağıdaki ölçütler kullanılarak araziler başlıca dört gruba ayrılmıştır. (Linkwitz 1970).

- Ölçütler:

- Birbirine dik iki doğrultuda arazi yüzeyinin eğimi,

- Araziye en iyi biçimde yerleştirilmiş bir düzlem olan arazi noktalarının sapmaları (bu özellik bump frekansa karşılık gelmektedir),

- Arazideki yerel yükselip alçalmaların, kırık çizgilerin, yerel sivriliklerin ve çukurlukların sayısı,

- Arazinin düzgünlüğü ve homojenliği,

- Silar'a göre arazi grupları,

1. GRUP: Düzenli, düzlem yüzeyler

Bu gruptaki araziler yatay ya da eğik düzlemlerden ya da yavaş değişen eğimli düzgün yüzeylerden oluşur. Kırık çizgi sayısı hektardan 10'dan az olup, kullanılacak örnekleme noktası hektarda 20-40 arasındadır.

2. GRUP: Düz, dalgalı yüzeyler

Oval şekilli yüzeylerden oluşan arazilerdir. Kırık çizgi sayısı hektarda 10-20 arasında olup, kullanılacak örnekleme noktası sayısı hektarda 40-100 arasındadır.

3. GRUP: Büyük yapısal değişikliklerin olduğu düzensiz yüzeyler.

Düzgün düzensiz eğrisel yüzeylerden oluşan bir arazi grubudur. Kırık çizgi sayısı hektarda 20'den fazla olup, kullanılacak örnekleme noktası sayısı hektarda 100-200 arasındadır.

4. GRUP: Yapay yüzeyler

Çok sayıda bölgesel alçalıp yükselmelerin olduğu insan tarafından oluşturulan yüzeylerdir. Kırık çizgi sayısı oldukça fazladır.

Arazi gruplarının belirlenmesinde aşağıdaki parametrelerin ışığı altında kendi çalışmalarımızı yönlendirebiliriz.

- Ortalama eğim,
- Bölgesel relief,
- Genel relief,
- Arazinin kırık çizgileri, eğim değişimleri,
- Arazinin engebe durumu,
- Kullanılacak kovaryans yada korelasyon fonksiyonu,
- Genlik güç spektrumu,
- Diğerleri.

PARAMETRE SINIF	EĞİM	HEKTARDA KIRIK NOKTA	HEKTARDA ÖRNEKLEME NOKTASI	YÜZEYİN TANIMI
I	% 5	10	20-40	Hafif Engebeli
II	%5 - %20	10-20	40-100	Orta Engebeli
III	%20	20	100-400	Çok Engebeli, Düzensiz
IV	İnsan tarafından oluşturulan yüzeyler			Yapay

Çizelge 2.1 Silar Tarafından Yapılan Arazi Sınıflaması

ITC tarafından yapılan arazi sınıflaması ise aşağıdaki gibidir;

S ... farklı morfolojik özelliklerde ek olarak ölçülen nokta sayısı

P ... grid olarak ölçülen nokta sayısı olmak üzere;

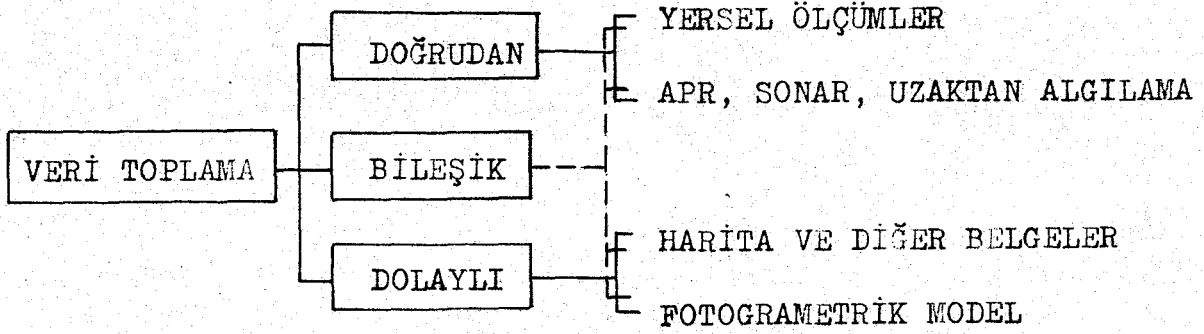
S=0 durumunda düzgün (düz) arazi

S << p durumunda yarı düzgün (az engebeli) arazi

göre de kodlanmalıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan depolama ortamları kağıt şeritler ve manyetik teyplerdir.

2.6 VERİ KAYNAKLARI

Sayısal arazi modelleri için verilerin toplanması şekilde görüldüğü gibi doğrudan, dolaylı yada bunların birleşimiyle sağlanabilmektedir.



Şekil 2.1 Veri Toplama Yöntemleri

2.7 KAYIT ORTAMLARI

- Manyetik Disk

Yalnızca bilgisayar kontrolü ile kullanılabilen ve en hızlı bilgi kaydı yapabilen doğrudan erişimli bir kayıt ortamıdır. Özellikle birden çok disk bir birim içerisinde birleştirildiğinde sonsuz denebilecek depolama yeteneği söz konusu olacaktır. Diğer kayıt ortamlarına göre pahalı bir birimdir.

- Manyetik Şerit

Metal oksit kaplanmış plastik bir maddeden yapılan şerit üzerine elektrik sinyalleri yardımıyla ve yazım başlığı tarafından bilgiler, belirli bir yoğunlukta kaydedilmektedir. Günümüzde kullanılan manyetik şeritlerde 7 ya da 9 sıra üzerine istenen rakamlar ya da harfler kaydedilmektedir. Pratikte 90, 180, 360, 720 metre uzunluğundaki standart şeritler kullanılmaktadır. Her santimetreye yaklaşık 1300 karakter

(harf ya da rakam) yazılabilmektedir. Bir manyetik şerit üzerindeki bilgi yoğunluğunun çok fazla olması bu bilgilerin otomatik olarak kontrolünü zorunlu kılar. Kayıt hızı 300-2000 karakter/saniye arasında değişmektedir.

- Manyetik Kaset

Manyetik şeritlere benzemekle birlikte, tek sıra üzerine kayıt yapıldığı ve uzunluğu da çok daha kısa olduğu için gerek kayıt hızı (maksimum 600 karakter/sn.) ve gerekse depolama kapasitesi (maksimum 180 000 karakter/kaset) daha azdır.

- Kağıt Şerit

Az miktarda bilginin depolanması gerektiği ve kayıt hızının çok fazla olmasına gerek duyulmadığı zamanlarda uygun bir kayıt ortamı sayılabilir. 5-8 çizgi boyunca her satıra delinen delikler yardımıyla bilgiler kağıt şeride kaydedilmektedir. Bu amaçla değişik kodlama sistemleri kullanılabilir. Saniyede 20-150 karakter kaydetmek olanaklı olup, yaklaşık her metrede 400 karakter vardır. Kağıt şeridin yırtılması sözkonusu olduğu için 250 metreden daha uzun şeritleri kullanmak sorun çıkarabilir.

- Delikli Kart

Delikli kart kullanıldığında; kayıt hızı en düşük, kapladığı hacim en büyük ve taşıma, kullanılmasının en güç olması nedeniyle bilgi depolama amaçları için en uygun olmayan bir ortamdır.

2.8 HARİTA VE İLGİLİ BELGELERDEN VERİLERİN TOPLANMASI

Elde mevcut otomatik kayıt aletleri ve sayısallaştırıcılar kullanılarak yapılacak olan bu işlem oldukça ekonomiktir. Ayrıca daha önce yapılmış olan klasik çizgi haritaların bilgi bankasına kaydına olanak da vermektedir.

Grafik olarak elde bulunan harita, büyütülmüş, düşeye çevrilmiş, diferansiyel olarak düşeye çevrilmiş (ortofoto ürünü) resimlerle,

plançete usulüyle oluşturulmuş orijinallerde bilgi kaynağı olabilirler. Grafik ayrıntılar kolayca sayıya dönüştürülebilir. Resimlerin dönüştürülmesinde fotogrametrik yorumlama gerekli olacaktır.

Sayıya dönüştürülen grafik bilgilerin koordinat değerlerinin önüne, bilgilerin tanınmasını sağlayacak uygun kodlarda verilmelidir. Kodlar alfanümerik olup, aynı tip bilgilere aynı kodlar verilmektedir.

Harita içindeki isimler de sayıya dönüştürülmektedir. Ancak isimlerin doğruluğu ayrıca kontrol edilmelidir. Kenar bilgileri ve karelerin dönüştürülmesinde önemli bir sorun yoktur.

Tematik haritalar için ek istatistik bilgilere gereksinim vardır. Bu bilgiler, genellikle bilgisayarın hesaplama yapabileceği şekilde düzenlenmiştir.

2.9 NOKTALARIN ÖRNEKLENMESİ

Fotogrametrik maddeden veri toplama aşağıdaki yöntemlerden biriyle olmaktadır:

- Seçerek (selective)

Kaydedilecek noktalar veri toplamadan önce ya da veri toplama arasında seçilirler ve bu işlem genelde öznel (subjektif) dir.

- Uyum sağlayarak (adaptive)

Gereksiz noktalar bilgisayar aracılığıyla ayıklanır. Bu şekilde veri toplamada; profiller boyunca, eş yükselti eğrileri boyunca ve elektronik korelatörlerle belirlenen kot noktalarında arazinin örnekleme uygundur. Daha sonraki işlemler düşünülerek yapılacak olan örneklemeyle fazla bilgi alınması önlenir.

Uyum sağlayarak bilgi toplamada;

. Sürekli kayıt nedeniyle, örneklenen noktaların doğruluğu daha azdır.

. Nokta yoğunluğu, çizgiler ve onlara dik çizgiler boyunca farklılıklar gösterir.

Örnekleme işlemi bir aşamada bitirilir ve nesnel (objektif)'dir.

- Geliştirerek (progressive).

Veri toplama ve toplanan verilerin analizi işlemleri biri diğeri izleyerek yinelenir ve bu iş bilgisayar devredeyken yürütülür. Örnekleme işlemi iki ya da daha çok ardışık adımdan oluşur. Önce bir kaba örnekleme yapılır ve daha sonraki adımlarda örnekleme iyileştirilir. Bir sonraki örnekleme adımına başlamadan önce bundan önceki adım analiz edilir ve örneklenecek noktalar belirlenerek listelenir. Geliştirerek veri toplama nesneldir.

Geliştirerek örnekleme için uygun donanım aşağıdakilerden birisi olabilir.

. Bir mini bilgisayar, kayıt birimi ve iki yönlü ara devrelerle donatılmış analog değerlendirme aletleri,

. Karma sistemler,

. Tümüyle sayısal aletler.

2.10 ÖRNEKLEME KONTROLU

Örneklemede konumlamanın kontrolü:

- Elle,

- Otomatik,

- Yarı otomatik

olabilir. Genel olarak elle kontrol, hem yatay konumlama hem de yükseklik kontrolünde kullanılır. Aşağıdaki özellikleriyle dikkati çeker:

- Yavaş,

- Sıkı ve usandırıcı,

- Hata yapılmaya yatkın bir çalışma,

- Ek bir donanıma gerek kalmadan sayısallaştırma yapılabilir.

- Yeterli sayıda nokta örneklenir,
- Nokta örnekleme duyarlılığı yüksektir.

Yarı otomatik örneklemede, yatay konumlama otomatik işlemlerle yapılırken, yükseklik bilgileri elle operatör tarafından örneklenir. Profil şeklinde modeli taramada, ölçü markası y- yönünde bir motor aracılığıyla hareket ederken, operatör arazi engebesine göre yükseklik ayarlamalarını kendi yapar. Yarı otomatik nokta örnekleme:

- Daha hızlı
- Yeterli doğrulukta,
- Güvenilir

bir veri toplama biçimidir.

Otomatik veri toplama elde mevcut aletin otomatik bileşenlere sahip olması durumunda sözkonusudur ve;

- En hızlı
- Arazi tipine bağlı olarak daha az güvenilir

bir yöntemdir. Otomatik örneklemede operatörün görevleri şunlar olabilir.

- İş hazırlama,
- Yol gösterme,
- Karışık durumlarda yardımcı olma,
- Denetim ve kontrol.

Şimdiki haliyle sadece doğruluk açısından operatör aracılığıyla veri toplamak tercih edilebilirse de, deneyimler otomatik örneklemedeki hata düzeyinin diğerlerinden daha çok olmadığını göstermiştir. Öte yandan otomatik sayısallaştırma (korelatörleri bulunan analitik fotogrametri aletlerinin kullanılması durumunda) daha ucuza malolmaktadır.

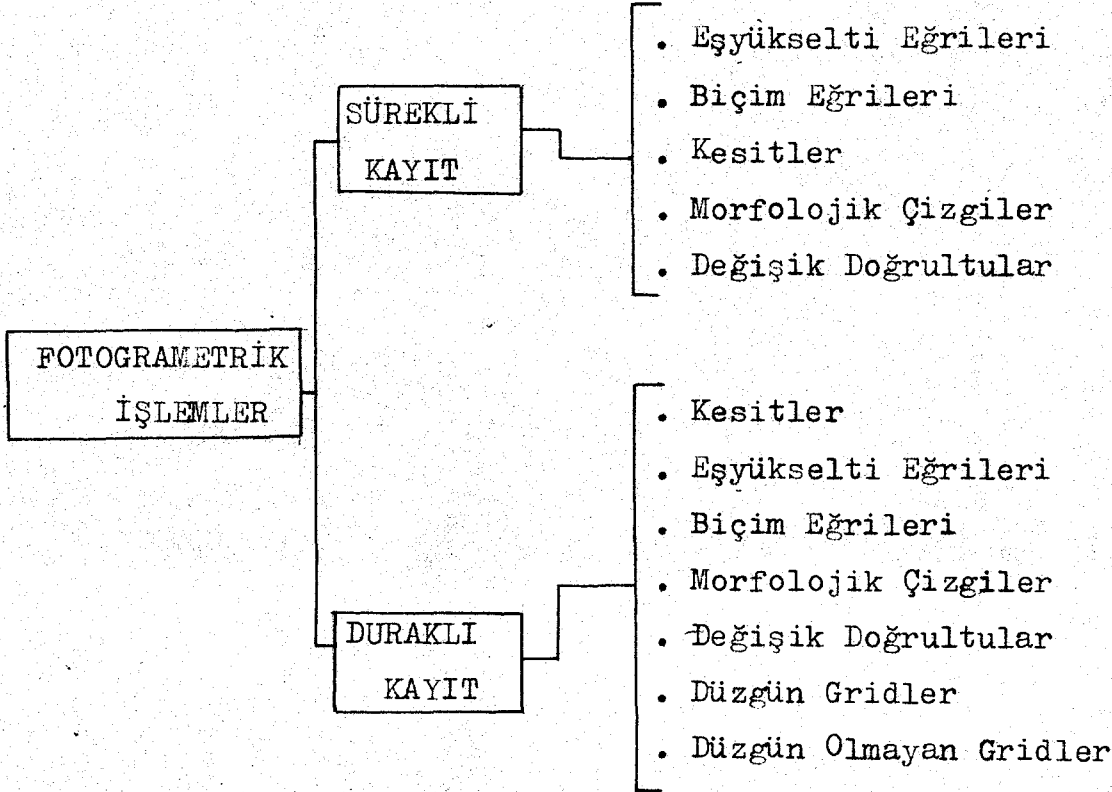
Bu aşağı yukarı 1/3 oranındadır. (donanım ve işlemlere harcanan zaman düşünüldüğünde). Otomatik örneklemede çıkış bilgileri elde edi-

lirken, daha sonraki aşamalarla, filitreleme işlemi birlikte yapıldığından eklenecek veri miktarı daha az olacaktır.

2.11 VERİ DAĞILIMI

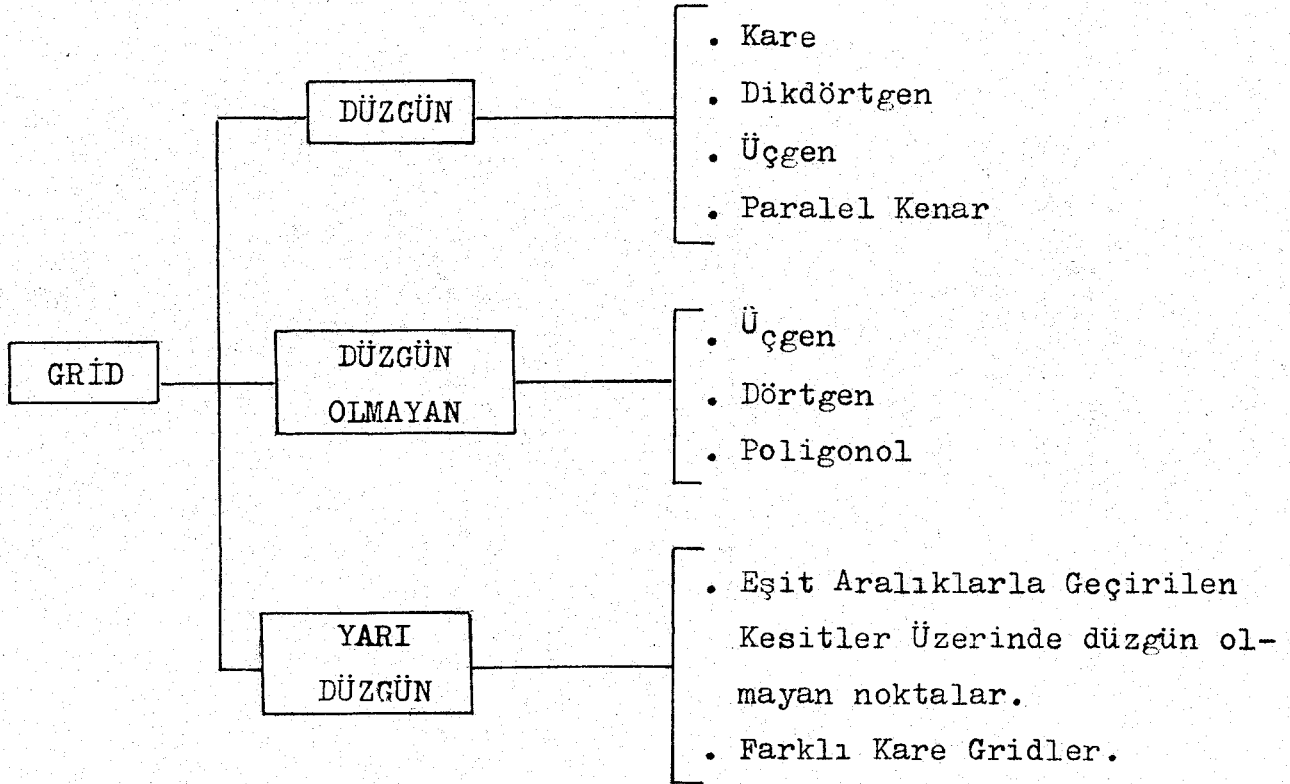
Örneklenen noktalar değişik şekillerde düzenlenebilir.

- Düzgün gridler,
- Eş yükselti eğrileri,
- Morfolojik çizgi ve noktalar,
- Düzgün olmayan gridler.



