

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ VE
MULTİKUADRİK ENTERPOLASYON YÖNTEMİ

Har.Müh. Çetin CÖMERT

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
" Harita Yüksek Mühendisi "
Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Ocak 1988

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 27 Ocak 1988

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Erdal KOÇAK

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Ahmet YAŞAYAN

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Ahmet KAYA

Enstitü Müdürü : Prof.Dr. Doğan TURHAN

Ocak 1988

TRABZON

ÖNSÖZ

Her alanda olduğu gibi, haritacılık alanında da bilgisayar teknolojisinden yararlanılmasının, hem üretici hem de kullanıcı kesim için çok önemli faydalar sağlayacağı bilinmektedir. Bilgisayar destekli haritacılık çalışmaları için, arazinin topoğrafik yapısını sayısal olarak temsil eden bir sayısal yükseklik modelinin oluşturulması son derece önemli bir safhadır. Sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasında çeşitli etkenlere bağlı olarak, amaca en uygun enterpolasyon yönteminin belirlenmesi gerekir. Bu da ancak, çeşitli enterpolasyon yöntemlerinin ayrıntılı olarak incelenip, özelliklerinin tesbit edilmiş olmasıyla mümkün olacaktır.

Bu çalışmada, sayısal yükseklik modelinin yapısı, oluşturulmasındaki safhalar ele alınmış, kullanılabilir olacak enterpolasyon yöntemlerinden biri olarak multikuadrik enterpolasyon yöntemi incelenmiş, seçilen bir arazi kesimi üzerinde dencysel çalışmalar yapılarak, yöntemin özellikleri ve sayısal yükseklik modeli çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışmalarım süresince her türlü yardımlarını esirgemeyen, yol gösterici fikirleriyle beni teşvik eden, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca çok kıymetli bilgilerinden yararlandığım sayın Doç.Dr. Erdal KOÇAK ve sayın Yrd.Doç.Dr. Atilla GÜLER'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Trabzon, Ocak 1988

Çetin CÖMERT

İÇ İNDEKİLER

ÖZET	V
SUMMARY	VII
1. GİRİŞ	1
2. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ İÇİN ARAZİ SINIFLAMASI	4
2.1. Arazi Sınıflamasının Gerekliliği	4
2.2. Arazi Sınıflamasında Kullanılabilecek Parametreler	4
2.3. F.Silar Tarafından Yapılmış Olan Arazi Sınıflaması	10
2.4. Arazi Sınıflaması İçin İstatistiki Bir Yöntem	11
3. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ İÇİN İŞLEM SÜRECİ	12
3.1. Verilerin Elde Edilmesi	12
3.11. Yersel Ölçülerle Veri Toplama	14
3.12. Topoğrafik Haritalardan Veri Toplama	14
3.13. Fotogrametrik Modelden Veri Toplama	15
3.14. Örnekleme Noktalarının Seçimi	17
3.141. Örnekleme Noktalarının Dağılımı	18
3.142. Örnekleme Yoğunluğu	21
3.2. Verilerin İşlenmesi	23
3.21. Sayısal Yükseklik Modelinde Enterpolasyon	23
3.3. Uygulama	26
4. MULTIKUADRİK ENTERPOLASYON YÖNTEMİ	28
4.1. Teorik Bilgiler	28
4.2. Multikuadrik Enterpolasyonda İşlem Adımları	30
5. SAYISAL UYGULAMALAR	33
5.1. Uygulama Bölgesinin Seçimi ve Genel İş Akışı	33
5.2. Sayısal Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi	35
5.3. Sayısal Uygulama Sonuçları	39
5.31. I. Bölge	40
5.32. Şev Bölgesi	46
5.33. II. Bölge	47
5.34. III. Bölge	55
5.4. Multikuadrik Enterpolasyonla Bulunan Yüksekliklere göre Eşyükseklik Eğrilerinin Çizimi	60

6. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
EKLER	64
ÖZGEÇMİŞ	81



ÖZET

Haritacılık alanında, insan gücüne olan gereksinimi azaltma, standardı sağlama ve kaliteyi yükseltme, ekonomik ve hızlı bir harita üretimi gibi başlıca hedeflere ulaşmak için bilgisayar teknolojisinin kullanılması, günümüz şartlarında kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bilgisayar destekli haritacılık çalışmaları için, arazi üzerindeki tüm bilgilerin ve topoğrafik yapının sayısal olarak temsil edilmesi sözkonusudur. Topoğrafik yüzeyin sayısal olarak temsil edilebilmesi, bu yüzey üzerinde yatay ve dikey konumlarıyla (x,y,z koordinatları) belli yerli sayıda noktayı gerektirir,

Sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturmadaki amaç, herşeyden önce topoğrafik yüzeyin sayısal olarak belirlenmesidir. SYM'nin oluşturulabilmesi için önce, arazi üzerinde çeşitli yerlerde birtakım noktalar tesbit edilerek bunların x,y,z koordinatları belirlenir. Bu noktalar dayanak noktalarıdır. Bundan sonra, dayanak noktaları yardımıyla topoğrafik yüzey matematiksel olarak ifade edilir ve bu yüzey üzerinde yatay konumlarıyla bilinen istenen sayıda noktanın yükseklikleri enterpolasyonla belirlenir. Böylece topoğrafik yüzey binlerce noktanın yatay ve dikey konum bilgileriyle tanımlı hale gelmiş olur.

Uygun bilgisayar yazılımlarıyla SYM den eşyükseklik eğrilerinin otomatik çizimi, en ve boy kesitlerin grafik gösterimi, hacim hesapları, planlama amaçlarına yönelik eğim haritalarının hazırlanması vb. pek çok amaçla yararlanılabilir.

SYM'nin gücü temsil ettiği arazinin tipi, dayanak noktalarının dağılımı ve sıklığı ve uygulanacak enterpolasyon yöntemiyle sıkı sıkıya ilişkilidir. Bu bakımdan SYM'den beklenen doğruluğa bağlı olarak, en uygun dayanak noktası dağılımı ve sıklığı ile enterpolasyon yönteminin belirlenmesi gerekir. Dayanak noktalarının dağılım ve sıklığının belirlenmesinde veri kaynağı ve arazi tipi başlıca sınırlayıcı faktörlerdir.

Bu tez çalışmasında denenen multiküadrik enterpolasyon yönteminde arzinin tümünü temsil eden tek bir fonksiyonla enterpolasyon uygulanır. Bunun için topoğrafik yüzey, n sayıda dayanak noktası yardımıyla, genel olarak,

$$\sum_{j=1}^n c_j \cdot q(x_j, y_j, x, y) = z$$

şeklinde ifade edilen bir multiküadrik yüzey ile temsil edilir.

Deneyisel çalışmalar, 1/1000 ölçekli TRABZON 20K-IV paftasının 300x200 m lik bir bölümü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Enterpolasyon için

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

şeklindeki dairesel dik konilerin toplamından oluşan multiküadrik yüzey kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmalar için harita üzerinde önce, rasgele ve morfolojik çizgi ve noktalarda dayanak noktaları tesbit edilerek bu noktaların x,y,z koordinatları belirlenmiştir. Daha sonra, grid büyüklüğü lcm olan denetleme grid ağı (test ağı) oluşturularak grid köşe noktalarının yük -

seklilikleri belirlenmiş ve bu noktalar test noktası olarak kullanılmıştır.