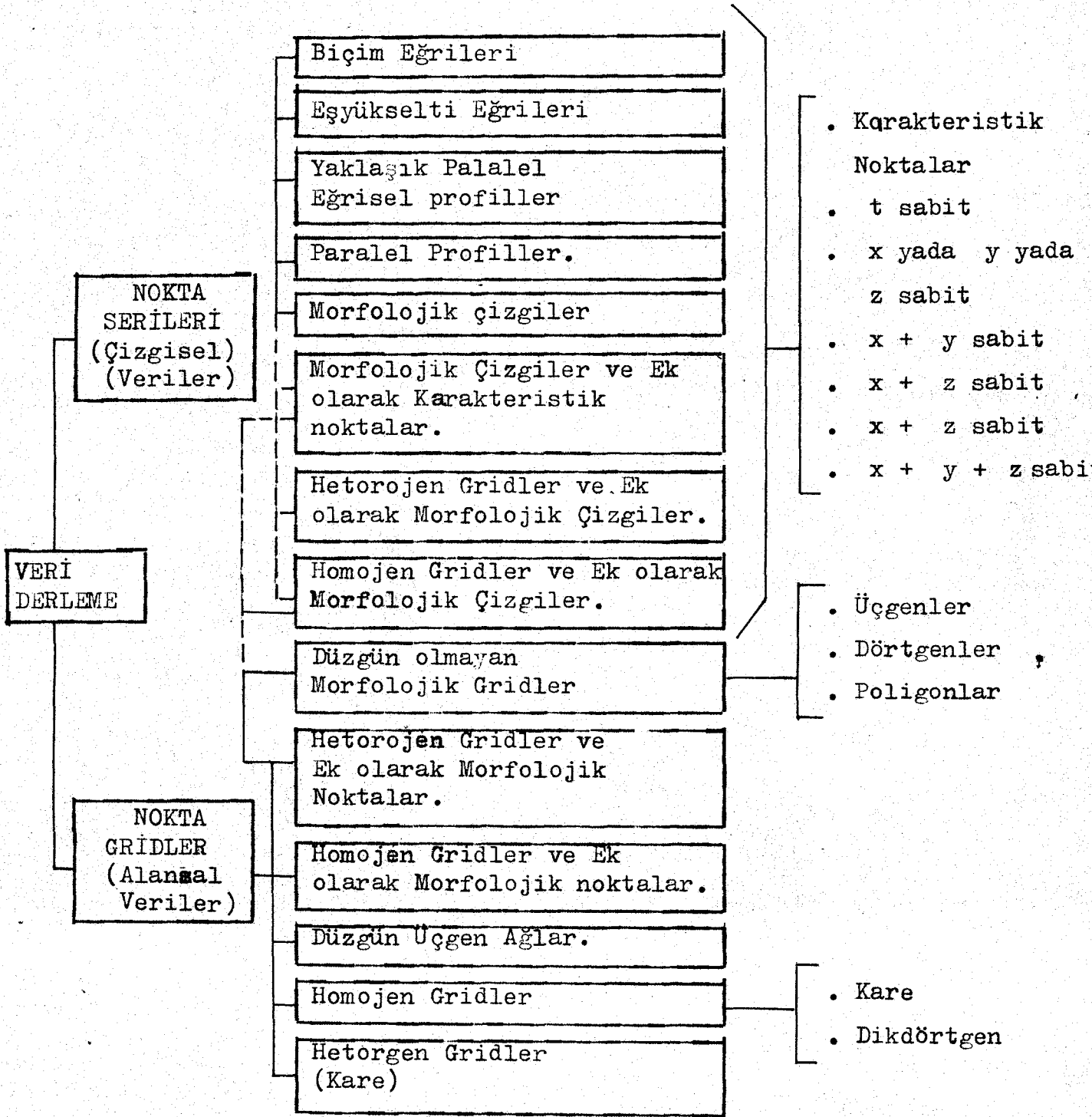
Şekil 2.2 Örnekleme Şekli ve Çıkış Bilgileri

(Makorovic 1976).



Şekil 2.3 Gridlerin Sınıflaması

(Makorovic 1976)



Şekil 2.4 Sayısal Arazi Modeli Verilerinin Sınıflandırılması

(Makoroviç 1976)

2.11.1 DÜZGÜN GRİDLER

Yüksekliği ölçülmesi gereken her bir noktanın konumunu belirlemek için, dikdörtgen ya da kare şeklinde bir grid kullanılır. Elde edilen z koordinatları matris formunda depolanır.

- Yararları:

. Örneklemeye işlemi için, Fotogrametrik model etkili bir şekilde kullanılabilir,

. Örneklemeye büyük bir hüner gerektirmez, otomatik olarak yapılabilir.

. Basit bir enterpolasyon yöntemi kullanımı yeterli olabilir,

. Düzenli gridlere dayalı olan sayısal arazi modeli sistemi nisbeten küçük bir bilgisayar yardımıyla yürütülebilir.

. Otomasyon ilkesine uygun bir dağılım biçimidir.

- Sakıncaları:

. Fiat-doğruluk ilişkisi iyi değildir (genellikle düzgün olmayan arazide pek çok noktada ölçülecek ve arazi, yeniden gösterimde bir miktar değişmiş olacaktır).

. Sabit uzunluk artımlarıyla ($\Delta x = \text{sabit}$, $\Delta y = \text{sabit}$) profillerin kayıt edilip eşit şekilde yerleştirilmesi homojen kare gridlerde olduğu gibidir. Sabit yükseklik aralıklarıyla ($\Delta z = \text{sabit}$) ya da sabit zaman aralıklarıyla ($\Delta t = \text{sabit}$) kayıt edilen kesitler kolaylıkla sabit uzaklık artımlarıyla elde edilen kesitlere dönüştürülebilirler.

2.11.2 EŞYÜKSELTİ EĞRİLERİ

Noktalar, fotogrametrik model ya da elde mevcut sayısallaştırılacak topografik haritada sabit bir yükseklikte, çizgiler boyunca örneklenir. Noktaların elde edilen x ve y koordinatları verilerin her bir yükseklik değerinin sonucu olarak depolanır.

- Yararları;

. Bu şekilde kayıt, arazi özelliklerini homojen grid şeklinde kayıttan daha iyi yansıtır. Bu nedenle doğruluk ekonomi ilişkisi anlamlıdır.

. Fotogrametri aletlerinde eşyükselti eğrilerinin sayısallaştırılması ya da kıymetlendirilmesi büyük bir hüner gerektirmez.

- Sakıncaları;

. Sürekli örnekleme, duraklı örneklemeden daha az duyarlıdır.

. Örnekleme işlemi güçlükle otomatikleştirilebilir.

. Genelde bilgi kısaltma gerekecektir.

. Enterpolasyon kabadır.

. Bu sistemin etkili bir şekilde çalışması için büyük bir bilgisayar gerekmektedir.

2.11.3 MORFOLOJİK ÇİZGİLER VE NOKTALAR

Belirgin arazi noktaları (örneğin; doruk, zirve) ve kırık çizgiler (sırtlar, nehirler, yol kenarları,..) ölçülmekte olup bunlar az çok rasgele bir nokta dağılımı vermektedirler.

- Yararları;

. En az sayıda nokta ölçülür,

. Yapay özelliklerin çiziminde anlamlıdır.

- Sakıncaları;

. Nokta seçimi eğitilmiş bir uzman tarafından yapılmalıdır.

. Örnekleme otomatikleştirilemez,

. Enterpolasyon daha çok ayrıntıyı içerir,

. Sistemden iyi bir sonuç elde edebilmek için önemli derecede beceri ve denetime gereksinim vardır,

. Büyük bir bilgisayar kullanımı sözkonusudur.

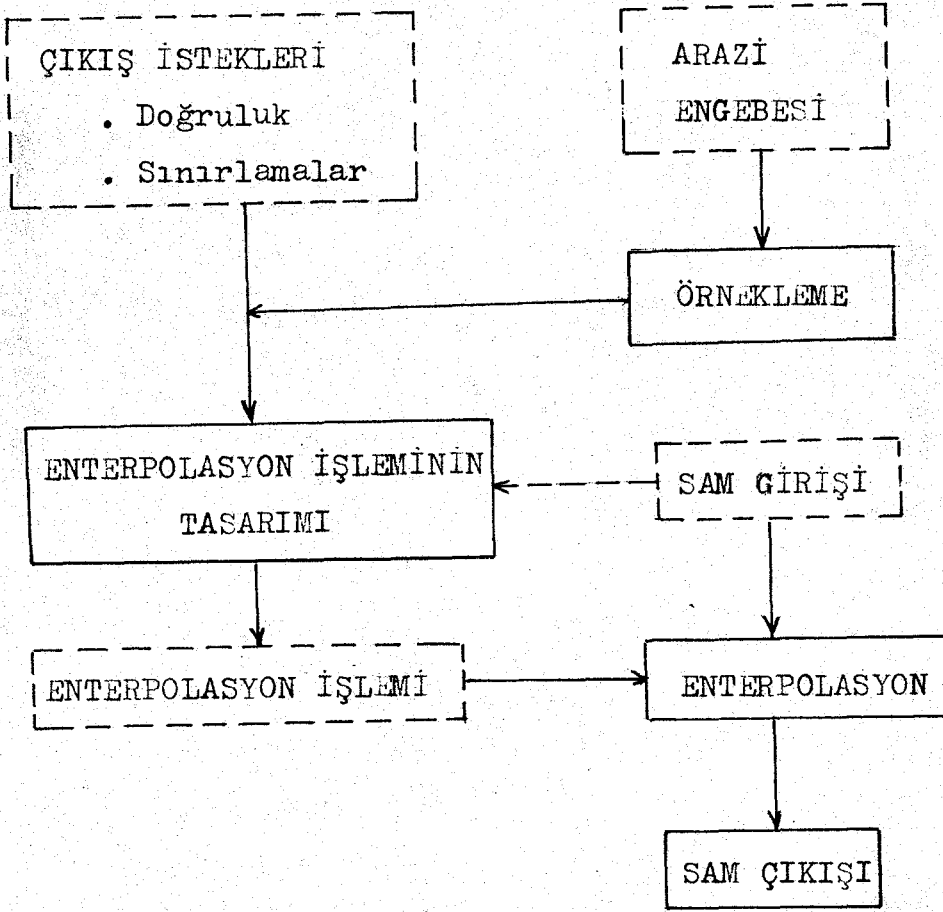
Morfolojik bilgi ya da morfolojik bilgiler eklenmiş homojen grid ile birleştirilmiş eşyükselti eğrileri sisteminin kullanan sayısal arazi modelleride mevcuttur.

2.11.4 DÜZGÜN OLMAYAN GRİDLER

Geliştirerek örnekleme ("progressive Sampling") denilen bu yöntem Makaroviç tarafından önerilmiştir. Kayıt modeli olarak kare şeklinde grid kullanılır. Ancak, yükseklikler sadece gerekli olan yerlerdeki çizgilerin kesim noktalarında ölçülür. Veri kaynağı olarak fotogrametrik model kullanılır., ve örnekleme işlemi çevrim içi çalışan (on-line) bir bilgisayarla kontrol edilir ve desteklenir. Kare biçimindeki bir gridin 9 kesim noktasındaki yüksekliklerin ölçümüyle bir kişi bu işleri yapabilir. (örneğin bütün modeli kaplayacak şekilde). Elde edilen bu bilgiler çevrim içi mini bilgisayarla analiz edilir ve bundan sonra arazi yapısının yüksek bir örnekleme yoğunluğu isteyen yerlerinde, önceden belirlenmiş bazı ölçütlere göre düşük yoğunluklu bölgelerde örneklenmiş noktaların yerleri hesaplanır. Oysa her noktadaki diferansiyel yükseklik farkları operatör tarafından elde edilmektedir. Bu işlem ardışık örnekleme adımlarında, nokta gridlerin bölgesel yoğunlukları her yerde arazi özelliklerine uygun oluncaya kadar yinelenir.

2.12 ÖRNEKLEME YOĞUNLUĞU

Sayısal arazi modeli oluşturmanın en önemli kavramlarından birisi de örnekleme yoğunluğudur. İyi yapılmayan bir örneklemeyle kaybedilen bilgiler en mükemmel enterpolasyon yöntemleriyle bile kazanılamaz. (Makaroviç 1976). Bilgilerin toplanması ile işlenmesi birbirine sıkı sıkıya bağlı ardışık iki görevdir.

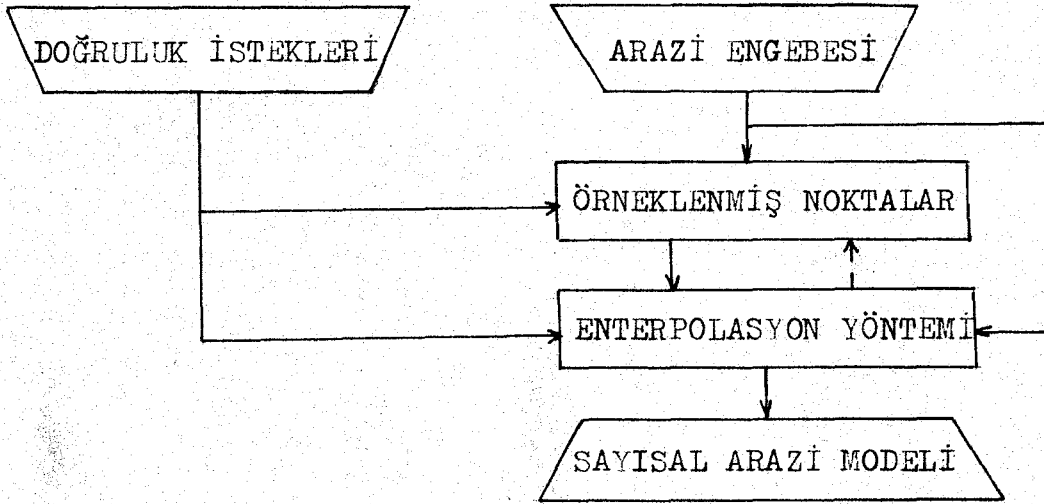


Şekil 2.5 Örnekleme Enterpolasyon İlişkisi

(Makaroviç 1976)

Hangi çeşit kayıt işlemi kullanılırsa kullanılsın, örnekleme yoğunluğu değiştirilerek sayısal arazi modeli sisteminden arzu edilen doğrulukta çıkışlar alınması olasıdır.

Doğrulukta her artım, bilgi alımındaki maliyeti artıracaktır. Uygulamalarda örnekleme yoğunluğu arazinin temsil edilmesi için gerekli doğruluk ve arazinin tipine göre ayarlanmalıdır. Bundan başka kayıt şekli ile enterpolasyon arasında olan ilişkiye göre sistem şekillenmelidir.



Şekil 2.6 Sayısal Arazi Modellerinin Temel Elemanları.

Nokta yoğunluğu aşağıdaki yöntemlerden birisi ile belirlenebilir. (stefonaviç -Hadwon-Tempfli 1977):

- Ön inceleme yapılarak,
- Kayıt sırasında sürekli ayarlanarak,
- İkisinin karışımıyla.

Birinci durumda, nokta yoğunluğunun ne olacağı örnekleme öncesinde belirlenir. Herhangi bir nokta yoğunluğuyla küçük arazi kesimlerinde çalışıldığında oldukça çok sayıda gereksiz bilgi örneklenebilir. Tersine durumda küçük alanlar yeniden oluşturulamaz ve bundan dolayı da büyük yanlışlar oluşabilir. Eğer nokta yoğunluğu önceden biliniyorsa, örnekleme işlemi görece olarak daha basittir.

Nokta yoğunluğunun önceden bilinebilmesi için:

- Arazinin engebe karakteristikleri ve
- İstenen doğruluk ölçütleri

iyi bir şekilde bilinmelidir. Daha sonra, eşyükselti eğrilerinin aralıkları ve eşyükselti eğrileri boyunca komşu noktalar arasındaki uzaklıklar ya da profiller arasındaki uzaklıklar ve profil boyunca komşu noktalar arası uzaklıklar ya da grid aralıkları belirlenebilir.

İkinci durumda, nokta yoğunluğu, arazi karakteristiklerine göre örnekleme sırasında ayarlanmaktadır. Bu ayarlama işlemi nesnel de olabilir, öznel de. Morfolojik noktaların örneklenmesi, öznel nokta yoğunluğuyla çalışmaya bir örnek olarak verilebilir. Operatör, stereoskopik gözleyerek bir modeli dolaşırken, arazi engebesini yorumlar ve deneyimlerine dayanarak örneklenecek noktalara karar verir. Örnekleme yoğunluğunun nesnel saptanması aşama aşama başarılır. Önce kaba bir grid ölçümü yapılır. Daha sonra nümerik incelemelerle okunacak nokta belirlenir ve bu işlem yeterince nokta okununcaya kadar (hesaplamalar çerçevesinde) yinelenir (geliştirerek= progressive örnekleme buna bir örnektir). Sürekli ayarlama yaparak nokta ölçümü, gereğinden çok nokta okunmasını önlediği için, okunan bu noktalar anında bir takım hesaplamalara girdiklerinden yanlış okuma olasılığında ortadan kalkmış olur. Ancak, örnekleme sırasında fazladan işlemler (engebe yorumlaması, otomatik veri analizi vb.) yapılması bu yöntemin sakıncalarındandır.

Ön incelemelerle belirleme ve örnekleme sırasında sürekli ayarlama yaparak nokta alımının bileşiminden oluşan üçüncü yöntemin uygulanabilmesi nokta örnekleme için iyi bir yaklaşımdır. (stefanoviç-Radwan-Tempfli 1977). Bir örnek vermek gerekirse, örneklenecek profil ya da eşyükselti eğrisi aralıkları önceden belirlenip, bu çizgiler boyunca örnekleme, arazi karakteristiklerine göre değişken tutulabilir.

Değişik örnekleme tekniklerinde iki seçenek sözkonusudur:

- Araziyi yeterince temsil edecek şekilde en az noktanın örneklenmesi.

Bu durumda nokta seçiminin ve ölçümlerin yapılması oldukça özen gerektirir. Nokta seçiminin nasıl yapılacağı; bilgi toplama zamanını kullanılacak sayısallaştırma donanımı ve bilgilerin işlenmesi biçimini şüphesiz ki etkileyecektir.

- Arazinin gerekenden daha çok noktayla temsil edilmesi:

Böyle bir işlemin hemen arkasından gereksiz bilgilerin ayıklanmasına geçilecektir. Bu durumda noktaların örnekleme doğruluğu diğer yönteme göre daha az olacaktır.

Gereken sayıda noktayla örnekleme de, arazi temsilinin doğru ve yeterli olmasına karşın, jeomorfolojik açıdan anlamlı olan pek çok ayrıntı kaybolabilir. Bundan dolayı özellikle kesitler boyunca örneklemler de çok nokta alınması daha iyi sonuçlar verecektir.

Alınacak fazla nokta sayısı;

- Arazinin tipi ve
- Fotograf ölçeğinin

bir fonksiyonudur.

Örneklemede ekonomi sağlayabilmek için aşağıdaki öğelerin en uygunlaştırılması gerekmektedir.

- Kayıt zamanı,
- Kayıt edilecek bilgi miktarı,
- Daha sonraki işlemlere harcanacak gayretler;
 - . Gereksiz bilgilerin ayıklanması,
 - . Enterpolasyon,
 - . Bilgilerin saklanması,
 - . vd.

Bilgi toplamada tam otomatik sistemlerin kullanılması durumunda hız ve ekonomide gözle görülür bir artışın olacağı muhakkaktır. Bu aşamada gereksiz bilgilerin ayıklanması çevrim içi dizgelerle yapılabilir.

Bilgisayarda en az sayıda noktanın depolanmış olması arzu edilen bir durumdur. Bu ön işlemlerde gereksiz bilgilerin ayıklanmasının çevrim içi mi? çevrim dışı mı? yapılacağını da etkiler. Buna seçenek olacak bir diğer çözüm tüm örneklenen bilgilerin depolanmasıdır.

Bunlar arasında yapılacak bir seçimde aşağıdaki konular etken olacaktır:

- Bilgisayar ve çevre birimleri,
- İşlem zamanı,
- Dış belleğe bilgi aktarma zamanı,
- Dış bellekteki bilgilere erişim zamanı,
- Depolama kapasitesi - vd.

2.13 VERİLERİN İŞLENMESİ

Elde edilen veriler başlıca iki aşamadan geçerler.

- Ön işlemler

Bu aşamada verilerin esas işlemlere hazırlanması amacı güdülür.

Yapılan işlemler;

- . Kaba hataların ayıklanması,
- . Gereksiz verilerin ayıklanması,
- . Koordinatların çalışılacak sisteme dönüştürülmesi,
- . Boyut düzenleme işlemleri,
- . Kodlama görevleri,
- . vb.

olarak sıralanabilir.

- Esas İşlemler

Amaca uygun olarak seçilen enterpolasyon yöntemlerinden biri ya da bir kaçıyla ön işlemden geçmiş veriler çizgisel ya da yüzeysel veriler haline dönüştürülür. Gerekirse yeniden koordinat dönüşümleri ve diğer gereken dönüşümler uygulanarak sayısal arazi modeli verileri daha büyük bir birime eklenerek esas dönüşüm işlemleri tamamlanır.

Eldeki sayısal arazi modelinin tipine göre, veri işlenmesi de ufak tefek farklılıklar göstermektedir (chandra 1979).

Bunlar;

- Z değerlerinin, x ve y lerin bir fonksiyonu olarak bulunması,
- ilgilenilen noktaların x ve y konum koordinatlarının sayısal formda verilmesi ve saklanması,
- Birinci ve ikincinin birleşimi.

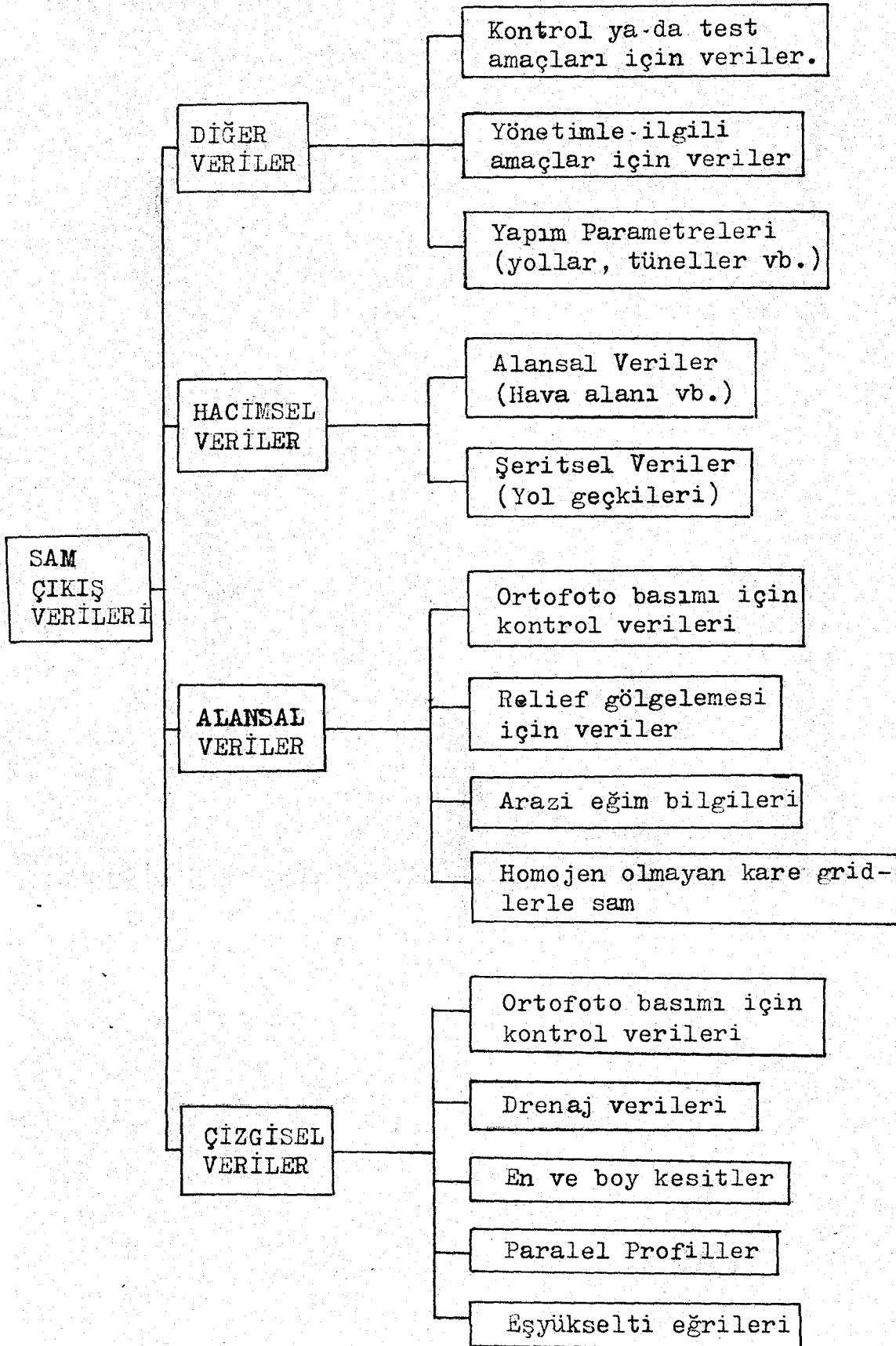
Ayrıca, sayısal arazi modelinden istenen çıkış biçim ve şekillerine bağlı olarak, değişik hesaplama aşamalarının uygulanacağı da açıktır.

2.14 SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDEN ELDE EDİLEN ÇIKIŞ VERİLERİ

SAM çıktıları genel olarak dört ayrı grupta toplanabilir. (Markoviç 1976).

- Çizgisel çıktıları,
- Alansal çıktıları,
- Hacimsel çıktıları,
- Diğer çıktıları.

Bu dört grup kendi içinde alt gruplara ayrılır.



Şekil 2.7 Sayısal Arazi Modeli Çıktıları (Makaroviç 1976)

2.15 SAYISAL ARAZİ MODELLERİNİN ARAZİYİ TEMSİL EDEBİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ

SAM'ın araziyi temsil edilebilirliği aşağıdaki öğelere bağlıdır.

- Bilgi toplamanın ve yapılan hesaplamaların etkinliğine,
- Toplanan bilgilerin doğruluğu ve kapsamlılığına,

Bilgi toplamanın etkinliği, örnekleme sırasında harcanan güce bağlı olarak değişir. Örneğin:

- Her birim alandaki nokta sayısı,
- Her nokta için harcanan zaman,
- vb.

Hesaplamaların etkinliği;

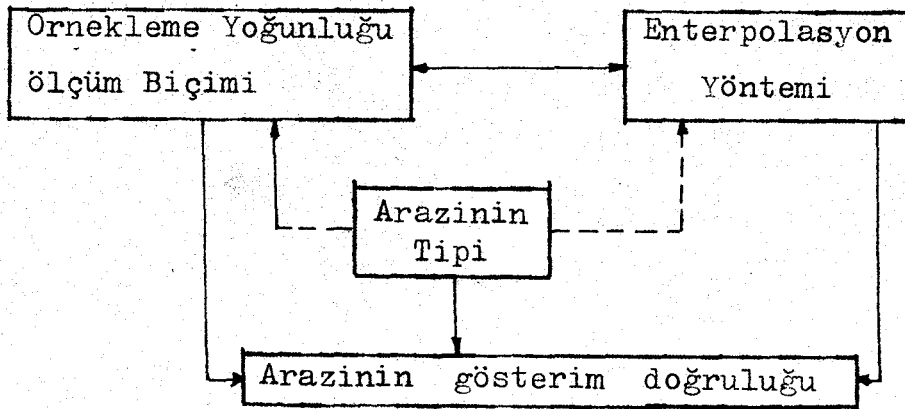
- Aritmetik ve mantıksal işlemlerin sayısına,
- Giriş - çıkış birimlerinin hızına,
- Bilgilere erişim hızına.

bağlıdır.

Toplanan bilgilerin doğruluğu ve kapsamlılığı,

- Gözlem hatalarına (C_0)
- Uygun olmayan örnekleme nedeniyle oluşan hatalara (C_s) bağ-

lıdır.



Şekil 2.8 Sayısal Arazi Modelinin Araziyi Temsil Gücünü Değiştiren Etkenler

Böylece toplam varyans,

$$\sigma_T^2 = \sigma_o^2 + \sigma_s^2$$

olacaktır.

Gözlem hataları olan σ_o çeşitli değişkenlerin:

- Fotograflama tekniği,
- Arazi,
- Ölçek,
- Alet,
- Operatör,
- vd.

bileşimlerinden deneyimler yardımıyla bulunabilir. Örneklem hataları olan σ_s nin kestirimi daha zordur ve karışıktır. Kestirim yapmak amacıyla iki değişik yaklaşım söz konusudur. (Makarovic 1976);

- Deneysel yaklaşım,
- Analitik yaklaşım.

2.15.1 ÖRNEKLEME DOĞRULUĞUNUN DENEYSEL YAKLAŞIMLA BELİRLENMESİ:

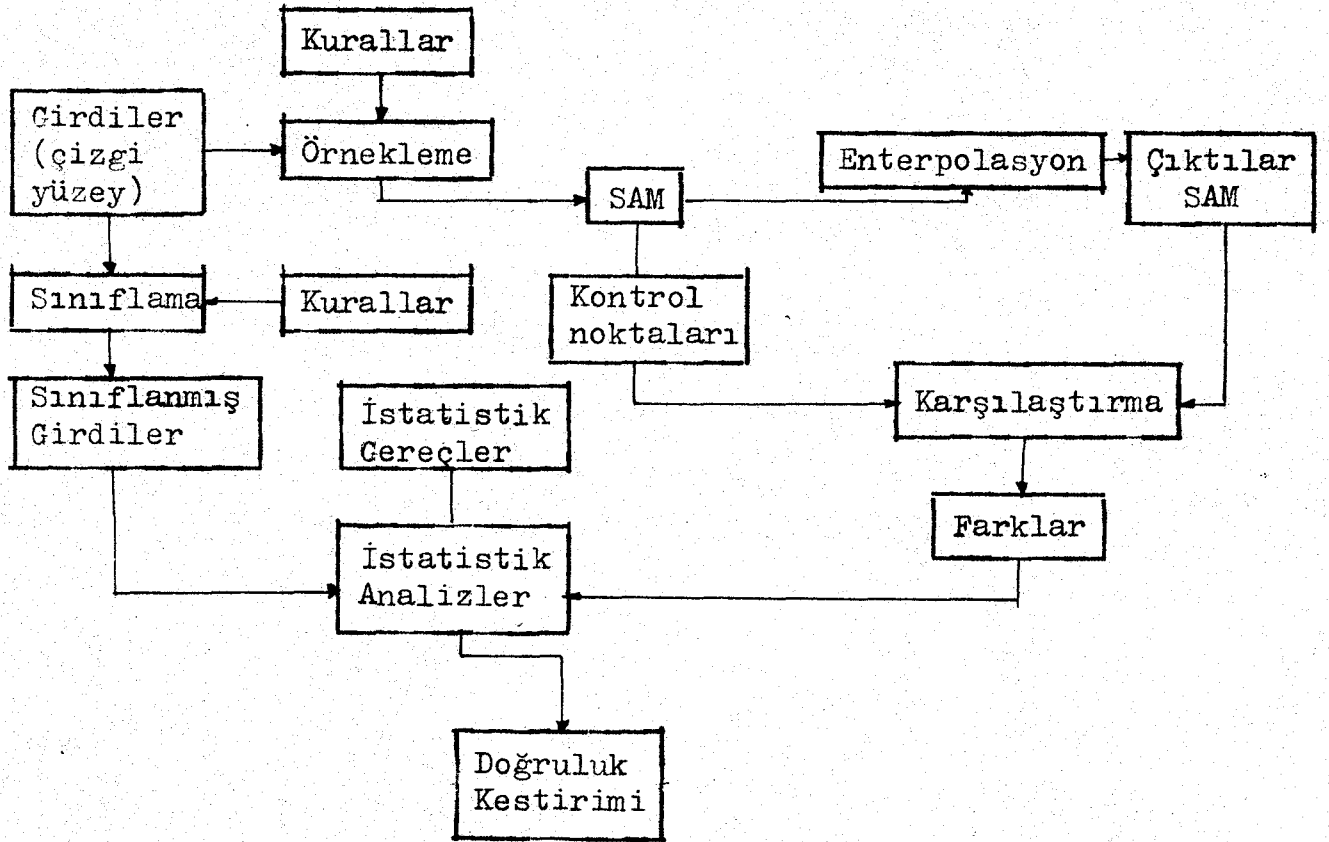
Deneysel yaklaşım içerik olarak basit olmasına karşın, güncel kullanımda oldukça ayrıntıyı içermektedir. Arazi sınıflamasıyla birlikte düşünülmesi gereken oldukça çok değişken söz konusudur. Ancak sayısal arazi modeli amaçlı bir arazi sınıflaması henüz yeterince ayrıntılı ve kesin olarak yapılmış değildir.

σ_o ve σ_s yanılığları birbirinin içine girmiş biçimdedir. yapılan değişik araştırmalar sonucunda (Makaroviç 1976) aşağıdaki genellemeler yapılabilmektedir.

- SAM'ın doğruluğu;
 - . Grid yoğunluğuna ve
 - . Arazinin değişebilirliğine (yerel alçalıp yükselmelerin yoğunluğuna)

bağlıdır.

- Değişik enterpolasyon yöntemleri, yeteri titizlik ve uygun şartlarla (nokta yoğunluğu, ağırlık fonksiyonları vb.) uygulandığında bulunan sonuçlar hemen hemen aynı doğruluk düzeyinde olmaktadır. (Makorovic 1976).



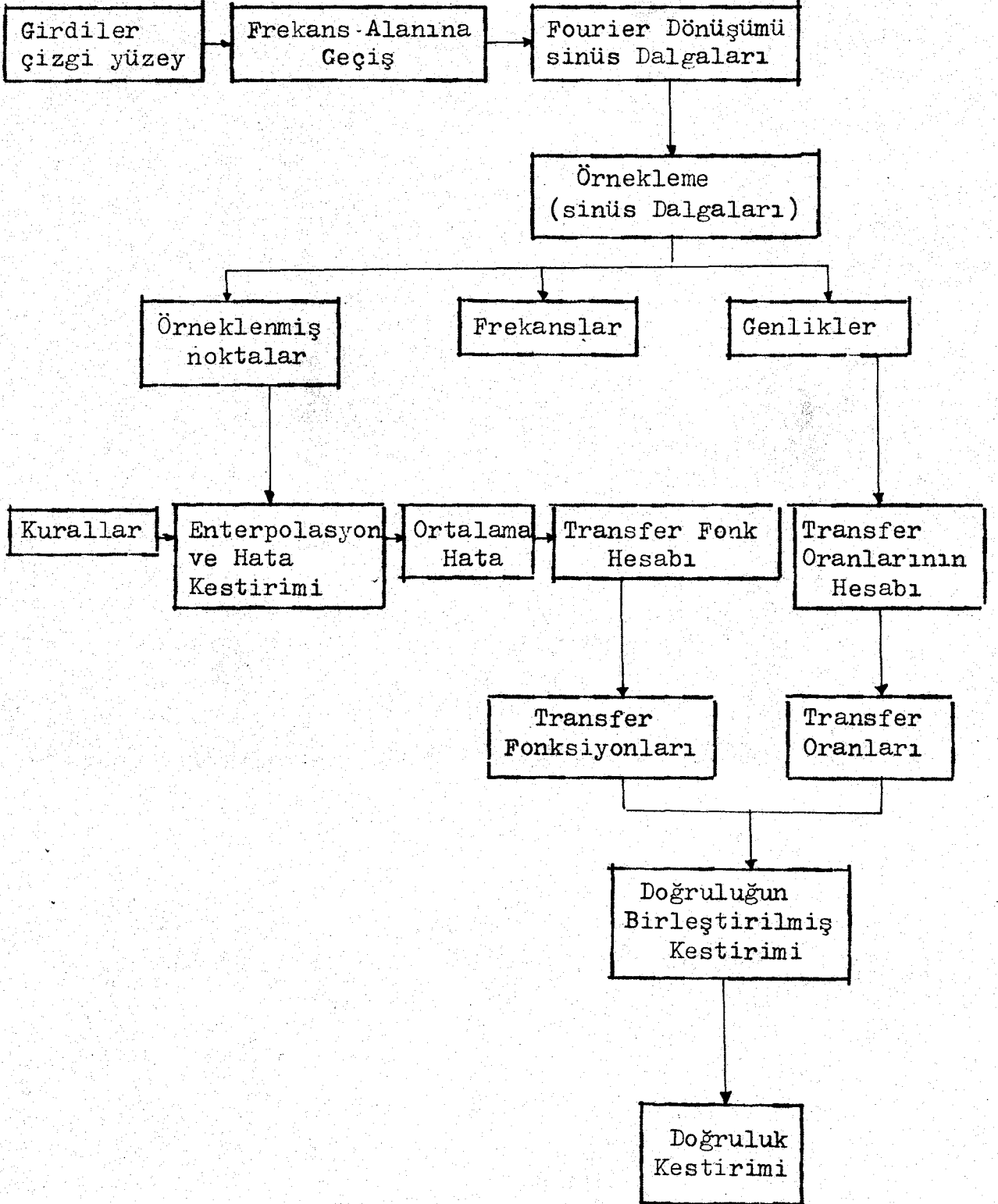
Şekil 2.9 Örnekleme Doğruluğunun Deneysel olarak Belirlenmesi
(Makoroviç 1976.)

2.15.2 ÖRNEKLEME DOĞRULUĞUNUN ANALİTİK YAKLAŞIMLA BELİRLENMESİ

SAM'in yeterliliğinin analitik yaklaşımla bulunmasında kavramsal temeller daha karışık olmasına karşın, pratik kullanımda uygulanabilirliği daha kolaydır. Arazi sınıflamasına bağlı değildir.

Temel gridler (örneğin arazi yüzeyi) frekans alanına dönüştürülerek (örneğin Fourier Dönüşümü) bir örnekleme yoğunluğu ve belli bir

enterpolasyon yöntemi ile ilgili transfer fonksiyonları belirlenebilir.



Şekil 2.10 Örnekleme Doğruluğunun Analitik olarak Belirlenmesi (Makarovic 1976)

3. EN KÜÇÜK KARELER PREDİKSİYONU

3.1 EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİNE GÖRE PREDİKSİYON PROBLEMİNE GENEL BAKIŞ

Stokastik süreç kuramları açısından enterpolasyon problemlerine ilişkin çözüm yöntemlerinin genel ilkeleri daha 1940 yılında A. Kolmogorov ve N. Wiener tarafından ortaya konmuştur. Ölçü noktalarında stokastik değişken olarak kabul edilen signallerin (düzensiz sistematik büyüklükler) doğrusal fonksiyonu şeklinde, ölçü yapılmamış başka noktalar-daki signal büyüklüklerin enterpolasyonu anlamında kullanılan bu yöntem yayınlarında Kolmogorov-Wiener predikasyonu adı ile geçer.

Çözüm bir stotastik değişken olan bilinmeyenler vektörünün hesaplanmasında doğruluk ölçüğü olarak kabul edilen ortalama hatayı en küçük yapacak ağırlık fonksiyonunun bulunmasına dayanır. (en küçük varyans-ortalama hata kuralı).

Predikasyon (enterpolasyon-extrapolasyon) yönteminde uygulama açısından genel olarak şu iki işlem sırası önemlidir.

(i) ilk önce ölçüler sistematik bölüm (fonksiyonel bölüm, trend) üzerine incelenir. Ölçülerin matematiksel fonksiyonu biliniyorsa ölçülerden sistematik kısmın uzaklaştırılmasında doğrudan doğruya bu fonksiyon ele alınır. Fonksiyon önceden açık olarak görülemiyorsa hatalı nokta dizisinin dökümünden varılacak karara göre doğru, polinom, trigonometrik, eksponansiyel veya harmonik fonksiyonlardan biri seçilebilir. En küçük ortalama hatayı veren diğerleri arasında ölçülerin deterministik bölümü için en uygun fonksiyondur.

(ii) Seçilen uygun fonksiyonla ölçülerden deterministik bölüm çıkarıldıktan sonra kalan farklar stokastik büyüklükler olarak kabul edilir ve başka noktalardaki signal büyüklüklerin enterpolasyonu için kullanılır.