Karar aşamasında, test noktalarının multikvadrik enterpolasyonla bulunan yükseklikleriyle bilinen yükseklikleri arasındaki farklar test edilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda, dayanak noktası sıklığı arttıkça duyarlılığın arttığı yani multikvadrik yüzeyin topoğrafik yüzeye daha iyi uyum sağladığı, bununla birlikte multikvadrik yüzeyin ortalama olarak, çoğunlukla, topoğrafik yüzeyden daha alçak bir yüzeyi temsil ettiği ve trend derecesinin duyarlılığa etkisi olmadığı görülmüştür. Söz konusu çalışmalarında en iyi sonuç, 13.10 m lik ortalama en yakın komşu nokta uzaklığına karşılık, farklar ortalaması : -0.004 m ve standart sapma (enterpolasyonla bulunan bir yüksekliğin ortalama hatası) : ± 0.182 m olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan şekliyle -Rasgele ve aynı zamanda morfolojik çizgi ve noktalardaki dayanak noktaları kullanılarak ve değişik nokta sıklıklarına karşılık gelen duyarlıklar çerçevesinde SYM için, multikvadrik enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliğini söylemek mümkündür. Ancak SYM'ye konu olan arazide büyük yükseklik farklarını içeren şevler mevcut ise bu durumda, tüm bölge için tek bir enterpolasyon uygulamak yerine, şev sınırları itibariyle oluşturulacak alt bölgelerin herbiri için ayrı bir enterpolasyon uygulamak, duyarlılık açısından daha uygun olacaktır tercih edilmelidir.

SUMMARY

It has been known that the utilisation of the computer technology ensures many advantages for both producing organizations and users in the mapping field as in the disciplines. Digital height models are considerably important for the digital representation of topography in the computer aided mapping works. It is necessary to justify optimal interpolation methods for digital height models depend on their objects. In this study, it has been reviewed the creation phases of the digital height model and the multiquadric interpolation method. The ability and application possibilities of the multiquadric interpolation method in digital height model, has been experimentally studied.

It is possible to consider two phases in formation of digital height model.

In the first phase, to represent topographic structure enough number of points is established in the different places of the terrain and the x,y,z coordinates of these points are determined. These points is named "reference points" or "sampling points". This is a sampling process.

Datas for digital height model may be procured :

- From topographical surveys,
- From available maps,
- From stereomodels.

The performance of a digital height model depends on the type of terrain, on the measuring pattern (sampling pattern; the planimetric position of reference points) and point density in digitizing the terrain surface, and on the method of interpolating a new point from the measurements.

In data acquisition for digital height model the following patterns are applied :

- Contours or profiles,
- Grids (regular or irregular)
- Morphological lines and points

Patterns traditionally used in photogrammetric data acquisition are contours, while morphological lines and points are applied in ground survey.

Factors affecting the choice of sampling patterns are the purpose of digital height model, the type of terrain, the operational aspects such as the available equipment, simpling time, operator's comfort, digital processing etc. The choice of a particular sampling pattern might vary, its suitability depending on its application. For example, sampling along contour lines is the most suitable pattern if the contour line plotting is final output, the grid is most suitable if the volumetric data is needed etc.

No interpolation method can regain information which has been lost during sampling (ie due to too scarce data). Therefore the segments of terrain surface between sampled points must show only negligible

irregularities. The traditional applied standard is that segments between sampled points should approximate planes or hyperbolic surfaces.

The density of reference points can be selected by the following methods :

- Predetermination,
- Continuous adjustment,
- A combination of the two.

The second phase in digital height model consist of the procured data control, of the coordinate transformations and of interpolation process.

Digital height models can be use for the different purposes such as automatic contour plotting, determination the alignments of road and railway, graphical presentation of profiles and cross-sections, volume determination (including balancing of cut and fill).

Interpolation of a one-dimensional random function which is defined on a two-dimensional reference space is a problem of "surface-fitting". Three basically different approaches are possible, namely :

- Interpolation by a single, global function,
- Interpolation by piecewise, locally defined functions,
- Pointwise interpolation.

In the first case, that of interpolation by a single function, all reference points are used simultaneously to define a single function $z = f(x,y)$. The multiquadric interpolation method which was investigated in this study is an effective single interpolation function.

Interpolation by piecewise functions involves dividing the whole area of the digital height model into smaller patches and representing each patch by one chosen function.

Pointwise interpolation avoids problems of computer storage, since each new point is interpolated independently, using only the surrounding subset of reference points. The coefficients of the interpolation function will vary from point to point. This increases flexibility although more computation is involved.

In the multiquadric interpolation method, topographic surface is represented a multiquadric surface :

$$\sum_{j=1}^n c_j \left[(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 \right]^{1/2} = z : \text{The summation of right circular cones.}$$

Where the index j denotes the n reference points. The vertex of a right circular cone is located on the xy plane at the x_j, y_j coordinates of each reference point. The coefficient c_j associated with each reference point is the asymptotic slope of the cone relative to the xy plane. The algebraic sign of c_j determines which surface of the cone in two sheets is to be entered into the summation.

In the multiquadric interpolation method is first defined a "trend function" (due to numerical simplicity) by the reference points. Trend function is a polynom 1st or 2nd order. The residual values of reference points can be used instead of z (the heights of reference points) in the computation of c_j coefficients. The height of any new point is computed from :

$$h(x,y)_i = t(x,y)_i + \sum_{j=1}^n c_j \cdot \sqrt{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2}$$

$j = 1, 2, \dots, n$: The number of reference points.

$i = 1, 2, \dots, m$: The number of new points.

$t(x,y)$: The height of trend surface.

Experimental studies have been realized on a portion of a 300x200m map scaled 1/1000. With this aim, first the reference points have been given random and on morphologic lines and points, and check points has been formed over the map with a space of 1 cm. Later the x, y, z coordinates of reference points and the heights of the check points have been determined.

The difference between the known heights has been tested on the stage of decision with the heights of the check points found by multiquadric interpolation.

The results obtained from the experimental studies can be summarized as follows :

As the density of the reference points increases, the accuracy increases, that is to say, multiquadric surface is in a better harmony with the topographical surface. Together with this, multiquadric surface as an average represents a lower surface than the topographical surface in majority.

Trend degree doesn't effect the accuracy, that is to say, the results gained by using 1. and 2. degree trend are equivalent by sensitiveness.

The average of 13.10m in comparison to the nearest adjacent point distance, the standart deviation (the average error of square height - ness found by interpolation) : $\pm 0,182m$ and the average of differences has been found as : $-0,004m$.

With the form applied in this study, as a result to the experimental studies ; it is possible to say that, multiquadric interpolation can be used without difficulty for the digital height model. This is realized at random and morphological lines and points by using the reference points and in the frame of sensitiveness given for the different point densities.

Only in the land which is the subject to the height model, if the big height differences containing slopes exists, instead of applying only one interpolation for the whole land, It would be more appropriate to apply separate interpolation for each one of the lower zones which are formed in regard to the slope borders.

1. GİRİŞ

Yeryüzü üzerindeki çeşitli bilgilerin grafik bir gösterimi olarak harita, ülke savunması ve kalkınmasında, turizm, tarım, ormancılık gibi alanlarda, pek çok mühendislik hizmetlerinde önemli bir ihtiyaç niteliğini taşımaktadır. Dolayısıyla çok sayıda kullanıcı değişik amaçlarla, haritadan yararlanmak durumundadır. Bu bakımdan haritaların doğru, noksansız ve anlaşılabilir olmaları, ayrıca ekonomik ve hızlı olarak üretilmeleri gerekmektedir.

Doğru, noksansız ve anlaşılabilir olma özelliklerinin insangücü ile haritaya kazandırılmasında birtakım farklılıkların doğduğu, insanın daima bir hata kaynağı oluşturduğu bilinen gerçeklerdir. Bundan başka alışlagelmiş yöntemlerle harita üretimi yavaş yürümekte, belirli amaçlar için üretilen haritalardan özel amaçlar için yararlanmada güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bazen de haritanın noksan olduğu, yani arazi üzerindeki son durumu yansıtmadığı görülmektedir.

Bu durumda harita üretiminde

- İnsangücüne olan gereksinimi azaltma,
 - Maliyeti azaltma,
 - Üretime hız kazandırmak,
 - Üretimde standardı sağlamak ve kaliteyi yükseltmek,
 - Genelleştirme yoluyla türetilmiş harita serilerini oluşturmak,
 - Özel amaçlı harita üretimini kolaylaştırmak,
 - Haritaların güncelleştirilmesini kolaylaştırmak,
 - Harita yapımına temel olan bilgilerden bir bilgi bankası veya veri tabanı oluşturmak ve amaca uygun olarak sürekli bu tabandan yararlanmak,
- gibi hedeflere ulaşmak için bilgisayar teknolojisinin kullanılması gerekmekte, başka bir ifadeyle haritaların bilgisayar desteğinde üretilmesi zorunluluğu doğmaktadır.

Harita üretiminde bilgisayar teknolojisinin kullanılabilmesi için, topoğrafik yüzeyinin matematiksel olarak ifadesi, arazi üzerindeki bilgilerin sayısal olarak gösterilmesi ve uygun bilgisayar yazılımları gerekir.

Topoğrafik yüzeyin matematiksel olarak ifade edilebilmesi için, bu yüzey üzerinde yatay ve düşey konumları, yani x, y, z koordinatlarıyla bilinen noktalara ihtiyaç vardır. Bu noktalar yardımıyla topoğrafik yüzeyi en iyi bir şekilde temsil eden bir yüzey matematiksel olarak tanımlanabilirse, söz konusu yüzey üzerinde yatay konumuyla belli herhangi bir noktanın yüksekliği de kolayca elde edilebilir. Bu şekilde topoğrafik yüzey üzerinde istenen sayıda noktanın yükseklikleri hesaplanabilir. Böylece topoğrafik yüzey, yatay konumları ve yükseklikleriyle bilinen çok sayıda nokta ile sayısal olarak temsil edilmiş, yani modellenmiştir olur. Bu model arazinin sayısal yükseklik modeli (SYM) olarak tanımlanır.

SYM nin oluşturulmasında üç temel işlem söz konusudur.

İlk safhada verilerin elde edilmesi, yani bilgi depolama işlemi yer alır. Bu safhada arazinin topoğrafik yapısını temsil edebilmek için yeterli sayıda noktanın konum bilgileri elde edilir. x, y, z koordinatlarıyla belirlenen bu noktalara örnekleme noktası veya dayanak noktası denir. Toplanan bilgiler, sürekli yararlanılmak üzere manyetik disk, manyetik şerit, manyetik kaset gibi uygun kayıt ortamlarında depolanır. Toplanan bilgilerin kontrolü, kaba hataların ayıklanması, dönüşüm işlemleri ve örnekleme noktalarından yararlanarak, arazinin çeşitli yerlerinde, istenen sayıda yeni noktanın yüksekliklerinin belirlenmesi, yani enterpolasyon işlemi ikinci safhayı oluşturur.

SYM nin olabildiğince az sayıda nokta ile oluşturulması fakat aynı zamanda, topoğrafik yapıyı da yeteri incelikte temsil etmesi gerekir. Bu durum arazinin tipi, örnekleme noktalarının dağılımı ve sıklığı ve enterpolasyon yöntemiyle sıklık sıklığı ilişkilidir. Öyle ki SYM den beklenen doğruluğa ve arazinin tipine bağlı olarak örnekleme noktalarının sıklığı başka bir ifadeyle örnekleme yoğunluğu değişecek; değişik

örnekleme biçimleri için de farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılabilir.

İlk iki safhadaki işlemlerin tamamlanmasıyla, araziyi topoğrafik özellikleriyle temsil eden bir SYM oluşmuştur. Artık, bu modelden çeşitli amaçlar için yararlanılabilir. Bu da uygun bilgisayar yazılımlarıyla sağlanır. Bu bakımdan SYM,

- Eşyükseklik eğrilerinin otomatik olarak çiziminde,
- Planlama amaçlarına yönelik eğim haritalarının hazırlanmasında,
- Karayolu ve demiryolu geçkilerinin tesbitinde,
- Kanal ve baraj inşaatlarında,
- Hava alanı yapım projelerinde,
- En ve boy kesitlerin hazırlanmasında,
- Hacim hesaplarında

etkin bir araç olarak kullanılabilir.

SYM'nin oluşturulmasında enterpolasyon işlemi oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Literatürde çeşitli enterpolasyon yöntemleri hakkında teorik bilgiler yanında, deneysel çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmada multikuadrik enterpolasyon yöntemi incelenmiş, seçilen bir model üzerinde deneysel çalışmalar yapılmış, böylelikle yöntemin SYM çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Sayısal uygulamalar Fortran-77 dilinde yazılmış bir bilgisayar programıyla, Karadeniz Teknik Üniversitesi IBM-4341 sisteminde gerçekleştirilmiştir.

2. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ İÇİN ARAZİ SINIFLAMASI

2.1. Arazi Sınıflamasının Gerekliliği

SYM için verilerin elde edilmesi ve işlenmesinde arazi yapısının bilinmesine ihtiyaç vardır. Çünkü SYM'nin niteliği temsil ettiği arazinin tipine bağlı olarak değişecektir. Örnekleme noktalarının arazinin nerelerinde ve hangi sıklıkta seçilmesi gerektiğine ve hangi enterpolasyon yönteminin kullanılmasının daha uygun olacağına karar verilebilmesi için arazinin yapısal özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu durumda belirli ölçütlere dayanan bir arazi sınıflamasının yapılarak, SYM'ye konu olan arazinin yapı özellikleri itibariyle belirli alt gruplara ayrılması ve SYM işlemlerinin buna göre yürütülmesi gerekmektedir.

Arazinin belirli gruplara ayrılması yani sınıflama işlemi objektif olmalı, arazi nesnel ve bazı özellikler taşıyan parametreler yardımıyla tanımlanmalıdır. Söz konusu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilirler, Güler (1986):

- Parametre kavramsal olarak tanımlı olmalıdır. Yani, olabildiğince arazinin fiziksel karakteristiklerinin düşünsel bir görüntüsünü yansıtmalıdır.
- Parametre, sayısal olarak kolayca ölçülebilir olmalıdır.
- Parametre, sonradan yapılacak sayısal ve istatistik değerlendirmelere uygun olmalıdır.
- Parametre, farklı ölçeklerde karşılaştırılabilir olmalıdır.

2.2. Arazi Sınıflamasında Kullanılabilecek Parametreler

Arazi engebelerini tanımlayan parametrelerden bazıları olarak,

- * Gradyent ve eğrilik,
- * Doğrultu kosinüsleri ve özvektörler,

- * Yüzey alanı,
- * Bump Frekansı,
- * Düzlemlerin dağılımı,
- * Kırık çizgiler,

sayılabilir

- * Gradyent ve Eğrilik

Bir yüzey üzerinde, herhangi bir noktadaki en büyük eğim gradyent olarak adlandırılır ve

$S = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\right)^2}$ bağıntısıyla temsil edilir. Eğrilik-
de,

$C = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial y^2}\right)^2}$ olarak ifade edilir.

burada engebe parametreleri olarak gradyent ve eğriliklerin ortalama değerleri ile varyansları kullanılabilir.