Doğrudan doğruya ölçülerle predikasyon işleminde enterpolasyonla

bulunan signal değerinin ortalama hatası büyük olur. (E. Groferend,1972)

Deterministik kısım (varsa) ölçülerden çıkarıldıktan sonra elde edilen farklar istatistik özellikleri ve nitelikleri bakımından iki ayrı stokastik değişkenin toplamına eşit kabul edilir.

$$Z_i = S_i + n_i \quad (i = 1,2,\dots,r)$$

s_i, n_i : stokastik değişken

a- Aralarında korelasyonlu düzensiz sistematik bölüm S_i (Signal)

b- Korelasyonsuz ölçü hataları n_i (noise)

Signaller ile ölçü hataları arasında korelasyon olmadığı koşulu koşudur. Ölçü hataları yalnız ölçü noktalarında sözkonusu olmasına karşın signal sürekli bir fonksiyon neteliğindedir. Her ikisi de stokastik değişkenler olup olasılık kuramının kanunlarına uygun özellikler taşır. Ölçü hataları sık işaret değiştirir.

Enterpolasyon noktası çevresinde signalin doğrusal değiştiği kabul edilir. Buna göre enterpolasyon noktasındaki signal büyüklüğü ölçü noktalarındaki signallerin doğrusal fonksiyonu olarak gösterilir. Bu fonksiyondaki bilinmeyen katsayılar vektörü öyle belirlenirki, signalin ortalama hatası en küçük olur. Ölçü noktaları arasındaki varyans-kovaryans matris ve enterpolasyon noktası ile ölçü noktaları arasındaki karışık kovaryans vektörlerinin oluşturduğu bu katsayılar enterpolasyon noktası ile bilinen noktalar arasındaki uzaklığa bağlı olarak yakın ve uzak çevredeki noktaların etkilerini gösterirler.

En küçük kareler yöntemine göre prediksyon genel olarak, bilinmeyenler sayısı ölçü sayısından büyük olan dengeleme şekilleridir. Bilinmeyen sayısına ilişkin hiçbir sınırlama yoktur.

Klasik dengeleme şeklinden bir başka farkta en küçük kareler

yöntemine göre prediksyonda bilinen signaller ile bilinmeyenler için aynı bir kovaryans fonksiyonunun geçerli olması ve bunun önceden ve- rilmiş bilinen olarak kabul edilmesidir. Genel olarak enterpolasyon probleminde kovaryans fonksiyonu ölçü noktalarındaki stokastik değiş- kenler üzerinden ampirik olarak elde edilir.

3.2 STOKASTİK OLAY VE İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLER

Bir fiziksel olayı gösteren bilgiler ya deterministik ya rasgele ya da her ikisinin karışımı olabilir. Deterministik bilgiler kesin bir matematik bağıntı ile tanımlanabilir.

$$s = \frac{1}{2} g t^2 \quad (\text{Serbest düşmede alınan yol})$$

$$T = 2 \pi \sqrt{l/g} \quad (\text{Peryot})$$

Bununla birlikte doğada birçok fiziksel olay deterministik de- ğildir. Böyle olaylar kesin eşitliklerden çok olasılık kavramının te- rimleri ve istatistiksel ortalamalarla tanımlanabilirler. Kesin değe- rini elde etmek için bir yol bulunamayan bilgiler karakter olarak rasgeledir. Rasgele fonksiyon denilince belirli bir gözlemin sonuçları yardımıyla tanımlanan ve bu gözlemin yinelenmesi sırasında farklı de- ğerler alabilen fonksiyonlar anlaşılır.

$$\{ x(t) \} \quad \text{Rasgele süreci tanımlayan gösterim.}$$

Rasgele bir olayın bir parametreye örneğin zamana bağlı değişim- lerini gösteren bir gözlem kaydı örnekleme fonksiyonu olarak adlandırır- ılır. Rasgele olayın oluşturduğu bütün olasılığın örnekleme fonksiyon- larının tümü rasgele süreci oluşturur. Rasgele süreçler durağan yani istasyonier ve durağan olmayan olmak üzere ikiye ayrılır.

Rasgele bir fiziksel olayın özellikleri zamanın herhangi bir anında rastgele süreci oluşturan örnekleme fonksiyonlarının tümünü içeren bir ortalama hesaplanarak kuramsal olarak tanımlanabilir.

Pekçok durumda özel zaman anındaki ortalamalar yerine bir tek örnek fonksiyonunun ortalamaları ile rasgele sürecin özelliklerini tanımak olası olabilir.

Rasgele süreç durağan ise ve ortalama (M_x), otokorelasyon fonksiyonu (R_x) farklı örnekleme fonksiyonlarından hesaplandığı zaman aynı değeri koruyorsa yani değişmiyorsa rasgele sürecin ergodik olduğu söylenir. Ergodik rasgele süreçler bir tek örnekleme fonksiyonunun zaman-yöre ortalaması alınarak, bütün özellikleri belirlenebileceğinden rasgele süreçlerin önemli bir kısmıdır. Pratikte durağan fiziksel olayları gösteren rastgele bilgiler genellikle ergodiktir.

Bu nedenle çoğu durumlarda bir tek gözlenmiş zamana bağlı kayıttan durağan rastgele olayın özellikleri doğru olarak ölçülebilir.

$\{x(t)\}$ rastgele fonksiyonu bir tek boyuttan oluştuğu gibi bir rastgele u boyutlu vektör fonksiyonu da olabilir.

$$\vec{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_u(t)]$$

Tek parametrelili çeşitli rastgele fonksiyonların bileşkesi olarak oluşan rastgele vektör fonksiyonlardan başka birden fazla değişkeni parametre kabul eden ve rastgele alan olarak adlandırılan

$$x(\underline{u}) = x(u_1, u_2, \dots, u_n)$$

rastgele fonksiyonlarda vardır.

Rasgele alanlarda durağanlık kavramının yerine homojenlik ve izotropluk kavramı olur. (Ergodik yerine izotrop) Eğer bir $x(u)$ rastgele

alanının ortalama değeri değişmez ve korelasyon fonksiyonu alandaki farklı noktaların mutlak konumlarına değil yalnızca bu noktalar arasındaki vektörün uzunluk ve doğrultusuna bağlı ise böyle rastgele alanlara homojen alan adı verilir. Rastgele alanın korelasyon fonksiyonu noktalar arasındaki vektörün doğrultusundan bağımsızsa yani yalnız vektörün uzunluğuna bağımlıysa böyle alanlar homojen ve izotrop alanlar olarak adlandırılır.

Çok boyutlu rastgele fonksiyonların son çeşidi ise şu biçimde rastgele vektör olanlarıdır.

Rastgele vektör alanı

$$\underline{x}(\underline{u}) = \left[x_1(\underline{u}), x_2(\underline{u}), \dots, x_u(\underline{u}) \right]$$

En küçük kareler yöntemine göre prediksyon yönteminde, prediksyona konu olan olayların rasgele, ergodik, homojen ve izotrop bir süreç olduğu varsayımına dayanılır.

Jeodezide rasgele büyüklükler Gauss'un hata fonksiyonuna uyan bir dağılım özelliği gösterirler, yani normal dağılımlıdırlar. Hata kuramından bilindiğine göre bir büyüklüğün normal dağılımı onun ortalama değeri ve varyansı (ortalama hatası) ile tamamen bellidir.

En küçük kareler yöntemine göre prediksyon yönteminde stokastik büyüklüklerde jeodezik problemler yönünden normal dağılımlı kabul edilmektedir. Ortalama anlamında M ile

$$M(z) = 0, \quad M(s) = 0, \quad M(n) = 0 \quad \text{olmalıdır.}$$

Prediksyon yönteminde uygun fonksiyonla ölçülerden deterministik bölüm çıkarıldıktan sonra elde edilen z büyüklüklerinin;

$M(z) = 0, \quad M(s) = 0, \quad M(n) = 0$ özelliğine uygun olmaları sağlanabilir. S ve n rastlantısal değişkenler olduğundan ortalama de-

ğerleri sifira eşittir.

Konunun bu mölümünde korelasyon ve kovaryans fonksiyonlar hakkında bilgi vermek gereksinimi duyulmuştur.

3.3 KORELASYON FONKSİYONU

Rasgele alan homojen ve izotrop kabul edildiğinden c otokorelasyon fonksiyonu yalnızca noktalar arasındaki d uzaklığına bağlıdır.

Signallerin ölçü hatalarının ve gözlemlerin ortalaması sıfırdır.

$$M_s = 0, \quad M_r = 0, \quad M_{\Delta h} = 0$$

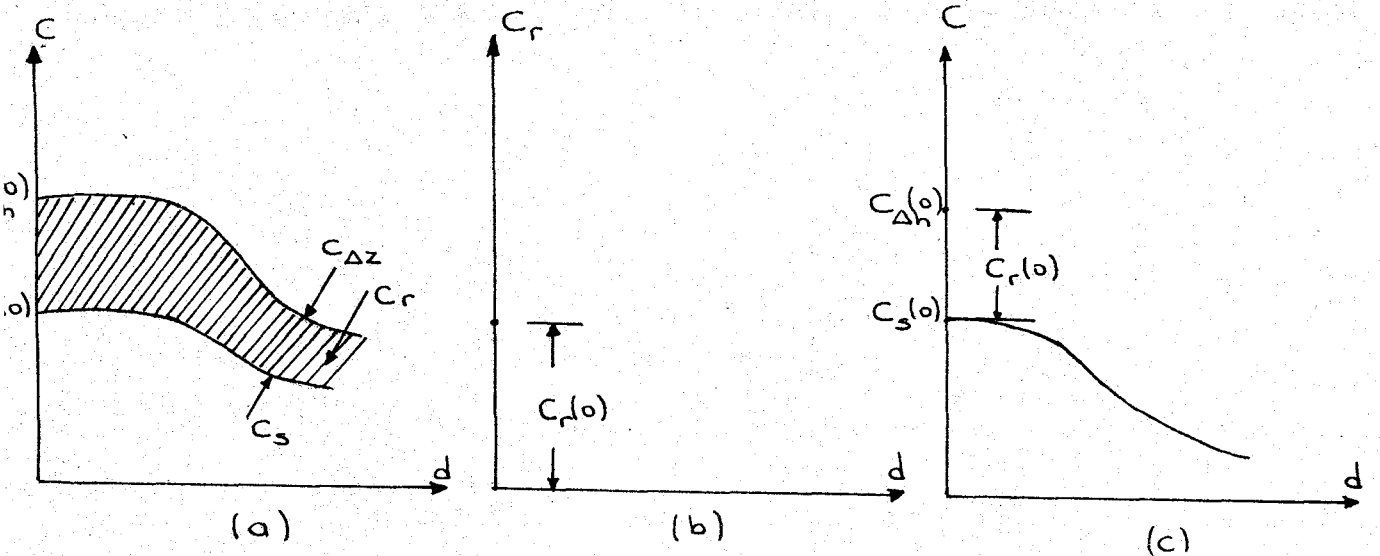
Genelde üç otokorelasyon fonksiyonu vardır.

$$C_{\Delta h}(d), \quad C_s(d), \quad C_r(d)$$

ölçü hataları (noise) ve signaller arasında korelasyon yoktur.

$$C_{r,s} = C_{s,r} = 0 \quad \text{korelasyon olmadığı için}$$

$$C_{\Delta h}(d) = C_s(d) + C_r(d)$$



Şekil 3.1

Şekil 3.1. (a) da görülen taralı alan ölçü hatalarının korelasyonunu göstermektedir. Bununla birlikte pratikte $r(x, y)$ hatalarının daha gerçekçi olarak korelasyonsuz olduğu varsayımı yapılır. Bundan dolayı şekil (3.1. (b))'de görüldüğü gibi $C_r(o)$ ölçü hatası yalnızca bulunan noktada olacaktır. Bunun sonucu olarak d sıfır olurken varyanslar arasındaki ilişki

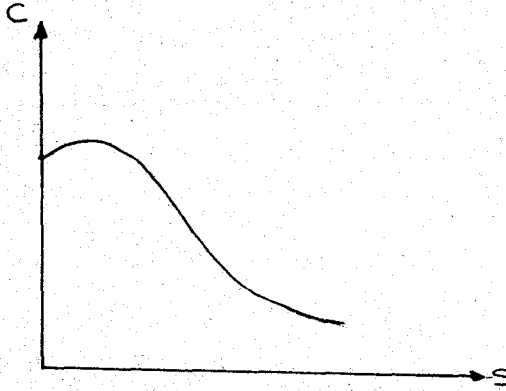
$$C_{\Delta h}(o) = C_s(o) + C_r(o) \text{ dir.}$$

Üç kovaryans fonksiyonu arasındaki ilişki ise şekil 3.1. (c)'deki gibidir.

Kovaryans fonksiyonları ya kuramsal olarak bilinirler ya da deneysel bilgilerinden elde edilebilirler.

3.4 KOVARYANS FONKSİYONLAR

Bazı özel durumlarda kuramsal olarak belirlenmiş kovaryans fonksiyonları ile çalışmak olasıysa da bunlar genel olarak verilen verilerden türetilir. Düşünce biçimi durağan rastgele süreçlerle sınırlı olduğundan kovaryans fonksiyonu;



Şekil 3.2

Şekil 3.2'deki gibi olacaktır.

Aralarındaki uzaklık $d + \Delta d$ olan P_i ve P_j noktaları için kovaryans, bütün olası Δh_i , Δh_j çarpım çiftlerinin ortalamasıdır.

Böylece uzaklığın fonksiyonu olarak kovaryans değeri;

$$W(d) = \frac{1}{n \cdot j} \sum_{i < j} \Delta h_i \Delta h_j$$

olup; bu değer

$$c(0) = V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i^2$$

varyansı ile normalize edilerek

$$c(d) = \frac{W(d)}{V}$$

otokorelasyon değeri elde edilebilir.

Otokorelasyon fonksiyonunun kuramsal olarak bilinmediği durumlarda seçilen bir fonksiyonun katsayıları ;

$c(d) = \frac{W(d)}{V}$ eşitliği ile uzaklığa bağlı olarak elde edilen otokorelasyon değerleri yardımı ile en küçük kareler yöntemine göre belirlenerek otokorelasyon fonksiyonu ampirik bir biçimde elde edilebilir. Bunlar;

$$c(d) = \frac{c(0)}{1 + d^2/k^2}$$

$$c(d) = c(0) e^{-d^2/k^2}$$

Gauss fonksiyonu şeklinde olabilir.

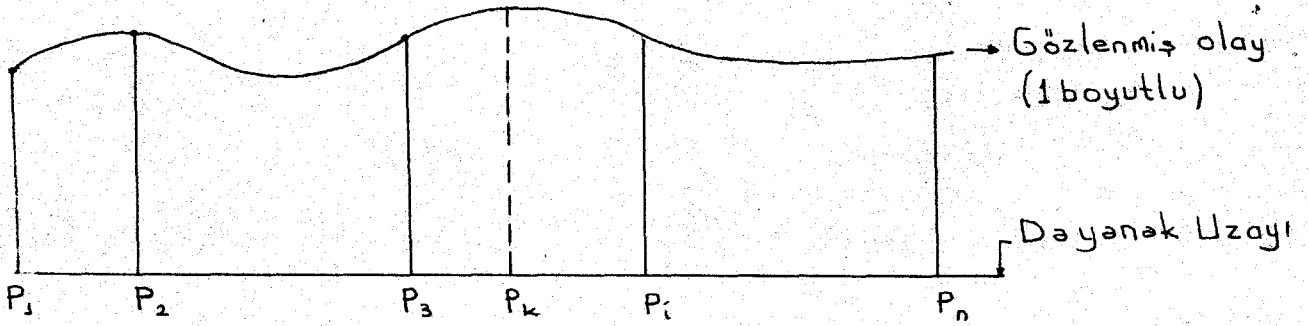
4. SAYISAL ARAZİ MODELLERİNDE ENTERPOLASYON

4.1 TANIM

İnterpolasyon problemi genel olarak, n boyutlu p_i noktalarındaki n boyutlu vektörleri kullanarak n boyutlu P_k noktalarındaki m boyutlu bilinmeyen vektörlerinin bulunması şeklinde tanımlanabilir. n boyutlu uzaya "Dayanak uzayı" adı verilir. Gözlem yapılan noktalarada örnekleme noktaları denir. Olay bir skalar büyüklük olabildiği gibi n boyutlu bir vektörde olabilir.

Sayısal arazi modellerinin interpolasyonu probleminde dayanak uzayının iki boyutu, vektörlerin bir boyutu vardır. Dayanak uzayının iki boyutu x ve Y , vektörlerin bir boyutu ise z 'dir.

Şekilde tek boyutlu dayanak uzayı görülmektedir. Burada enterpolasyon yardımıyla değeri bulunacak olan nokta P_k 'dir.



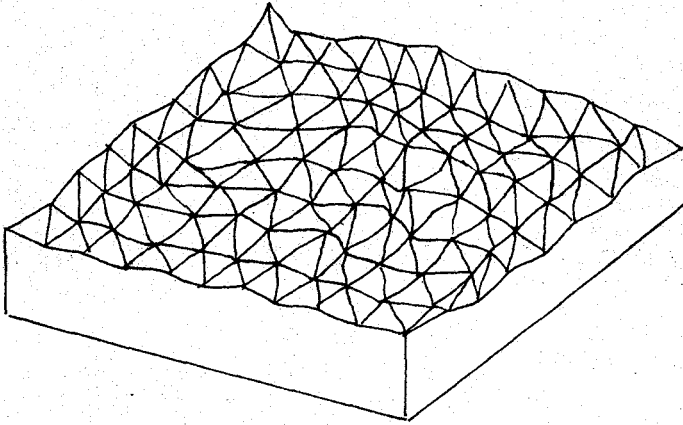
Şekil 4.1

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_i$ = örnekleme noktaları

P_k = Enterpolasyon noktası

Yüzey yaklaşımı probleminin çözümü için üç farklı yaklaşımın olduğu açıklanmıştı. Bir tek fonksiyonla interpolasyon durumunda, bir tek $Z = f(x, y)$ fonksiyonu belirlemek için bütün dayanak noktaları aynı anda kullanılır.

Parça parça interpolasyonda bütün sayısal arazi modeli daha küçük parçalara bölünür ve herbir parça seçilen bir fonksiyonla gösterilir. Bu durumda parçaların sınırları boyunca çatlaklar ve süreksizler oluşabilir. Bundan kaçınmak için, parçalardaki fonksiyonları sınırlar boyunca çakıştırmak için etkileyen birleştirme fonksiyonları kullanılabilir. Bu birleştirme koşullarının, bilinmeyen fonksiyon parametrelerinin hesabında açık olarak tanıtılması gerekli ise, problem bir tek fonksiyonla interpolasyon durumuna dönüşür. Bu nedenle, birleştirme koşullarına gerek kalmayacak biçimde fonksiyonların bulunması gerekir. Böyle bir fonksiyona çok basit bir örnek olarak, lineer interpolasyondaki "polihedron" gösterilebilir. Dayanak noktaları düzlem üçgen parçalarını tanımlamak için kullanılır. Bu durumda, fonksiyon sınırlar boyunca aynıdır. Birleştirme koşullarına gereksinme göstermeyen fonksiyonlara başka bir örnek Jaincaitis ve Jankins tarafından verilmiş olan 12 katsayılı bikübik folimomdur.



Şekil 4.2

Düzlem üçgenlerle arazi yüzeyi
(Polihedron)

Nokta nokta interpolasyonda, yüksekliği bulunacak noktayı çevreleyen kritik daire (veya kare) nin iç tarafına düşecek biçimde ölçülmüş dayanak noktaları seçilir. Bu noktalar ağırlıklı ortalama, düşük dereceden polinom veya seçilecek diğer fonksiyon parametrelerini

hesaplamak için kullanılır. Ölçüler düzgün ağ noktalarında yapılmış ise büyük ölçüde kolaylık sağlanır. Her bir yeni nokta çevresindeki dayanak noktaları alt kümesini kullanarak bağımsız interpole edildiğinden, nokta nokta interpolasyonda depolama işlemine gerek kalmaz. İnterpolasyon fonksiyonun katsayıları noktadan noktaya değişir. Bu, daha fazla hesabı gerektirmesine karşılık esnekliği artırır.