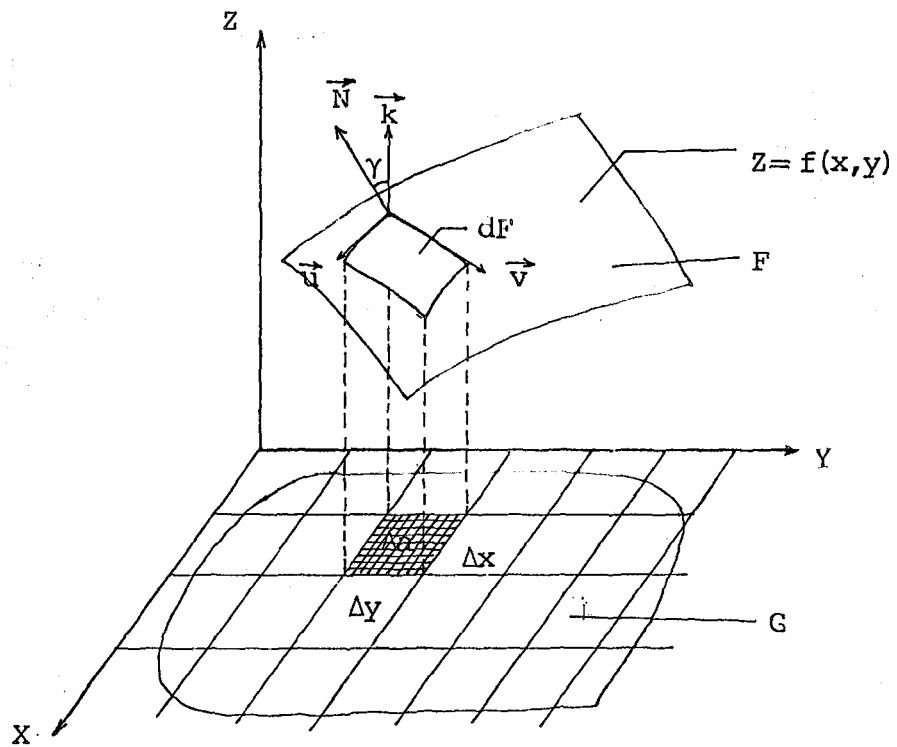
- * Doğrultu Kosinüsleri ve Özvektörler

İki nokta arasında x, y, z yönlerinde doğrultu kosinüsleri matris formunda hesaplanır. Daha sonra bu matrisin kovaryans matrisi ve bunun özvektörler matrisi hesaplanır. İlk hesaplanan matris ile son bulunan özvektörler matrisi çarpılarak yeni bir matris elde edilir. Son olarak elde edilen bu matrisin çarpıklığı (üçüncü merkezsiz momenti) yüzeydeki eğimlerin simetri derecesini, eksesi ise (dördüncü merkezsiz moment) eğimlerin küçük ya da büyüklüğünün görece çokluğunu gösterir. Çarpıklığın olması asimetric, olmaması ise simetric eğimlerin sözkonusu olduğunu gösterir.

- * Yüzey Alanı

Yüzey alanı ile düzlem alan arasındaki oran engebe parametresi olarak kullanılır.

Yüzey alanı, yüzeyi temsil eden fonksiyondan yararlanarak aşağıdaki şekilde elde edilebilir.



Sekil - 2.1

$$dF = |\vec{U} * \vec{V}|$$

$$\vec{U} = \Delta x \cdot \vec{i} + f_x(x, y) \cdot \Delta x \cdot \vec{k}$$

$$\vec{V} = \Delta y \cdot \vec{j} + f_y(x, y) \cdot \Delta y \cdot \vec{k}$$

$$\vec{N} = \vec{U} * \vec{V}$$

$$N = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \Delta x & 0 & f_x(x, y) \cdot \Delta x \\ 0 & \Delta y & f_y(x, y) \cdot \Delta y \end{vmatrix}, N = \Delta x \Delta y (-f_x \vec{i} - f_y \vec{j} + \vec{k})$$

$$F = \lim_{\Delta x, \Delta y \rightarrow 0} \int_G dF$$

$$dF = |\vec{U} * \vec{V}| = \Delta x \Delta y \sqrt{f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y) + 1}$$

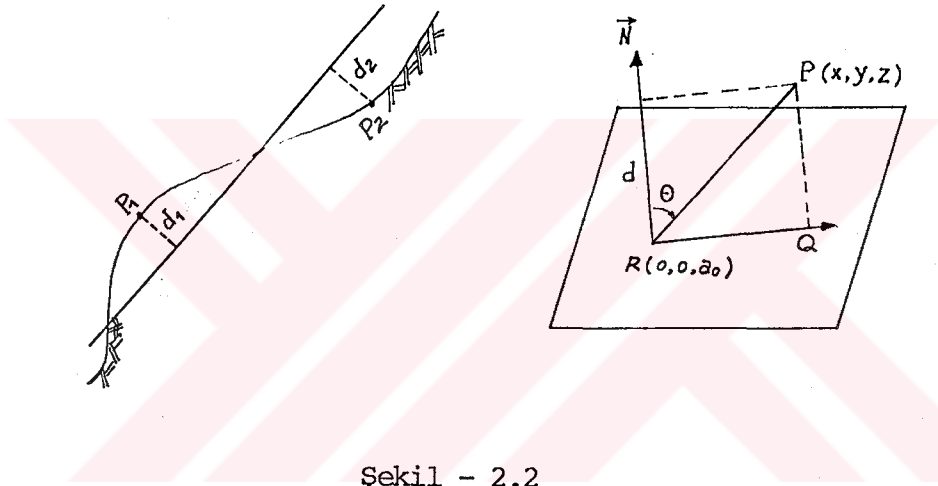
$$F = \iint_G \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1} \, dx \cdot dy \quad : \text{ yüzey alanı}$$

$$A = \int_G \Delta x \cdot \Delta y = n_G \cdot \Delta x \Delta y$$

$$\text{Engebe parametresi} = \frac{F}{A}$$

* Bump Frekansı

Arazi üzerindeki noktalara göre dengeleyici bir düzlem yerleştirilir. Noktaların bu düzlem yüzeye dik uzaklıklarının ortalaması ve varyansı engebe parametresi olarak alınır.



Şekil - 2.2

Şekil.2.2'deki d uzaklıkları aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$d = |\vec{RP}| \cos \theta = \frac{|\vec{N}| \cdot |\vec{RP}| \cdot \cos \theta}{|\vec{N}|} = \frac{\vec{N} \cdot \vec{RP}}{|\vec{N}|}$$

$$Z = a_0 + a_1 x + a_2 y \quad : \text{düzlem denklemi}$$

$$\vec{N} = -a_1 \cdot \vec{i} - a_2 \cdot \vec{j} + \vec{k}$$

$$\vec{r}_P = x\vec{i} + y\vec{j} + (z - a_0)\vec{k}$$

$$\vec{N} \cdot \vec{r}_P = -a_1x - a_2y + z - a_0$$

$$|\vec{N}| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 1}$$

bulunan değerler yerlerine yazılırsa

$$d = \frac{-a_1x - a_2y + z - a_0}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 1}}$$
 olarak elde edilir.

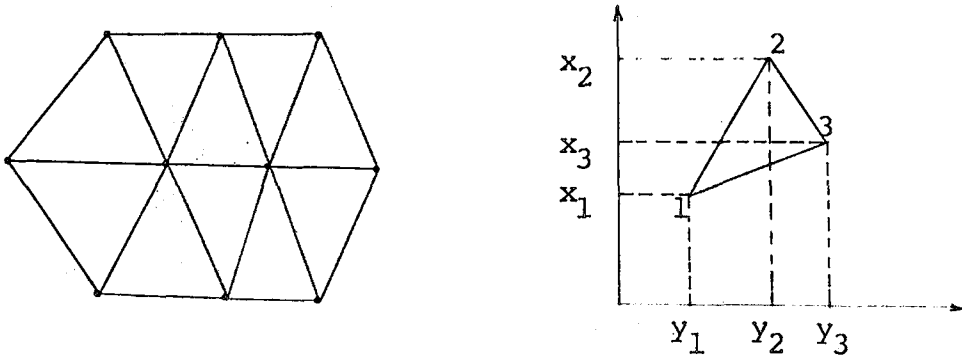
1. moment, $M_1 = \bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$

2. moment, $M_2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}$

Varyans : $M_2 - M_1^2$

* Düzlemlerin Dağılımı:

Düzlemlerin dağılımıyla ilgili parametrelerin belirlenmesinde, önce üçerli yükseklik noktası gruplarında kesişen üçgen düzlemler yerleştirilir(Şekil.2.3). Düzlemlerin normaleri ve bunlara karşılık gelen birim vektörler hesaplanır.