Kare ağılı sayısal arazi modellerinde, üzerinde bir fonksiyon tanımlanan arazi parçasının büyüklüğü, ölçme ağlarının büyüklüğüne eşitse, nokta nokta interpolasyon ile parça parça interpolasyon aynıdır.

Nokta nokta veya parça parça interpolasyonda dört taneden fazla dayanak noktası kullanılacaksa, aşağıdaki interpolasyon şekillerinden birisi seçilebilir.

- Ağırlıklı ortalama,
- Kayan (hareketli) yüzey,
- Lineer prediksiyon,
- En küçük arazi parçalarındaki polinomlar

Dayanak noktaları düzgün bir ağın kesişme noktaları olarak ölçülmüşse, dört köşe noktası kullanılarak aşağıdaki şekillerden birisine göre interpolasyon yapılabilir.

- 1- Ağırlıklı ortalama,
- 2- Lineer prediksiyon,
- 3- Bilineer polinomlar
- 4- Lineer interpolasyon,
- 5- Çift lineer interpolasyon.

4.2 ENTERPOLASYONLA ÇÖZÜLEBİLECEK FOTOGRAMETRİ PROBLEMLERİ

GÖREV	ÖRNEKLEME UZAYI BOYUTU	HESAPLANACAK UZAYIN BOYUTU
Refraksiyon katsayısının belirlenmesi	3(x,y,z koordinatları, ek olarak zaman)	1(refraksiyon katsayısı)
Mercek distorsiyonu düzeltilmesi (a)	2(x,y resim koord. yada radyal uzaklık ve azimut)	2(teğetsel ve radyal distorsiyon ya da Δx , Δy görüntü hataları)
Mercek distorsiyonu (sadece radyal)	1(r radyal uzaklık)	1(radyal distorsiyon)
Filim deformasyonu düzeltilmesi	2(x,y resim koord.)	2(Δx , Δy film deformasyonları)
Düşeye Çevirme	2(x,y resim koord.)	2(Δx , Δy görüntü deformasyonları)
Aletsel hataların düzeltilmesi (a) Komparatörler (b) Analog Aletler	2(x,y koord.) 3(x,y,z model koord)	2(Δx , Δy) 3(Δx , Δy , Δz).
Model deformasyonu düzeltilmesi	3(x,y,z model koordinatları)	3(Δx , Δy , Δz model deformasyonları)
Kolon dengelemesi (Konum + Yükseklik)	3(x,y,z kalan koordinatları.)	3(Δx , Δy , Δz)
Blok dengelemesi (konum + Yükseklik)	3(x,y,z blok koordinatları)	3(konum + yükseklik deformasyonları)
Sayısal Arazi Modelleri	2(x,y örnekleme düzlemi)	1(z yükseklik)

Çizelge 4.1 Enterpolasyonla Çözülebilecek Fotogrametri Problemleri (Leberl 1975 : s . 208).

4.3 TÜM ARAZİYİ KAPSAYAN BİR TEK FONKSİYONLA İNTERPOLASYON

Tüm araziyi kapsayan bir tek fonksiyonla interpolasyon durumunda bütün dayanak noktaları kullanılarak tüm arazi birtek $z = f(x,y)$ fonksiyonu ile tanımlanır. Bunun için analitik zm Hardy/JCR//AVN/ tarafından verilmiştir. Topografik yüzey, katsayıları tanımlanmış bir tek cins ikinci dereceden yüzey denklemlerinin toplamı olarak belirlenmektedir. Hardy, bu yüzey yaklaşımına multikuadrik yüzey adını vermektedir.

Bu yöntemle; dayanak noktalarına göre düşük dereceden bir $t(x,y)$ polinomu kullanılarak trend yüzeyi geçirildikten sonra, kalan Δz_j artık değerleri ile multikuadrik yüzeyin katsayıları belirlenmektedir.

Multikuadrik yüzey genel olarak;

$$\sum_{j=1}^n c_j \cdot \left[q(x_j, y_j, x, y) \right] = z \quad (4.1)$$

şeklindeki serilerle tanımlanabilir. Burada z , tek bir cins ikinci derece yüzeylerin toplamı olarak x ve y 'nin bir fonksiyonudur. Herbir ikinci derece yüzeyin düşey simetri ekseni dayanak noktalarının (x_j, y_j) yatay konumlarında yer almıştır.

c_j katsayısı ikinci dereceden terimlerin cebrik işaretini ve eğimini belirler. (4.1) genel eğitliği şeklindeki multikuadrik yüzeye özel bir örnek,

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + f \right]^{1/2} = z \quad (4.2)$$

iki yapraklı dairesel hiperboloid serilerinin toplamıdır.

Başka bir örnek

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + f \right] = z \quad (4.3)$$

şeklinde dairesel paraboloid serilerinin toplamıdır. f isteğe bağlı bir sabittir. (4.2) eşitliğinde $f=0$ alınırsa multikvadrik yüzey

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 \right]^{1/2} = z \quad (4.4)$$

şeklinde dairesel dik konilerin toplamından oluşur. c_j katsayılarını belirlemek için dayanak noktalarından yararlanılır. n sayıdaki dayanak noktalarından,

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \right]^{1/2} = z_i \quad (4.5)$$

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

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

$$\left[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \right]^{1/2} = a_{ij} \quad (4.6)$$

şeklinde bilinen elemanlardan oluşmuştur.

n boyutlu bilinmeyenler vektörü,

$$\underline{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}$$

dir.

$$(4.7)$$

Dayanak noktalarındaki yükseklikleri gösteren n boyutlu vektör ise

$$\underline{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ z_n \end{bmatrix} \quad \text{dir.} \quad (4.8)$$

Bu durumda (4.5) eşitliği matris gösterimi ile

$$\underline{A} \quad \underline{C} = \underline{Z} \quad (4.9)$$

olur. Buradan c_j bilinmeyen vektörü,

$$\underline{C} = \underline{A}^{-1} \underline{Z} \quad (4.10)$$

matris eşitliğinden elde edilir.

c_j katsayılarının hesaplanmasından sonra koordinatları x,y olan p noktalarının yükseklikleri,

$$z_p = t(y,x) + \sum_{j=1}^n c_j \left[(y_j - y)^2 + (x_j - x)^2 \right]^{1/2} \quad (4.11)$$

ile interpolate edilebilir.

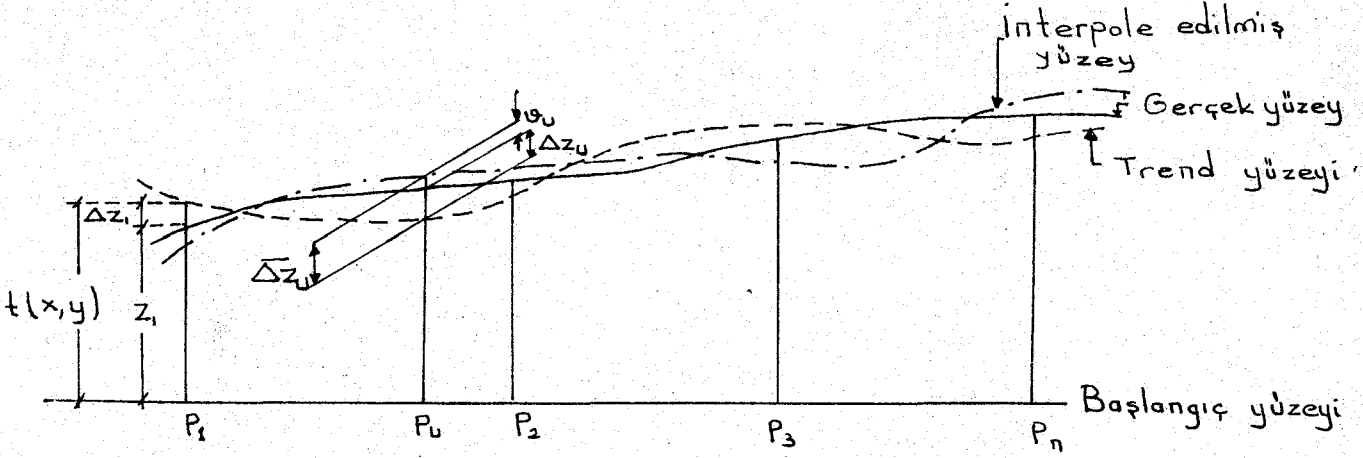
Multiküadrik interpolasyonda birinci ve ikinci derecede trend yüzeyi kullanılması, interpolasyon sonuçlarını hemen hemen hiç etkilememektedir.

Bu durumda multiküadrik interpolasyon için trend yüzeyi olarak birinci derecede bir polinom kullanılması yeterlidir.

4.4 LINEER PREDİKSİYONLA İNTERPOLASYON

Lineer prediksyonla interpolasyon, istasyonere rastlantısal

fonksiyonların ergodik özelliğinden yararlanarak geliştirilmiştir. /Krauss/, /Leberl/, /Schut/. İnterpole edilecek bölgedeki dayanak noktalarına göre bir trend yüzeyi (dengeleyici yüzey) geçirildikten sonra, Δz artık yükseklik değerleri arasındaki korelasyon bir kovaryans fonksiyonu ile gösterilir.



Şekil 4.2

Bütün yüzeydeki Δz artık yükseklik değerleri artı ve eksi işaretlerle rastlantısal olarak dağılmışlardır.

Tüm artık Δz yüksekliklerinin ortalaması

$$z_{\text{ort}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta z_j = 0 \quad \text{dir.} \quad (4.12)$$

Bu durumda, Δz değerleri izotrop ise; yani, iki nokta arasındaki uzaklığa bağlı ise (Δz değerleri arasındaki korelasyon hem uzaklığa ve hem de doğrultuya bağlı ise Δz 'ler izotrop değildir) uzaklığa bağlı bir kovaryans fonksiyonu kullanılır.

Aralarındaki uzaklık S olan iki P_i ve P_j noktası $i = 0$ için Δz_i ve Δz_j kovaryansı olarak $s + d$ aralığındaki bütün olasılı $\Delta z_i \Delta z_j$ çarpım çiftlerinin ortalaması alınır.

Böylece uzaklığın fonksiyonu olarak kovaryans,

$$W(s) = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{i \neq j} \Delta z_i \Delta z_j \quad (4.13)$$

Bu değer

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta z_i^2 \quad (4.14)$$

varyansına bölünerek normalize edilir. Uygulamalarda, kovaryans fonksiyonu eşitliğinden elde edilen bilgilerin, teorik olarak bilinen veya anprık olarak bulunmuş fonksiyonlara uydurulması ile belirlenir. Genel olarak kullanılan fonksiyonlar,

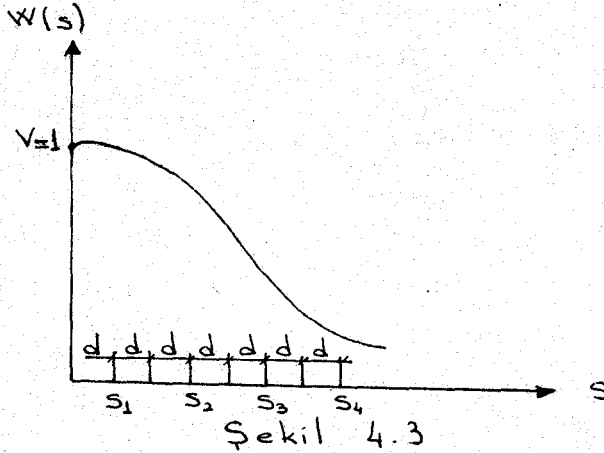
$$W(s) = \frac{1}{1 + \frac{s^2}{k^2}} \quad (4.15)$$

şeklindeki Hirvonen'in bulmuş olduğu fonksiyon ve

$$W(s) = e^{-s^2/k^2} \quad (4.16)$$

şeklindeki Gauss fonksiyonudur.

Şekil 4.3 de gösterilen kovaryans fonksiyonu, Gauss fonksiyonunun (4.13) eşitliğinden elde edilen bilgilere uydurulması ile elde edilmiştir.



Eğer Δz 'ler izotrop değilse, hem uzaklık ve hemde doğrultuya bağlı bir kovaryans fonksiyonu belirlenerek anizotropluk dikkate alınmalıdır.

4.4.1 İNTERPOLASYON FORMÜLÜNÜN TÜRETİLMESİ

Dayanak noktaları dışındaki herhangi bir P_u noktasında interpole

edilecek Δz_u değeri, dayanak noktalarındaki Δz_i 'lerin

$$\Delta \bar{z}_u = a_1 \Delta z_1 + a_2 \Delta z_2 + \dots + a_n \Delta z_n \quad (4.17)$$

şeklinde lineer bir fonksiyonu olduğu düşünülür. (4.17) eşitliği matris yazılışı ile

$$\Delta \bar{z}_u = \underline{A}^T \cdot \underline{\Delta z} \quad (4.18)$$

şeklindedir. $\Delta \bar{z}_u$ interpolate değerinin gerçek Δz_u 'dan sapması,

$$v_u = \Delta z_u - \Delta \bar{z}_u = \Delta z_u - \underline{A}^T \underline{\Delta z} = \left[1 - \underline{A}^T \right] \begin{bmatrix} \Delta z_u \\ \underline{\Delta z} \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

dir. Varyansı minimum yapan a_i katsayılarının bulunması için (4.17) eşitliğine kovaryansın yayılma yasası uygulanarak;

$$C_{vu}^2 = \left[1 - \underline{A}^T \right] \underline{C} \begin{bmatrix} 1 \\ -\underline{A} \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

bulunur. Buradaki \underline{C} matrisi,

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} V & q \\ q & Q \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

dir. V , Δz_u 'nun varyansı; q , Δz_u 'nun $\underline{\Delta z}$ vektörünün elemanları ile ilişkisini gösteren $n \times 1$ elemanlı kovaryans vektörü, Q , $\underline{\Delta z}$ vektörünün elemanları için kovaryans matrisidir. (4.21) eşitliği (4.20) eşitliğinde yerine yazılırsa,

$$C_{vu}^2 = V - 2 \underline{A}^T q + \underline{A}^T Q \underline{A} \quad (4.22)$$

olur. ve (4.22) eşitliğinin türevi alınıp, sifıra eşitlenirse

$$\underline{Q} \underline{A} - q = 0 \quad (4.23)$$

bulunur

Buradan,

$$\underline{A} = \underline{Q}^{-1} \cdot \underline{q} \quad (4.24)$$

elde edilir ve (4.24) eşitliği (4.18) eşitliğinde yerine konursa,

$$\underline{\Delta z}_u = \underline{q}^T \cdot \underline{Q}^{-1} \cdot \underline{\Delta z} \quad (4.25)$$

olur. Herhangibir P_u noktasında (4.25) eşitliği ile bulunan $\underline{\Delta z}_u$ artık yükseklik değeri $t(x,y)$ trend fonksiyonuna eklenirse,

$$z_u = t(x,y) + \underline{q}^T \cdot \underline{Q}^{-1} \cdot \underline{\Delta z} \quad (4.26)$$

şeklinde P_u noktasının interpolate edilmiş değeri elde edilmiş olur. n sayıdaki dayanak noktası için $n \times n$ elemanlı kovaryans matrisi, verilen kovaryans fonksiyonu $W(s)$ kullanılarak,

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & W(s_{12}) & W(s_{13}) \dots \dots \dots W(s_{1n}) \\ W(s_{21}) & 1 & W(s_{23}) \dots \dots \dots W(s_{2n}) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ W(s_{n1}) & W(s_{n2}) & W(s_{n3}) & 1 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

bulunur. Burada S_{ij} i'inci ve j'inci dayanak noktaları arasındaki uzaklıktır. Interpole edilecek nokta ile dayanak noktaları arasındaki kovaryans vektörü \underline{q} ,

$$\underline{q} = [w(s_1), w(s_2), \dots \dots \dots w(s_n)] \quad (4.28)$$

dir. Buradaki s_i interpolate edilecek nokta ile dayanak noktası arasındaki uzaklıktır.

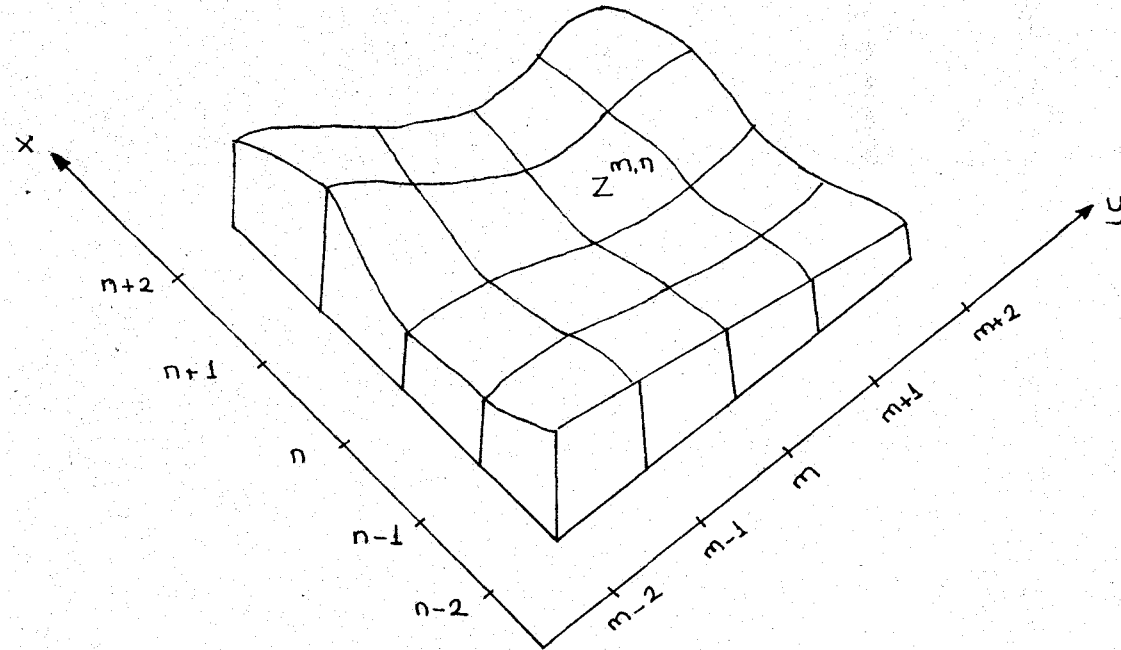
4.5 EN KÜÇÜK PARÇALARDAKİ POLİNOMLARLA İNTERPOLASYON

Dayanak noktaları düzlemi eşit kare veya dikdörtgen parçalara bölünür ve her bir kare veya dikdörtgen parçası üzerindeki yüzey tüm bölgede sürekli ve düzgün olacak şekilde düşük dereceden bir polinomla gösterilir. Parçaların sınırları boyunca süreklilik ve düzgünlük vardır. Bu yöntemin en genel karakteri, her bir yerel yüzeyin aynı anda hesaplanmasıdır.

Arazi şekil 4.4'de görüldüğü gibi eşit kare parçalara ayrılır. Bu eşit kare parçalarındaki yerel polinomlar

$$z = \sum_{ij} c_{ij} x^i y^j \quad (4.29)$$

şeklindedir. Kare kenarları birim uzunluk olarak seçilir. Her bir kare bölgesinin köşelerindeki yükseklik ve eğim değerleri, yerel dayanak noktaları alt kümesini kullanarak en küçük kareler yöntemine göre elde edilen düzlemlerden hesaplanır.