Şekil - 2.3

yükseklik fonksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$z_1 = a_0 + a_1 x_1 + a_2 y_1$$

$$z_2 = a_0 + a_1 x_2 + a_2 y_2$$

$$z_3 = a_0 + a_1 x_3 + a_2 y_3$$

Burada a_i katsayıları herhangi bir yöntemle göre hesaplandıktan sonra birim vektörler :

$$\tan \gamma = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2}{a_0^2}} \quad \gamma = \arctan \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2}{a_0^2}}$$

olarak bulunurlar. Bundan sonra engebe parametreleri olarak n üçgen sayısı olmak üzere :

Vektör kuvveti :

$$V_s = \sqrt{\frac{\sum \cos^2 \gamma_i}{n}}$$

Vektör dispersiyonu :

$$V_D = \frac{n \sum \cos^2 \gamma_i - (\sum \cos \gamma_i)^2}{n^2}$$

Düzlemlerin eğim ortalaması :

$$T = \frac{\sum \tan \gamma}{n}$$

Eğimlerin varyansı

$$T_v = \frac{n \sum \tan^2 \gamma - (\sum \tan \gamma)^2}{n^2}$$

değerleri hesaplanabilir.

Yükseklik değişimlerinin az olduğu alanlarda genellikle vektör kuvveti büyük, vektör dispersiyonu küçüktür, Giler(1986).

Kırık Çizgiler

Arazi değişimindeki ani ya da keskin değişimlerin olduğu çizgiler kırık çizgi olarak adlandırılmaktadır. Kırık çizgiler matematiksel olarak yüzeyin birinci türevlerinin kesikli olduğu yerlerdir. Fiziksel olarak hendek, set, uçurum kenarları ve sırt hatları olarak bilinirler.

Bu çizgiler stereomodelde kolaylıkla tanınmazlar. Sorun, kırık çizgilerin nesnel olarak tanımlanmasıdır. Kesitlerin çeşitli bölümlerine ardışık olarak polinomlar yerleştirmek bir çözüm olabilir. Örneğin, $z = a + bx + cx^2$ parabolik eğrisi kesit parçalarına ardışık olarak yerleştirilirse, eğimdeki ani değişimlere karşılık, parabolün katsayılarında anlamlı değişiklikler görülecektir. Ancak bunun için kesitler boyunca yeteri sıklıkta nokta olması gerekir.

2.3. F.SİLAR tarafından yapılmış olan bir arazi Sınıflaması

F.Silar bazı ölçütler kullanarak arazileri dört gruba ayırmıştır, Güler(1986), Koyuncu (1981).

* Ölçütler:

- Birbirine dik iki doğrultuda arazi yüzeyinin eğimi,
- Topoğrafik yüzey üzerindeki noktaların bu yüzeye en uygun bir biçimde yerleştirilmiş olan düzlemden sapmaları (Bump Frekansı),
- Arazideki yerel engebelerin, sivrilik ve çukurluklar ile kırık çizgilerin sayısı,
- Arazinin düzgünlüğü ve homojenliği.

* 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 hektarda 10'dan az olup, kullanılacak örnekleme noktası sayısı 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 100-400 arasındadır.

4. Grup: Yapay yüzeyler.

Çok sayıda bölgesel alçalıp yükselmelerin olduğu yapay yüzeylerdir. Kırık çizgi sayısı çok fazladır.

F.Silar tarafından yapılan yukarıdaki sınıflama özet olarak tablo -2.1'de görülmektedir.

Tablo-2.1

Parametre Sınıf	Eğim	Hektarda Kırık Çizgi	Hektarda Örnekleme Noktası	Yüzeyin Tanımı
I	%5	< 10	20-40	Hafif engebeli
II	%5-%20	10-20	40-100	Orta engebeli
III	> %20	> 20	100-400	Çok engebeli
IV	Yapay yüzeyler			

2.4. Sınıflama için kullanılabilir istatistiksel bir Yöntem

Önce arazinin tümü m sayıda gruba ayrılır. Bu gruplarda her noktaya da her kombinasyon için hesaplanmış olan engebe parametreleri ayrı ayrı varyans analizlerinden geçirilir, Güler (1986).

Analiz sonunda bütün grupların eşdeğerliliği sözkonusuysa tüm gruplar toplanarak bir sınıf yapılabilir. Bilindiği gibi varyans analizinde tüm parametrelerin aynı kümeden çıkıp çıkmadıkları da belirlenmektedir. Grup değerlerinin aynı kümeye ait olmadığı anlaşılırsa komşu gruplar ikişerli olarak tekrar varyans analizinden geçirilirler. Analiz sırasında eşdeğer bulunan komşu gruplar birleştirilerek, analize birleştirilmiş gruplarla devam edilir. Sonuçta, eşdeğerli olmayan gruplar taşıdıkları engebe parametreleri ile ayrı ayrı sınıfları oluştururlar.

3. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ İÇİN İŞLEM SÜRECİ

SYM işlemleri genel olarak üç grupta toplanabilir:

- * Verilerin elde edilmesi
- * Verilerin işlenmesi
- * Uygulama

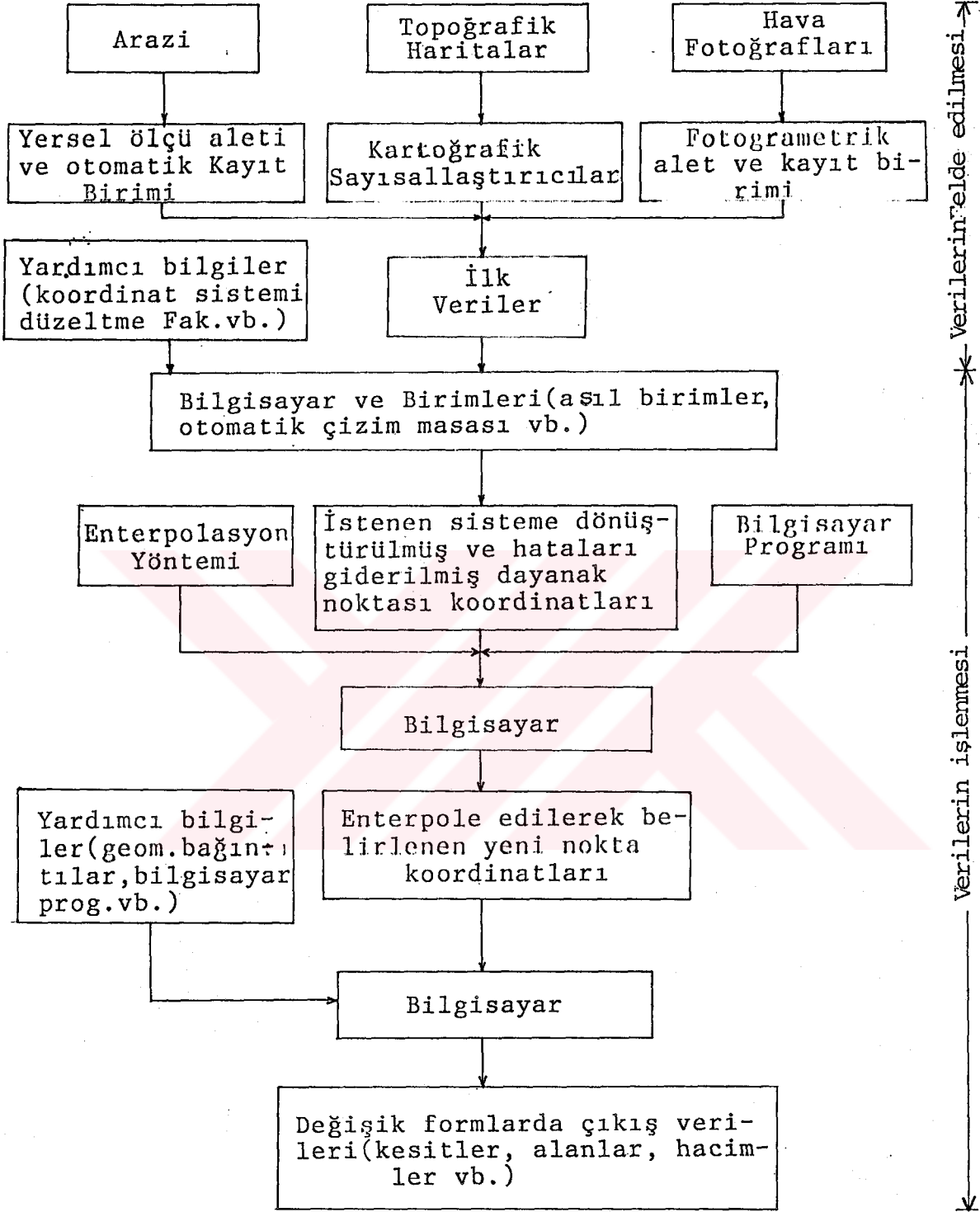
Söz konusu evrelere ait akış diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Genel olarak dayanak noktalarının seçilen ölçü sistemindeki koordinatlarından ibaret olan ve çeşitli sebeplerden dolayı kaba hatalarla yüklü olabilen ilk veriler çeşitli yollarla elde edilmiş olabilirler.

Bu noktaların x, y, z koordinatları önceden belirlenen bir koordinat sistemine dönüştürüldükten sonra, amaca göre ya planimetrik koordinatları (x, y) ile bilinen yeni noktaların yükseklik değerlerini hesaplamak, ya da belirli yükseklikteki noktaların planimetrik koordinatlarını hesaplamak (eşyükseklik eğrisi üretimi) için bilgisayara verilirler. Bilgisayar ve seçilen bir enterpolasyon yöntemi ile yeni noktaların istenen koordinatları hesaplanır.

3.1. Verilerin Elde Edilmesi

SYM'nin oluşturulabilmesi için gerekli verilerin toplanması işlemine örnekleme adı verilir. Örnekleme işlemiyle x, y, z koordinatlarıyla bilinen noktalar belirlenir. Bu noktalara örnekleme noktası veya dayanak noktası denir. SYM için veriler,

- Yersel ölçülerle doğrudan araziden,
 - Kartoğrafik sayısallaştırıcılarla topoğrafik haritalardan,
 - Fotogrametrik ölçülerle fotoğraflardan
- elde edilir. Söz konusu üç şeklin bir arada kullanılmasıyla da veri elde etmek mümkündür.



Şekil-3.1. SYM'de Genel İş Akışı
Koyuncu(1981)

3.11. Yersel Ölçmelerle Veri Toplama

Bu yolla veriler, doğrudan arazide yapılan ölçülerle elde edilir. Seçilen noktaların ölçüleri takeometrik, prizmatik, elektro-optik ya da elektronik olarak yapılır. Ancak ölçülerin otomatik olarak bir kayıt ortamına aktarılması, başka deyişle bu tarz işlem yapabilen aletlerin kullanılması, hem hata kaynaklarını azaltacak, hem de SYM oluşturulmasında harcanacak zaman açısından daha uygun olacaktır.

SYM için veri elde etmede yersel ölçümler, son zamanlarda özellikle elektronik takeometrelerin kullanılması ile önem kazanmıştır. Ölçü duyarlılığı diğer veri elde etme yöntemlerinden daha yüksektir. Bu nedenle yüksek duyarlıklı işlerde ve diğer yöntemlerin uygulanmadığı durumlarda, sözelimi kadastral çalışmalar ve haritaların güncelleştirme çalışmalarında kullanılabilir.

3.12. Topoğrafik Haritalardan Veri Toplama

Bu yöntemle verilerin elde edilebilmesi için kartoğrafik sayısallaştırıcılara gereksinim vardır. Bu aletler ve yeterli doğrulukta haritalar mevcut ise, bu yolla diğer yöntemlere göre daha ekonomik olarak veriler elde edilebilir. Ayrıca, eski haritalar üzerindeki bilgiler de oluşturulacak bir bilgi bankasına aktarılabilirler.

Haritalar üzerinden bilgi kaydı üç şekilde gerçekleştirilebilir.

- * Nokta nokta ölçü (point mode)
- * Sürekli ölçü (stream mode)
- * Tarama (raster mode)

Nokta nokta ölçü, tek tek noktaların (parsel köşeleri, pafta köşeleri, tepeler, dayanak noktaları gibi) sayısallaştırılması amacıyla kullanılır. Sayısallaştırma sırasında izleme başlığı nokta üzerine tatbik edilerek, noktaya ait bilgiler otomatik olarak manyetik bir ortama kaydedilirler.

Sürekli ölçüde nokta kaydı üç değişik şekilde gerçekleştirilebilir:

- * Eşit zaman aralıklarında,
- * Eşit uzaklıklarla,
- * Eşit koordinat farklarıyla.

Eşit zaman aralıklı kayıt genellikle eşyükseklik eğrilerinin sayısallaştırılmasında tercih edilir. Operatör izleme başlığını eşyükseklik eğrisi üzerinde belli bir yöne doğru hareket ettirirken, belirli zaman aralıklarına (meselâ 1 sn) karşılık gelen noktaların konum bilgileri otomatik olarak kaydedilir.

Eşit uzaklık ya da koordinat farklarına göre kayıtta ise, bir noktanın sayısallaştırılmasından sonra önceden belirlenmiş bir uzaklık ya da koordinat farkındaki diğer bir noktaya geçilir.

Tarama şeklindeki sayısallaştırma için otomatik tara-yıcılar (scanner) kullanılır. Sayısallaştırma tamamen otomatik olarak gerçekleştirilir. Sayısallaştırılacak yüzeyde sözgelimi 0.05 mm'lik raster gözlerine karşılık gelen noktalara ait bilgiler kaydedilir Dolayısıyla bu modda diğerlerine göre daha fazla bilgi elde edilmiş olmaktadır. Bu bilgilerden, daha sonra uygun yazılımlarla eşyükseklik eğrilerinin çizimi veya arazinin yükseklik dağılımı elde edilebilir.

3.13. Fotogrametrik Modelden Veri Toplama

Bu yolla veri elde etmede, komparatörler, analog stereo-değerlendirme aletleri veya analitik değerlendirme aletleri kullanılabilir. İki seçenek sözkonusudur, Aydemir(1982).

- Stereomodelden boyut değiştirmeyen bir altlığa analog çizim yapılır ve daha sonra bu haritalardan sayısallaştırma yapılabilir.

- Fotogrametrik değerlendirme aletinde sayısallaştırma birimi varsa, doğrudan stereomodelden sayısallaştırma yapı-

labilir. Bütün özellikler x , y ve/veya z koordinatlarıyla sayısallaştırılabilir. Yükseklik bilgileri eşyükseklik eğrilerinin, profillerin veya rastgele ya da düzgün gridler şeklinde dağılmış kot noktalarının sayısallaştırılmasıyla elde edilir.

Burada sayısallaştırma nokta nokta olmaktadır. Dönüşürmenin kontrolü, silindir tipi hızlı bir çizim biriminde yapılacak bir çizimle sağlanabilir. Böylece muhtemel hatalar, model halen değerlendirme aletinde olduğundan daha kolay düzeltilenilebilecektir.