Şekil 4.4

\bar{z} , \bar{z}_y , \bar{z}_x birim kare bölgesinin bir köşesinde hesaplanacak yükseklik ve y ve x eksenleri doğrultusundaki eğimler; y_i ve x_i , inci dayanak noktasının koordinatları, W_i , i'nci dayanak noktasının ağırlığı olduğuna göre,

$$V_i = \bar{z} + \bar{z}_y y_i + \bar{z}_x x_i - z_i \quad W_i \quad (4.30)$$

şeklinde yazılan hata denklemlerinden, hataların karelerinin toplamı minimum yapan \bar{z} , \bar{z}_y , \bar{z}_x değerleri

$$\begin{bmatrix} \bar{z} \\ \bar{z}_y \\ \bar{z}_x \end{bmatrix} = (\underline{A}^T \underline{Q} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{Q} \underline{z} \quad (4.31)$$

matris eşitliğinden bulunur. \bar{z} , nxl elemanlı dayanak noktalarının yüksekliklerini içeren,

$$\underline{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} \quad (4.32)$$

şeklindeki vektör;

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & x_1 \\ 1 & y_2 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_n & x_n \end{bmatrix} \quad (4.33)$$

$n \times 3$ elemanlı katsayılar matrisi ve

$$Q = \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & W_2 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & W_3 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & & W_n \end{bmatrix} \quad (4.34)$$

$n \times n$ elemanlı ağırlık matrisidir. Burada W_i i'nci dayanak noktasının ağırlığını göstermektedir.

Herbir kare bölgesindeki yüzey (4.4) şeklindeki yüzey fonksiyonları ile gösterilir. Birim karelerin her bir köşe noktasında (4.31) eşitliği ile yüksekliğe ek olarak y ve x eksenleri doğrultusundaki eğimler de hesaplandığından her bir kare bölgesi için 12 değer bulunmuş olur (4 köşe noktası $\times 3 = 12$) Bu değerlerle 12 kat sayılı,

$$\begin{aligned} Z = & C_{00} + C_{01} y + C_{02} y^2 + C_{03} y^3 + C_{10} x \\ & + C_{11} x y + C_{12} x y^2 + C_{13} x y^3 + C_{20} x^2 \\ & + C_{21} x^2 y + C_{30} x^3 + C_{31} x^3 y \end{aligned} \quad (4.35)$$

şeklinde bikübik bir polinom belirlenebilir. Bu polinom, birim karenin köşe noktalarındaki yükseklikler ve eğimlerden hesaplandığından komşu karelerdeki polinomların fonksiyon değerleri sınırlar boyunca aynı olur.

Verilen bir kare bölgesi için dört köşe noktasındaki yükseklik ve eğimlerden C_{ij} katsayılarının hesabı,

$$\underline{C} = \underline{A}^{-1} \underline{Z} \quad (4.36)$$

ile yapılır. Burada \underline{C} , $n \times 1$ elemanlı

$$\underline{C}^T = [C_{00}, C_{01}, C_{02}, C_{03}, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{20}, C_{21}, C_{30}, C_{31}] \quad (4.37)$$

şeklindeki katsayılar vektörü; \underline{A} , birim kare bölgesinin dört köşe noktasının Y ve X konumlarına bağlı ve (4.35) eşitliğine karşılık gelen elemanlarını içeren,

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma_1 & \gamma_1^2 & \gamma_1^3 & x_1 & x_1 \gamma_1 & x_1 \gamma_1^2 & x_1 \gamma_1^3 & x_1^2 & x_1^2 \gamma_1 & x_1^3 & x_1^3 \gamma_1 \\ 0 & 1 & 2\gamma_1 & 3\gamma_1^2 & 0 & x_1 & 2x_1 \gamma_1 & 3x_1 \gamma_1^2 & 0 & x_1^2 & 0 & x_1^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \gamma_1 & \gamma_1^2 & \gamma_1^3 & 2x_1 & 2x_1 \gamma_1 & 3x_1^2 & 3x_1^2 \gamma_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \gamma_4 & \gamma_4^2 & \gamma_4^3 & x_4 & x_4 \gamma_4 & x_4 \gamma_4^2 & x_4 \gamma_4^3 & x_4^2 & x_4^2 \gamma_4 & x_4^3 & x_4^3 \gamma_4 \\ 0 & 1 & 2\gamma_4 & 3\gamma_4^2 & 0 & x_4 & 2x_4 \gamma_4 & 3x_4 \gamma_4^2 & 0 & x_4^2 & 0 & x_4^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \gamma_4 & \gamma_4^2 & \gamma_4^3 & 2x_4 & 2x_4 \gamma_4 & 3x_4^2 & 3x_4^2 \gamma_4 \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

12x12 elemanlı matris; \underline{Z} , dört köşe noktasında (4.31) eşitliği ile bulunan,

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} \underline{z}_1 \\ \underline{z}_{1y} \\ \underline{z}_{1x} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \underline{z}_4 \\ \underline{z}_{4y} \\ \underline{z}_{4x} \end{bmatrix} \quad (4.39)$$

yükseklik ve eğim değerlerinin 12×1 elemanlı vektörüdür. Orijini, birim kare bölgesinin sol alt köşesinde bulunan kayan bir yerel koordinat sistemi tanımlanırsa, A matrisi bütün birim kare bölgeler için aynı olur. Böylece A matrisinin yalnızca bir kez hesaplanarak tersinin alınması yerlidir. Bu ters matrisin depolanması bilgisayar işlem zamanını kısaltır.

Kare bölgelerin büyüklüğünün saptanması için,

$$\left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[z(y_i, x_i) - z_i \right]^2 \right]^{1/2} < \sigma$$

eşitsizliğinden yararlanılabilir. Burada n , tüm arazideki toplam ölçü sayısı; $Z(y_i, x_i)$ i 'nci dayanak noktasının (4.35) eşitliğinden bulunmuş yüksekliği; z_i , i 'nci dayanak noktasının ölçme sonucu bulunmuş yüksekliği, σ ise z_i gözleminin ölçme hatasıdır.

Yukarıdaki eşitsizlik, fonksiyonel modelin standart sapmasının, ölçülerin ölçme duyarlılığı içinde kalmasını sağlar.

4.6 KAYAN YÜZEY YARDIMI İLE İNTERPOLASYON

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 alınır, bu yüzeye ait,

$$z = \sum_{i=0}^m \sum_{i+j=k} a_{ij} x^i y^j \quad (4.40)$$

i 'nci dereceden polinomun sabit terimi a_{00} interpolate edilen noktanın yükseklik değeri olur.

(4.40) eşitliğindeki a_{ij} , katsayıları; m , yüzeyin derecesini göstermektedir. Yüzeyin a_{ij} katsayılarının hesabı için hata denklemleri,

$$V_i = \sum_{k=0}^m \sum_{i+j=k} a_{ij} x_n^i y_n^j - Z_n \quad (4.41)$$

şeklindedir. Burada x_n , y_n , n ' nci dayanak noktasının koordinatları; z_n , n ' nci dayanak noktasının yüksekliğidir. Ağırlık olarak,

$$W_n = ((x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2)^{-k} \quad (4.42)$$

eşitliği veya

$$W(s) = (1 + s^2 / k^2)^{-1} \quad (4.43)$$

eşitliği ile verilen Gauss fonksiyonu kullanılabilir. Burada n indisi dayanak noktalarını, o indisi ise interpolate edilecek noktayı göstermektedir.

Hata denklemleri matris gösterimi ile,

$$\underline{V} = \underline{A} \underline{X} - \underline{L} \quad (4.44)$$

şeklindedir. Burada \underline{A} , X_n ve 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,

$$\underline{A}^T \underline{Q} \underline{A} \underline{X} - \underline{A}^T \underline{Q} \underline{L} = 0 \quad (4.45)$$

olarak elde edilen normal denklemlerden, a_{ij} katsayılarını içeren \underline{X} bilinmeyenler vektörü,

$$\underline{X} = (\underline{A}^T \underline{Q} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{Q} \underline{L} \quad (4.46)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada \underline{Q} kovaryans matrisi, (4.42) veya (4.43) eşitliklerinden elde edilen köşegen bir matristir.

Polinomun m derecesi, daha yüksek dereceden polinomlar interpo-

lasyonu düzeltmediğinden ve ayrıca komşu ölçü noktalarının sınırlı bir sayısının interpolasyona alınması öngörülmesi olacağından, kötü şartlı normal denklemlerden kaçınmak ve hesap yükünü sınırlamak için genellikle 2 veya 3 alınır.

4.7 AĞIRLIKLIL ARİTMETİK ORTALAMA İLE İNTERPOLASYON

İstenilen noktanın yüksekliği çevrede bulunan dayanak noktalarının değerlerinden,

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \underline{w} \underline{z}^T / \underline{w} \underline{1}^T \quad (4.47)$$

eşitliği ile bulunur. Burada,

$$\underline{w} = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n) \quad (4.48)$$

ağırlık vektörünü, $\underline{1}$ ise, birim vektörü gösterir. w_i ağırlıkları, interpolate edilecek nokta ile i ' nci dayanak noktasının arasındaki s uzunluğunun bir fonksiyonudur.

Ağırlık fonksiyonu olarak,

$$w_n = ((x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2)^{-k} \quad (4.49)$$

eşitliği kullanılabilir.

k değerinin büyümesi, en yakın dayanak noktalarının etkisini çoğaltırken, diğer uzak noktaların etkisini azaltır.

Sayısal arazi modellerinde bu interpolasyon şeklinin uygulanması laver tarafından önerilmiştir.

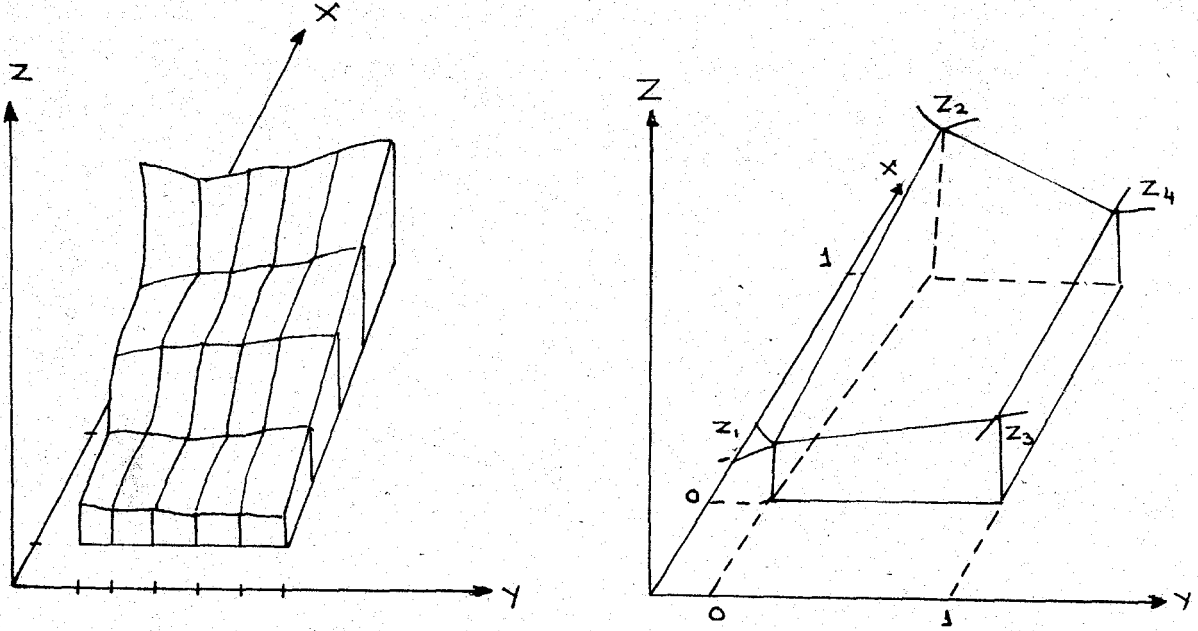
4.8 BİLİNEER POLİNOMLARLA İNTERPOLASYON

İnterpolasyonda en yakın 4 dayanak noktası kullanılarak,

$$z = q_0 + q_1 x + q_2 y + q_3 xy \quad (4.50)$$

şeklinde bilineer polinomlar kullanılabilir. Bu durumda yüzey kesin oPa-

arak dayanak noktalarından geçer. Dayanak noktalarının, sayısal arazi modelini kapsayan arazi üzerinde oluşturulan bir kareler ağının her bir biriminin köşe noktalarında bulunması durumunda, sınırlar boyunca çatlaklar oluşmaz. Diğer bir deyişle, komşu kare birimlerinin sınırları boyunca süreklilik vardır.



Şekil 4.5

Kareler ağının her bir biriminin köşe noktalarında birer dayanak noktası olması durumunda polinomun katsayıları,

$q_0 = z_1$, $q_1 = z_2 - z_1$, $q_2 = z_3 - z_1$, $q_3 = z_1 + z_4 - z_2 - z_3$ dir.

Bu interpolasyon, parça parça veya nokta nokta interpolasyon yöntemi olarak kullanılabilir. Bu interpolasyon şeklinin sayısal arazi modellerinde kullanılması Schult tarafından önerilmiştir.

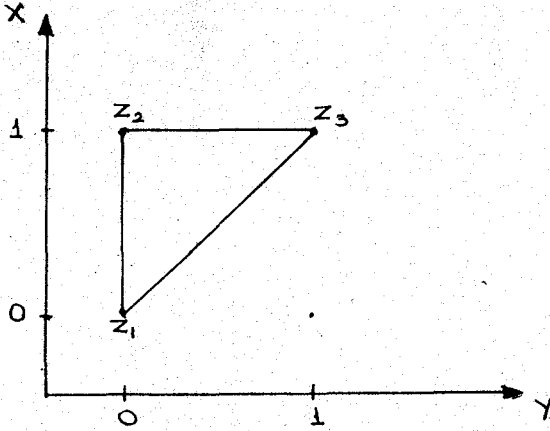
4.9 LİNEER İNTERPOLASYON

İstenilen noktaların yükseklikleri en yakın 3 dayanak noktasını

kullanarak,

$$z_p = q_0 + q_1 x + q_2 y \quad (4.51)$$

eşitliği yardımı ile hesaplanır. Dayanak noktaları düzgün bir kareler ağının birimlerinin köşe noktalarında ise polinomun katsayıları,



Şekil 4.6

$$q_0 = z_1 \quad q_1 = z_2 - z_1 \quad q_2 = z_3 - z_2$$

olur.

4.10 ÇİFT LINEER İNTERPOLASYON

İstenilen noktaların yükseklikleri iki lineer interpolasyondan hesaplandıktan sonra ortalaması alınabilir.

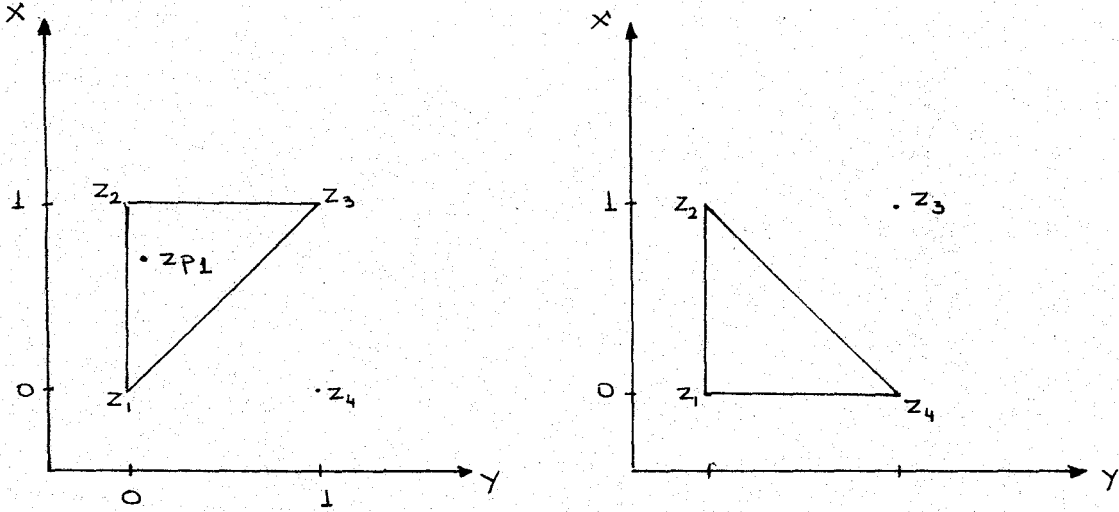
$$z_p = 0.5 (z_{p1} + z_{p2}) \quad (4.52)$$

$$z_{p1} = a_0 + a_1 x + a_2 y, \quad z_{p2} = b_0 + b_1 x + b_2 y \quad (4.53)$$

Dayanak noktaları düzgün bir ağın birimlerinin köşe noktalarında ise,

$$\begin{aligned} a_0 &= z_1, & a_1 &= z_2 - z_1, & a_2 &= z_3 - z_2 \\ b_0 &= z_1, & b_1 &= z_2 - z_1, & b_2 &= z_4 - z_1 \end{aligned}$$

dir.



Şekil 4.7

4.11 ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMALARINDA KULLANILABİLECEK ÖLÇÜTLER

Enterpolasyon yöntemlerinden hangi durumlarda hangilerinin daha uygun olacağını bulması için kesin ve sistematik kabuller verilememesine karşın, aşağıda sıralanan ölçütlerin ışığı altında, ön araştırmalardan sonra uygun enterpolasyon yöntemi seçilebilir.

- Bilgisayar zamanı (Bilinmeyenlerin çözülebilme hızı),
- Küçük ayrıntıların gösterimine uygunluk,
- Filtrelemeye uygunluk,
- Arazi yapısına uygunluk (kırık çizgilerdeki konum bozukluklarının sınırlandırılmasına yatkınlık),
- Bilgisayar bellek gereksinimi,
- Ek bilgi üretimine yatkınlık,
- Enterpolasyon fonksiyonun oluşturabilme hızı,
- Ekstrapolasyona yatkınlık,
- Enterpolasyon yönteminin güvenilirliği.

5. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİ İLE AÇIK MADEN OCAKLARINDA HACİM HESABI

Fotogrametrik veya yersel yöntemlerle ölçülmüş kot noktalarıyla doğrudan veya bu kot noktalarından yararlanarak çizilen kotlu planlarla, kazı ve dolgu işleri ile ilgili hacim hesapları yapılır.

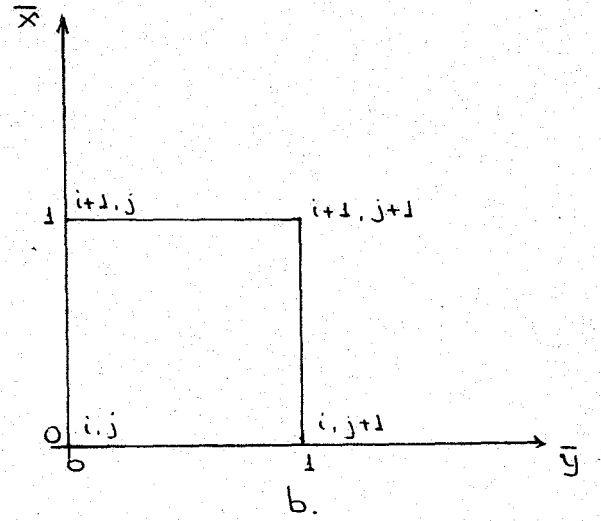
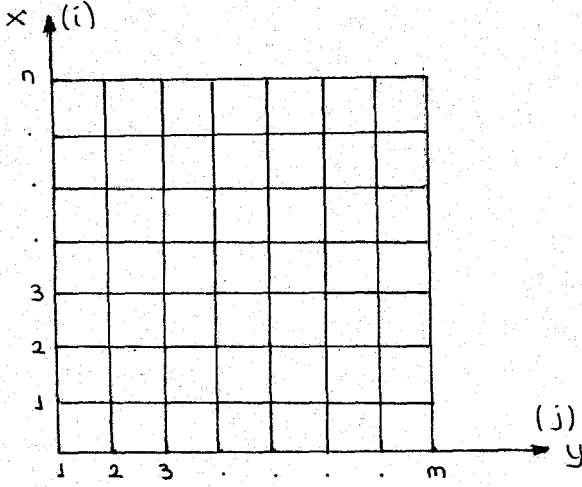
Hacim hesapları ölçülen bu kot noktalarına göre yapıldığından, özellikle yersel ölçmelerde, hesaplama yönteminin gerektirdiği nokta dağılım biçimlerinin sağlanması arazi çalışmalarını güçleştirir. Ayrıca noktaların sabit belirli kesitler biçiminde ölçülmesi durumunda, kesitlerin aralarında kalan karakteristik noktaların belirlenememesi hacim hesaplarında bilinmeyen hatalara neden olur.