SYM'nin koordinatlarıyla bilinen binlerce noktadan oluştuğu düşünülürse, otomatik kaydedicilerin gerekliliği ortaya çıkar. Aksi takdirde, bilgilerin birtakım ara işlemlerden sonra bilgisayara aktarılması olası pekçok hatayı da beraberinde getirir.

Otomatik kaydedicilerin eklendiği analog stereo değerlendirme aletleri, bugün yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayede, veri elde etmede büyük hız kazanılmış ve hata yapma olasılığı azaltılmış olmaktadır. Öte yandan analitik değerlendirme aletleri yardımıyla da gene üç boyutlu modellerden, bilgisayar programlarıyla çok değişik şekillerde veri elde etmek ve bunları çok kısa sürede işlemek mümkün olmaktadır, Aydemir (1982).

Fotogrametrik yöntemle veri toplamada dört seçenek sözkonusudur, Makarovic(1976).

a- Seçerek (selective):

Koordinatlarıyla kaydedilecek noktalar ya önceden tesbit edilir veya ölçüm anında yorumlanarak belirlenir.

Nokta yoğunluğunun önceden belirlenmesi örnekleme işlemini kolaylaştırır. Önceden belirleme için, arazi engebe karakteristikleri hakkında bilgi sahibi olunması ve doğruluk isteklerinin bilinmesi gerekir. Bunlar belirlendikten sonra örnekleme dağılım biçimine göre nokta sıklıkları belirlenir. Dayanak noktası olarak, arazi eğiminin

değişim noktaları, tepeler gibi karakteristik noktalar seçilebilir. En yaygın kullanım şekli arazi yüzeyinin düzlem üçgenlerle kaplanmasıdır.

b- Uyum Sağlayarak (Adaptive):

Fazladan seçilen noktalar çevirim içi veya çevirim dışı işlemlerle ayıklanarak atılırlar. Bu şekilde veri toplama da profiller, eşyükseklik eğrileri boyunca ve kot noktalarında arazinin örnekleme uygundur.

c- Geliştirerek (Progressive)

Veri toplama ve toplanan verilerin analizi işlemleri bilgisayar devrede iken ardışık olarak tekrarlanır. Örnekleme işlemi iki ya da daha çok adımdan oluşur. Önce kaba bir örnekleme yapılır. Daha sonra örnekleme iyileştirilir. Her safhada veri analizi yapılır Yüksekliğin belirli fonksiyon değerleri, verilen tolerans değerlerinin altında kalıncaya kadar ardışık analizlere devam edilir ve bir sonraki safhada örneklenecek veriler belirlenir.

d- Karışım yöntemi(Composite)

Uyum sağlayarak ve geliştirerek örneklemenin birarada kullanılması şeklinde gerçekleştirilen bir yöntemdir.

3.14. Örnekleme Noktalarının Seçimi

Örnekleme noktalarının arazinin nerelerinde seçilmesi ve sıklığının ne olması gerektiği konusu, SYM düşüncesinin en önemli kavramlarından biridir. İyi yapılamayan bir örneklemeyle kaybedilen bilgilerin, en mükemmel enterpolasyon yöntemleriyle bile kazanılamayacağını B.Makarovic ilgili yazısında (1976) belirtmektedir.

Örnekleme noktalarının dağılım ve yoğunluğu birçok etkenlerle sıkı sıkıya ilişkilidir. Topoğrafik yapının özellikleri, örneklemede kullanılan kayıt yöntemleri, SYM'den beklenen doğruluk ve uygulanacak enterpolasyon yöntemine bağlı olarak örnekleme dağılımı ve yoğunluğu değişecektir.

3.141. Örnekleme noktalarının dağılımı

Yukarıda sözü edilen etkenlere bağlı olarak örnekleme noktaları değişik şekillerde düzenlenebilirler (Şekil 3.2, 3.3). Bunlar genel olarak,

- Eşyükseklik eğrileri,
- Morfolojik çizgi ve noktalar,
- Gridler (düzgün, düzgün olmayan) dir.

* Eşyükseklik Eğrileri

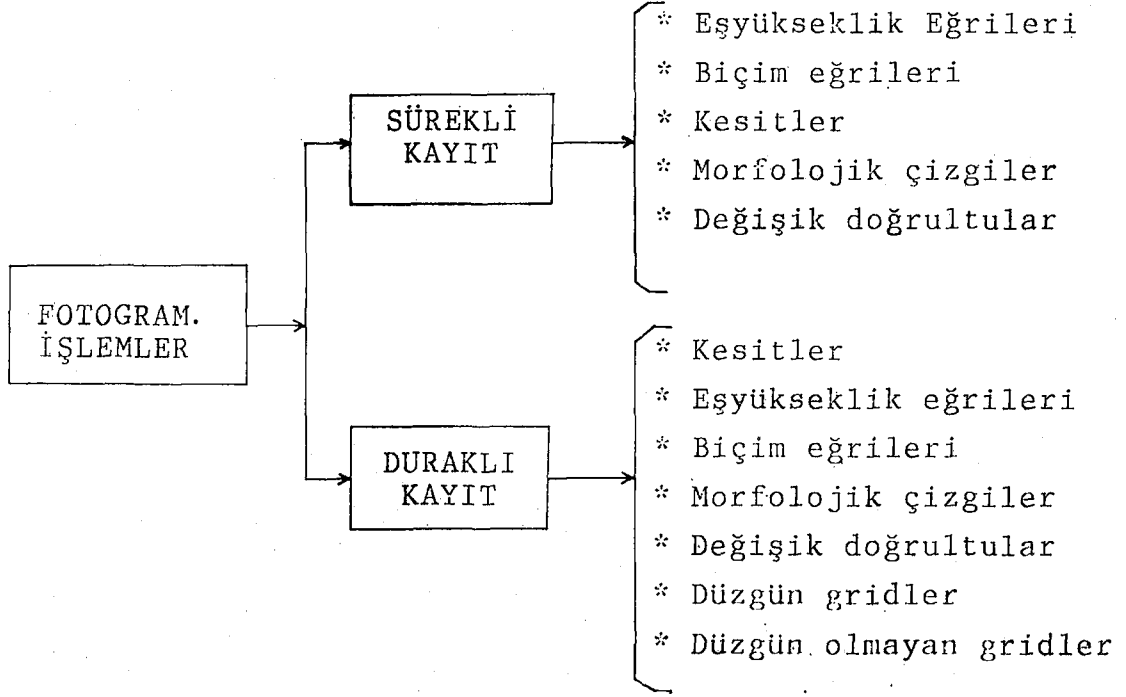
Örnekleme, topoğrafik haritalardan sayısallaştırma yapılması durumunda eşyükseklik eğrileri, fotogrametrik modelden sayısallaştırmada ise sabit yükseklikteki çizgiler boyunca yapılır. Noktaların yatay koordinatları belirli yüksekliklere göre depolanır.

Bu tarz örnekleme arazi özelliklerini düzgün gridlerden daha iyi yansıtır. Fotogrametri aletlerinde eşyükseklik eğrilerinin sayısallaştırılması ya da değerlendirilmesi büyük bir hüner gerektirmez. Bu avantajları yanında, sürekli bir kayıt şekli olması nedeniyle duyarlılığının, duraklı kayıta göre daha az olması, örnekleme işleminin tam otomatik yapılabilmesinin güç oluşu ve bellek gereksiniminin fazla oluşu gibi sakıncaları vardır.