Arazinin karakteristik noktalarında yapılan yersel ölçmelerle hesaplanan nokta koordinatlarıyla oluşturulan prizmalarla belirli bir başlangıç düzlemine göre hacim hesabı yapılması durumunda başka bir güçlük vardır. Bu yöntemde kazı veya dolgu hacmi, kazı veya dolgu öncesi yapılan ölçmelerle hesaplanan prizma hacimlerinin toplamı ile kazı veya dolgu sonrası yapılan ölçmelerle hesaplanan prizma hacimleri toplamı arasındaki fark olarak elde edilmektedir. Kazı veya dolgu alanı dış çerçevesi arazide işaretli olamayacağından, kazı veya dolgudan sonra yapılan alımın çerçevesi ile kazı veya dolgudan önce yapılan alımın çerçevesi farklı olabilmektedir. Böyle bir durum ise ölçülerden elde edilen koordinatlarla hemen hacim hesabı yapılmasına engeldir. Kazı veya dolgudan önce ve sonra yapılan ölçülerin çizilmesi ve hesap çerçevesinin burada tanımlanması ve bu çerçeve üzerinde yeni noktaların enterpolasyonla elde edilmesi gerekir. Bu ise zahmetli ve zaman alıcı bir iştir.

Hacim hesabında hesapların doğruluğunu artırmak ve arazi çalışmalarının güçlüklerini ve büro çalışmalarını azaltmak için sayısal yükseklik modellerinden yararlanmak daha akılcı bir yol olarak görülmektedir.

5.1 GRID AĞINDA HACİM HESABI

Multikvadrik enterpolasyonla şekil 5.1-a' daki gibi bir kare grid ağında sayısal yükseklik modeli belirlendikten sonra her bir kare parçası bilinear bir yüzey biçiminde düşünlerek, belirli bir başlangıç yüksekliğinden olan hacmi hesaplanabilir. Burada başlangıç yüksekliği sıfır olarak alınacaktır.



a.

b.

Şekil 5.1

Şekil 5.1 b'de görüldüğü gibi, kare grid aralığı d birim uzunluk olarak seçilir ve koordinatların başlangıcı her bir karenin başlangıcına taşınırsa, her bir kare griddeki bilinear yüzey,

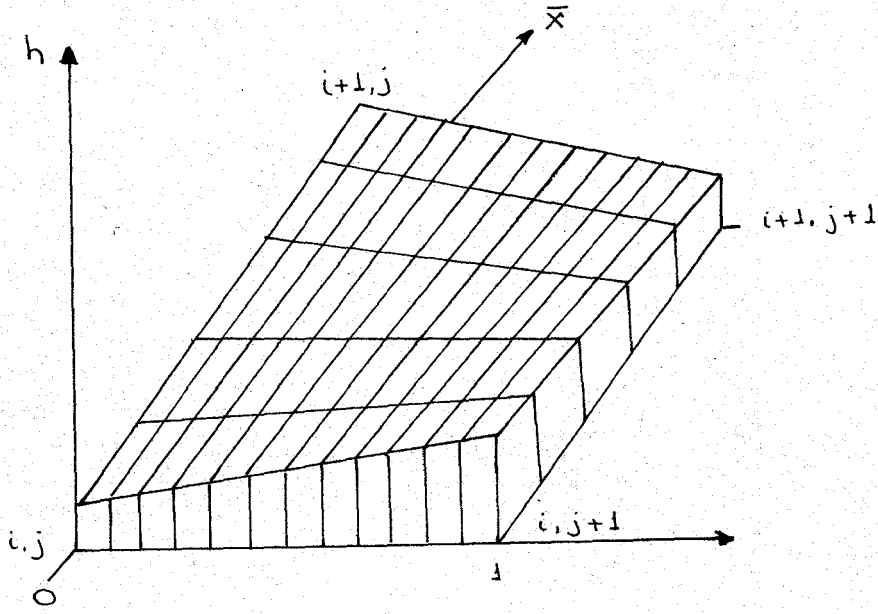
$$h = a_0 + a_1 \bar{x} + a_2 \bar{y} + a_3 \bar{x} \bar{y} \quad (5.1)$$

biçiminde gösterilebilir. Burada,

$$a_0 = h_{i,j}, \quad a_1 = h_{i+1,j} - h_{i,j}$$

$$a_2 = h_{i,j+1} - h_{i,j}, \quad a_3 = h_{i,j} + h_{i+1,j+1} - h_{i+1,j} - h_{i,j+1}$$

dir. Bilinear bir yüzey şekil 5.2 ' de görüldüğü gibi x ve y doğrultusunda lineer, diğer doğrultularda ikinci derece düşey kesit eğrilerine sahip bir yüzeydir.



Şekil 5.2

Başlangıç noktası i, j olan bir kare gridin sıfır yüksekliğinden itibaren normlandırılmış hacmi,

$$\bar{V}_{i,j} = \int_0^1 \int_0^1 h \, d\bar{x} \, d\bar{y} = \int_0^1 \int_0^1 \left[h_{i,j} + (h_{i,j+1} - h_{i,j})\bar{y} + (h_{i+1,j} - h_{i,j})\bar{x} + (h_{i,j} + h_{i+1,j+1} - h_{i+1,j} - h_{i,j+1})\bar{x}\bar{y} \right] d\bar{x}d\bar{y} \quad (5.2)$$

dir. Entegrasyon işlemi tamamlanırsa normlandırılmış hacim

$$\bar{V}_{i,j} = \frac{h_{i,j} + h_{i+1,j} + h_{i+1,j+1} + h_{i,j+1}}{4} \quad (5.3)$$

olarak bulunur. Görüldüğü gibi yüzeyi bilinear biçimde olan bir kare gridin normlandırılmış hacmi, dört köşe noktasının yüksekliklerinin aritmetik ortalaması olarak elde edilmektedir. Tüm grid ağı alanı için normlandırılmış hacim.

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{m-1} V_{i,j} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{m-1} \frac{h_{i,j} + h_{i+1,j} + h_{i,j+1} + h_{i+1,j+1}}{4} \quad (5.4)$$

olur.

Bu toplam sırasında iç grid noktalarının yükseklikleri dörder kez, köşe grid noktaları dışındaki çerçeve çizgileri üzerinde bulunan grid noktalarının yükseklikleri ikişer kez, köşelerdeki grid noktalarının yükseklikleri birer kez toplama gireceğinden,

$$\bar{V} = \sum h_{iç} + 0.5 \sum h_{çer} + 0.25 \sum h_{köşe} \quad (5.5)$$

olur. Yani tüm grid alanındaki normlandırılmış hacim, iç grid noktalarının yükseklikleri 1, köşe grid noktaları dışındaki çerçeve üzerindeki noktaların yükseklikleri 0.5, köşelerdeki grid noktalarının yükseklikleri 0.25 ile çarpılıp toplanarak bulunur. Bu bağıntı algoritmik olarak şöyle gösterilebilir.

$$i=1, j=1 \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 0.25,$$

$$i=1, j=m \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 0.25,$$

$$i=n, j=1 \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 0.25,$$

$$i=n, j=m \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 0.25.$$

$$i=1 \quad \text{iken} \quad 2 \leq j \leq m-1 \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 0.5,$$

$$i=n \quad \text{iken} \quad 2 \leq j \leq m-1 \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 0.5,$$

$$j=1 \quad \text{iken} \quad 2 \leq i \leq n-1 \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 0.5,$$

$$j=m \quad \text{iken} \quad 2 \leq i \leq n-1 \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 0.5;$$

$$2 \leq i \leq n-1, \quad 2 \leq j \leq m-1 \quad \text{durumunda} \quad W_{ij} = 1$$

alınarak

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} h_{ij} \quad (5.6)$$

algoritmik biçimde gösterilebilir. Buradan sıfır yüksekliğinden olan gerçek hacim, normlandırma büyüklüğü d 'nin karesi ile normlandırılmış toplam hacmin çarpılması ile,

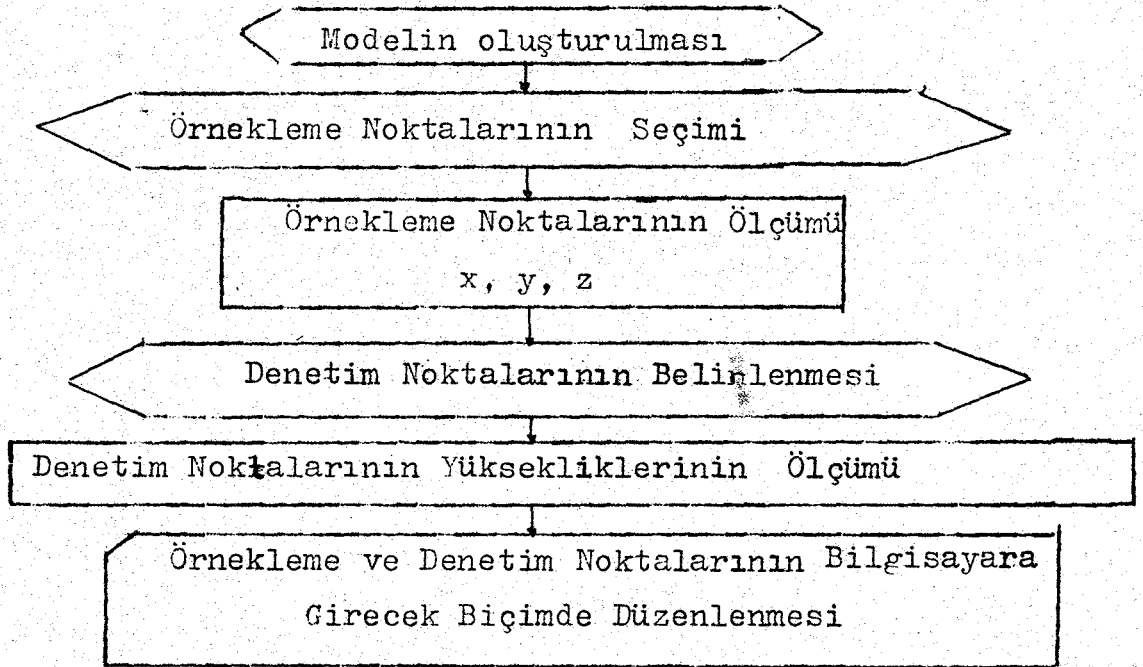
$$V = \bar{V} d^2$$

6. SAYISAL UYGULAMALAR

Deneyisel çalışmalar, oluşturulan açık maden ocağı tipindeki model üzerinde yürütülmüştür. Çalışmada; arazinin karakteristik ve rastgele yerlerinde örnekleme noktaları alınmıştır. Bu örnekleme noktaları yardımıyla multikuadrik enterpolasyonla model üzerinde oluşturulan grid ağının denetim yükseklikleri hesaplanmıştır. Enterpolasyon; üç ayrı sıklıkta örnekleme noktaları alınarak yapılmıştır. Grid ağının enterpolasyon yükseklikleri ile model üzerinden alınan yükseklikler arasındaki farkların sonucunda istatistik analizler yapılmıştır.

Çalışmada imkanımız olmadığı için ölçü işlemleri açık maden ocağında yapılamamış, model, gözlemlere dayanarak geliştirilmiştir.

Noktaların örneklenmesi şu şekilde yapılmıştır:

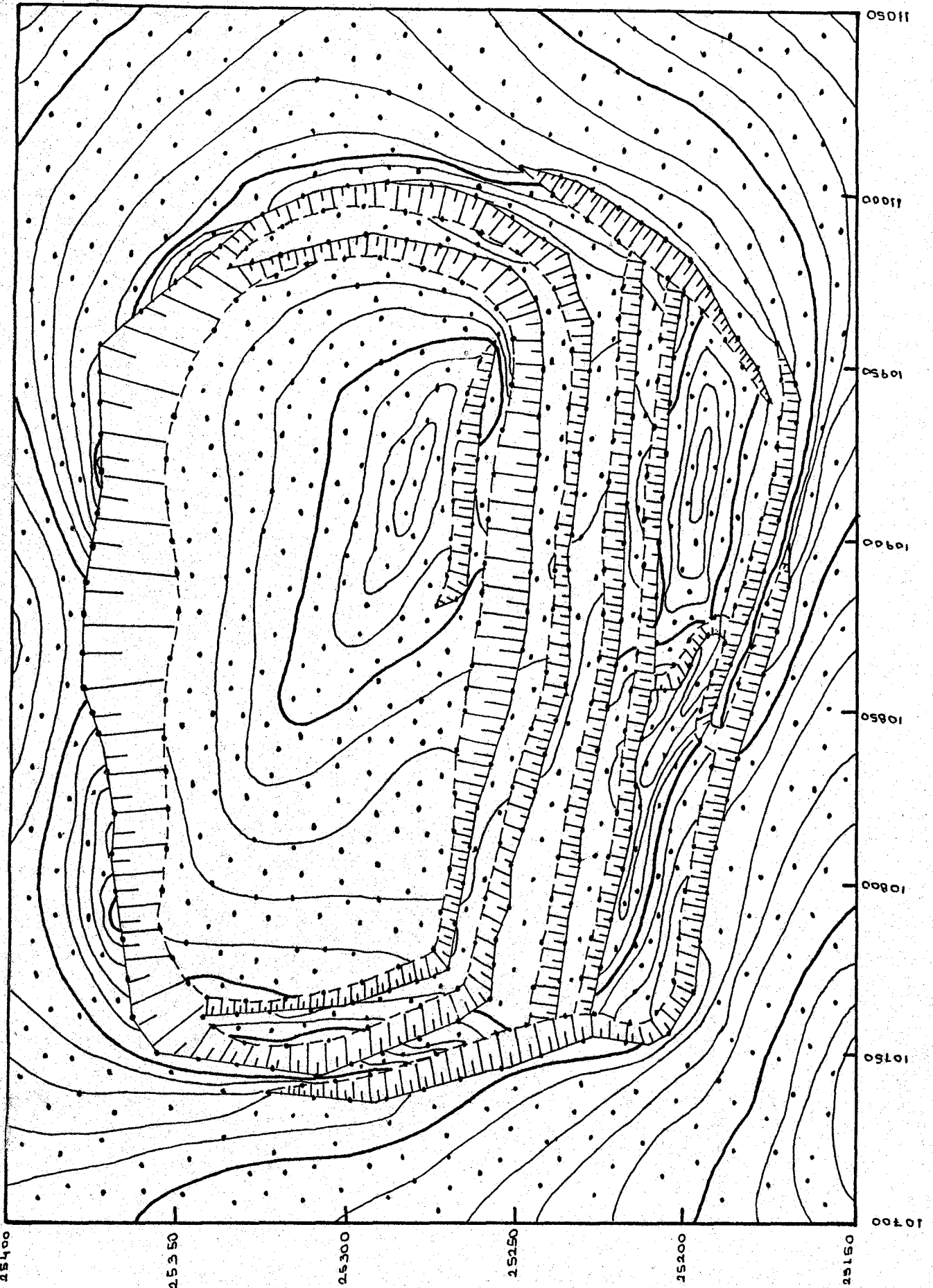


Şekil 6.1. Ölçümlerin Akış Çizgesi.

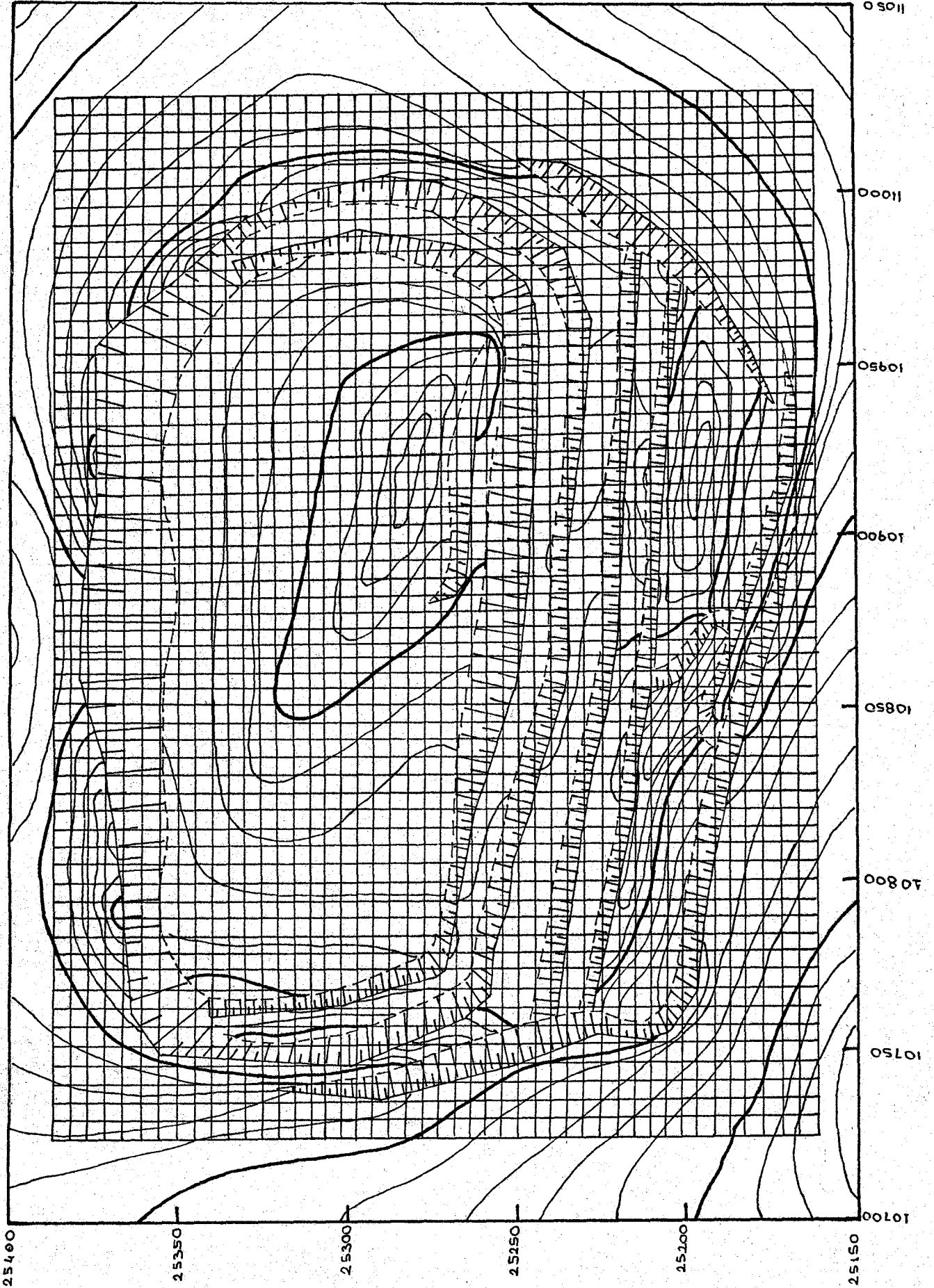
6.1.1. Test Bölgesinin Tanıtımı

Model Ölçeği	1/500
Eşyükseklik eğrilerinin aralığı	0,5 m
Ölçüm Alanı	350x250 m ²
Örnekleme Noktası Sayısı	1202-832-690
Örnekleme Noktası Sıklığı	12-23-35 m
Denetim Noktası Sayısı	61x46= 2806
Denetim Noktası Sıklığı	5 m (Arazide)

Çizelge 6.1. Test Bölgesiyle ilgili veriler.



Şekil 6.4 Modelin Gösterimi ve Örnekleme Noktalarının Dağılımı.



Şekil 6.5 Denetleme Grid Ağı

6.2. HESAPLAMA İŞLEMLERİ

Örnekleme noktalarının rasgele ya da düzenli (grid) dağılımı durumlarında farklı enterpolasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada; rastgele ve arazinin karakteristik yerlerinde dağılmış örnekleme noktaları ile multikvadrik yüzeylerle Enterpolasyon yöntemi denenmiştir.

Bu yöntemle üç ayrı nokta sıklığındaki örnekleme noktaları aracılığıyla 2806 denetim noktası hesaplanmıştır. Üç ayrı nokta sıklığında örnekleme noktalarının alınmasındaki amaç nokta yoğunluğunun sonuçlar üzerine etkisini gözlemeye çalışmaktadır.

Deneyisel çalışmaların genel akışı şekil 6.4'de görülmektedir.

Çalışmada; nokta sayısının fazla olması durumlarında inversi alınacak matrisin boyutunun çok büyük olması bilgisayar zamanını oldukça artırmakta hatta kapasitesi yetmemektedir. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için iş bölgesi denemelerimizde her ayrı nokta sıklığında değişik alt bölgelere ayrılmıştır. Örneğin: 1202 örnekleme noktasının bulunduğu modelin 1. sıklığında alt bölge sayısı $15 \times 12 = 300$ olmuştur.

Bölgeler arası geçişlerin uygun bir şekilde olmasını sağlamak amacıyla bindirmeler oluşturulmuştur.

Denemelerde bindirme miktarı alt bölgelerin gridlerindeki ilk ve son noktaların hesaplanmasının diğer noktalarla aynı koşullarda yapılmasını sağlamak amacıyla kritik uzaklık kadar alınmıştır.

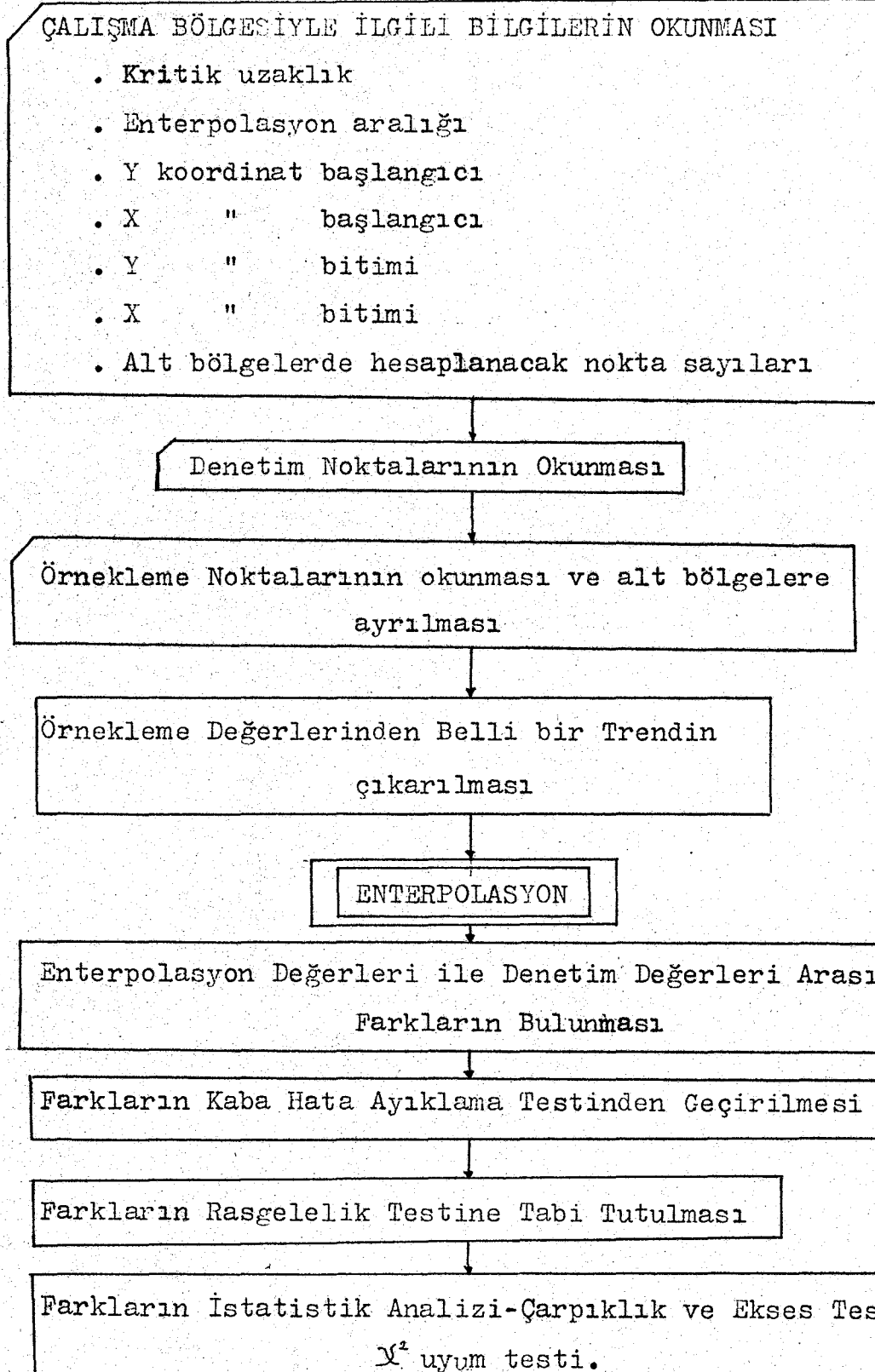
Enterpolasyon işlemine geçmeden önce denenilen yöntemin yapısı gereği bir trend yüzeyi geçirilerek geriye kalan değerlerle çalışılması gerekmektedir. Bu gereksinimi karşılayan alt programın teorik dayanağı şöyledir.

Ana programdan, geçirilmek istenen polinomsal yüzeyin (trend) derecesi argüman olarak gelmekte ve bu durumda polinomun katsayı sayısı,

$$\text{IDER } 2 = (\text{IDER } +1) \times (\text{IDER } +2) / 2$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Bu bize aynı alt programla sadece çağırma bir argüman değişikliği yaparak istenilen dereceden bir yüzey oluşturma olanağı sağlamaktadır. İstenen dereceden yüzeyin katsayıları Endirekt ölçüler Dengelemesiyle bulunur, istenen noktadaki yüzey değeri bu katsayılar ve hesaplanacak noktanın koordinatları kullanılarak bulunmak-

Enterpolasyona geçmeden önce ölçü değerlerinden bir trend çıkarıldığı için, enterpole edilen noktanın gerçek değerini bulabilmek için trend fonksiyonunun o noktadaki değeri bulunan değere eklenmelidir.



6.2.1. Oluşturulan Modelin Denetlenmesi

Oluşturulan açık maden ocağı tipindeki arazi modelinde; grid ağı belirlenmiş, bu ağın 2806 denetim noktasının yükseklik değerleri model üzerinden alınmıştır. Sonra bu denetim noktalarının yükseklikleri; 3 ayrı sıklıktaki örnekleme noktalarından yararlanarak multikuadrik enterpolasyonla hesaplanmıştır. Enterpolasyonla bulunan yüksekliklerle (h'_j) model üzerinden alınan yükseklik değerleri (h_j) arasındaki farklar

$$d_j = h_j - h'_j \quad j= 1,2, \dots, 2806$$

bulunmuştur.

Bu d_j farkları ile istatistiksel analizlere girilmiştir. 3 ayrı örnekleme yoğunluğu ile yapılan 3 ayrı kümeyle ait d farklarının istatistiksel testleri sonucunda, örnek kümelerin çarpıklık, eksis ve χ^2 uyum testlerinde normal dağılımda olmadığı anlaşılmıştır. d farklarının ortalama değerleri -0.014 m, -0.011 m ve -0.012 m dir. Bu 3 ayrı nokta yoğunluğundaki ortalama değerlerin, yapılan t testleriyle sıfırdan farklı oldukları, yani interpolate edilen yüzeylerin ölçülen yüzeyden 0.014 m, 0,011 m ve 0,012 daha alçak oldukları sonucuna varılmıştır.

Modelde; şev üstünde ve şev altında alınan noktaların arasındaki ortalama nokta sıklığı 10 m 'dir.

Şev noktaları 3 ayrı örnekleme nokta yoğunluğunda da aynı sıklıkta alınmıştır.

6.2.2. İstatistik Analiz Sonuçları

Konuda adı geçen istatistiksel büyüklükleri;

X: Örnek Küme Vektörü

N: Kullanılan Boyutu olmak üzere;

Standart Sapma : $\sqrt{(x-ORT)^2 / N}$

Ortalama : $|x| / N$

Çarpıklık: Üçüncü Merkezsel Moment/ $\sqrt{(S-SAPMA)^6}$

G1= Çarpıklık için Test Edilecek Büyüklük

$$G1 = \sqrt{(N(N-1)) \cdot \text{Çarpıklık} / (N-2)}$$

S1 = Çarpıklığın Standart Sapması

$$S1 = \sqrt{((6 \cdot N \cdot (N-1)) / ((N-2) \cdot (N+1) \cdot (N+3)))}$$

Basıklık = Dördüncü Merkezsel Moment / (S.SAPMA)⁴ -3

G2 = Basıklık için Test edilecek büyüklük

$$G2 = (N-1) \cdot ((N+1) \cdot \text{Basıklık} + 6) / ((N-2) \cdot (N-3))$$

S2 = Basıklığın Standart Sapması

$$S2 = \sqrt{((24 \cdot N \cdot (N-1)^2) / ((N-3) \cdot (N-2) \cdot (N+3) \cdot (N+5)))}$$

Lamda 1 = Çarpıklığın Test Büyüklüğü

Lamda 2 = Basıklığın Test Büyüklüğü

I. Nokta Sıklığına Ait İstatistik Sonuçlar:

Örnekleme Nokta Sayısı: 1202

Örnekleme Noktaları arasındaki ortalama nokta sıklığı: 12m (Arazide)

Oluşturulan alt bölge sayısı: $15 \times 20 = 300$

Kaba Hata ayıklama testinden sonra kalan eleman sayısı: 2806

Örnek kümede kaba hata olmadığı belirlenmiştir.

Standart Sapma : 0.11

Ortalama : -0.014

Çarpıklık: 0.13

G1 : 0.13

S1 : 0.05

Lamda 1: 2.33

Ekses : 0.47

G2 : 0.47

S2 : 0.09

Lamda 2 : 5.13

Karasel Ortalama Hata : 0.12

Sınıf Genişliği : 0.05

Sınıf Sayısı : 13

$$\chi^2 \text{ (şikare)} = 670.646$$

Minimum Değer: -0.31

Maksimum Değer : 0.29

Yapılan çarpıklık, ekse ve χ^2 testleri sonucunda örnek kümenin

95 olasılıkla normal dağılımda olmadığı anlaşılmıştır.

Örnek kümeye ait deneysel frekanslarla oluşturulan histogram

şekil 6.5'de görülmektedir.

III. Nokta Sıklığına Ait İstatistik Sonuçlar:

Örnekleme Nokta Sayısı : 690

Alt Bölge Sayısı : $9 \times 10 = 90$

Kaba Hata Ayıklama Testinden Sonra Kalan eleman sayısı: 2806

Örnek kümede kaba hata yoktur.

Standart Sapma : 0.19

Ortalama : -0.012

Çarpıklık : -0.05

G1 : -0.05

S1: 0.05

Lamda 1 : -1.07

Ekses : 0.49

G2 : 0.49

S2: 0.09

Lamda 2 : 5.29

Karasel Ortalama Hata : 0.19

Sınıf Genişliği : 0.09

Sınıf Sayısı : 13

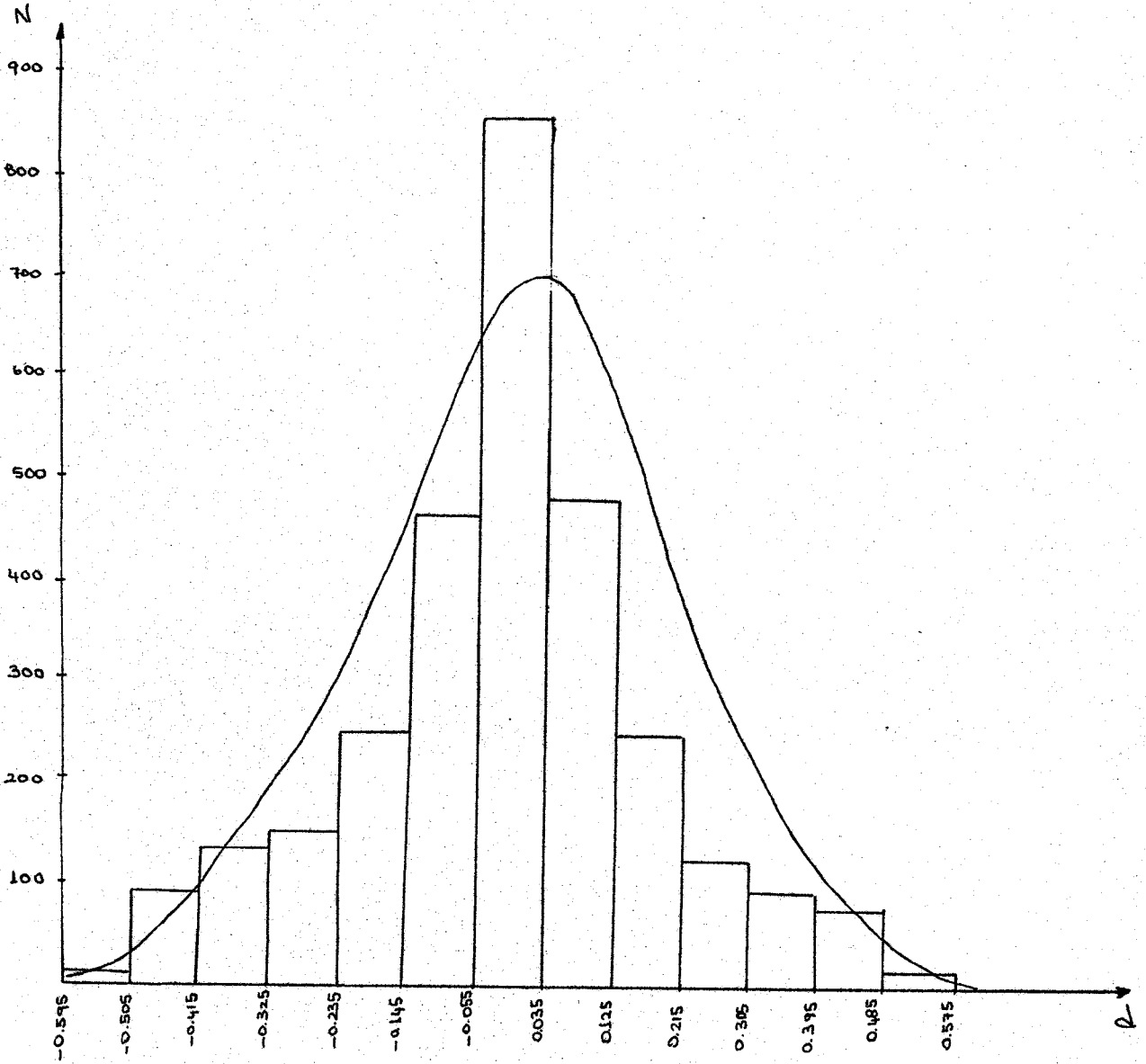
Minimum Değer : -0.56

Maksimum Değer : 0.49

χ^2 (Deneysel) : 397.335

Yapılan çarpıklık, ekse ve χ^2 testleri sonucunda örnek kümenin % 95 olasılıkla normal dağılımda olmadığı anlaşılmıştır.

Örnek kümeyle ait; deneysel frekanslarla oluşturulan histogram şekil 6.7.'de görülmektedir.



Şekil 6.7. Denetleme Noktalarındaki Farkların Histogramı

Örnekleme Nokta Sayısı : 690

Sınıf Genişliği : 0.09

Sınıf Sayısı : 13

N : Eleman Sayısı

d : Deneysel Frekans

KAYNAKÇA

- /1/. AYENİ, O.
1978
: "Automated Digital Terrain Models";
IYTM Symposium, Missouri.
- /2/. DEMİREL, H.
1977
: "En Küçük Kareler Yöntemine Göre Prediksi-
yon ve Kollakasyon",
İ.D.M.M.A-Harita Kadastro Bölümü, İstanbul.
- /3/. GÜLER, A.
1978
: "Sayısal Arazi Modellerinde İnterpolasyon
Yöntemleri".
Harita Dergisi, Sayı 85.
- /4/. GÜLER, A.
1983
: "Sayısal Arazi Modellerinde İki İnterpolas-
yon Yöntemi ile Denemeler".
K.Ü. Müh.Mim.Fakültesi, Araştırma ve İnce-
leme Yayınları Dizisi Trabzon, 1983-3
- /5/. GÜLER, A.
1985
: "Sayısal Arazi Modelleri Ders Notları"
- /6/. JUNKINS, J.L.
1973
: "Modelling Irregular Surface";
Photogrammetric Engineering and Remote
Sensing.
- /7/. HARDY, R.
1977
: "Least Squares Prediction"
Photogrammetric Engineering and Remote
Sensing, No.4
- /8/. KRAUS, K.
MİKHAİL, E.M.
1972
: "Linear Least Squares Interpolation"
Photogrammetric Engineering and Remote
Sensing, No.10
- /9/. KOYUNCU, D.
1981
: "Sayısal Arazi Modelleri",
Harita Dergisi, Sayı 87, S.51-61
- /10/. LEBERL, F.
1975
: "Photogrammetric Interpolation"
The ITC Journal, 1975-2

- /11/. LEBERL, F. : "Interpolation in Square Grid DTM"
1973 The ITC Journal, 1973-5
- /12/. LINKWITZ, K. : "Digital Terrain Models"
1970 Bildmessung und Luftbildwesen No 1/1970
p. 76-84
- /13/. MAHAN, R.O. : "The Generation and Application of The
1976 Digital Terrain Model",
ISP 1976. The Working Group IV/1
- /14/. MAKAROVIC, B. : "Progressive Sompling for Digital Terrain
1973 Models",
The ITC Journal, 1973-3
- /15/. MAKAROVIC, B. : "A Digital Terrain Model System",
1976 The ITC Journal, 1976-1
- /16/. MIKHAİL, E.M. : "Observations and least Squares"
1976 IEP-Dun-Donneley, Newyork.
- /17/. NAKAMURA, H. : "On Digital Terrain Models",
1969 ISP 1969, Vol-XVII, Part 10, Comm.
V+VI, Presented Paper.
- /18/. STEFANOVIC, P. : "Digital Terrain Models",
RADWAN-TEMPFLI. Data Acquisition, Processing and Applications
1977 The ITC Journal, 1977-1
- /19/. TEMPFLI, K. : "Digital Terrain Models, Hand Out Lectures",
1975 Decenber 1975
- /20/. SCHULT, G.H. : "Review of Interpolation Methods for
1976 Digital Terrain Models",
The Canadion Surveyor, No.5
- /21/. WOLF, H. : "Multiquaresche Methode und Kollakation",
1981 Allgemeine Vermessungs-Machricthen
Helft-3

KISALTMALAR

- ASP : American Society of Photogrammetry.
AVN : Allgemeine Vermessung Nachrichten.
DTM : Digital Terrain Model.
ISP : International Society of Photogrammetry.
ITC : International Training Centre in Holland.
SAM : Sayısal Arazi Modeli.
SYM : Sayısal Yükseklik Modeli.

ÖZGEÇMİŞ

1962 yılında Trabzon'da doğdum. 1979 yılında Trabzon Lisesini bitirdim. 1980 yılında K.Ü. Müh. Mim. Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başladım. 1984 öğretim yılı sonunda Lisans öğrenimimi tamamladım. 1984-1985 öğretim yılında Yüksek Lisans öğrenimime başladım. Halen öğrenimime devam etmekteyim.