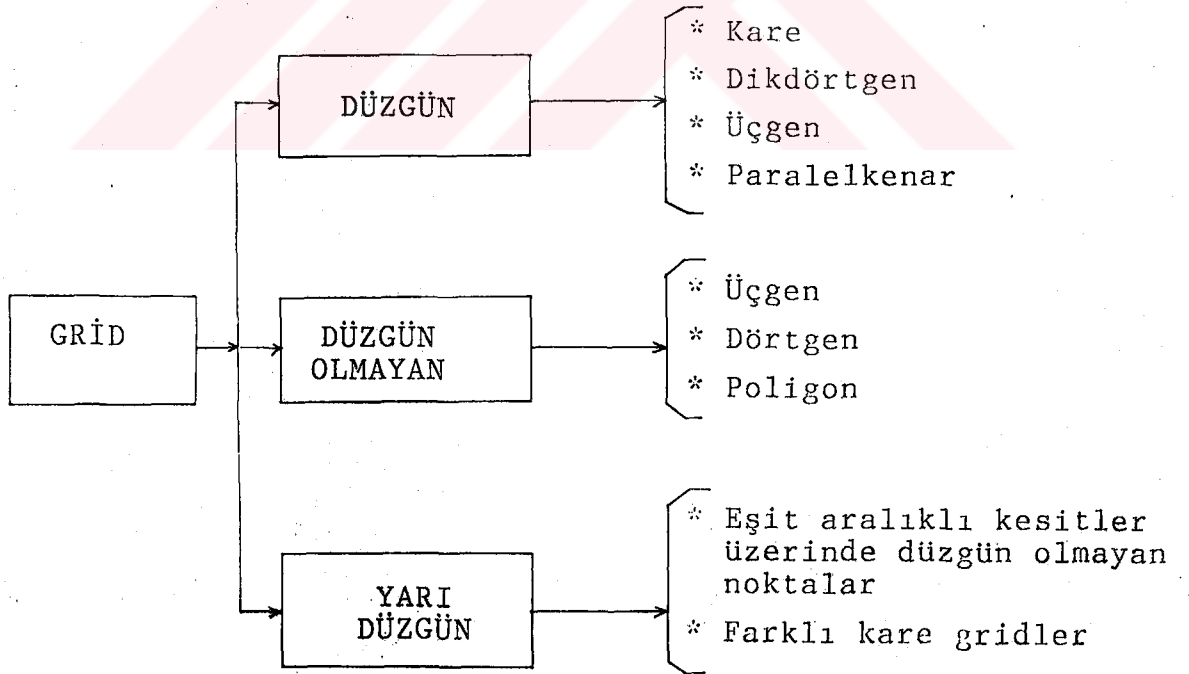
* Morfolojik çizgi ve noktalar

Anlamlı topoğrafik noktalar (tepeler, vadiler), su ayırma ve su toplama çizgileri, yol ve şev kenarları gibi "yapı çizgileri" boyunca dayanak noktası seçilir ve ölçülür. Böylece bir anlamda rastgele bir nokta dağılımı oluşturulmuş olur. Yersel çalışmalar için daha uygun bir örnekleme biçimidir.

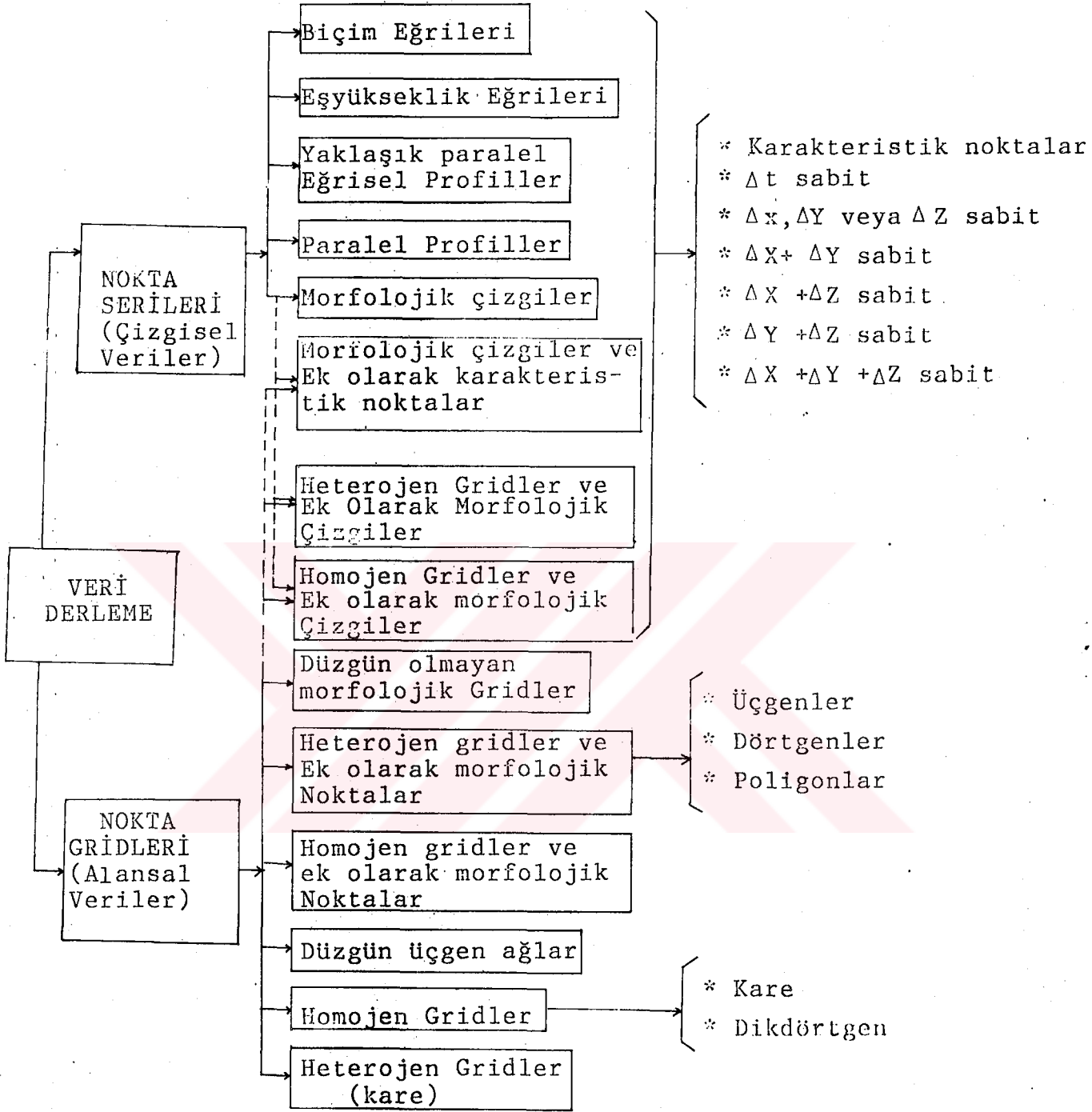
En az sayıda nokta ölçülür ve yapay özelliklerin çiziminde kullanılabilir. Ancak nokta seçimi tecrübeli bir kişi tarafından yapılmalıdır. Örneklemenin otomatikleştirilememesi, enterpolasyonun daha çok ayrıntıyı içermesi



Şekil-3.2. Örnekleme şekli ve çıkış bilgileri
(Makarovic 1976)



Şekil-33. Gridlerin Sınıflaması
(Makarovic 1976)



Şekil-3.4. SYM için veri sınıflaması
(Makarovic 1976)

si ve bellek gereksiniminin fazla oluşu başlıca sakıncalar olarak sayılabilir.

* Gridler

Düzcün gridler: SYM'ye konu olan arazi, kare ya da dikdörtgen şeklindeki gridlere bölünür Grid köşelerinin yükseklikleri ölçülür ve matris formunda depolanır.

Bu örnekleme biçimi özellikle fotogrametrik model için daha uygundur. Örnekleme işlemi çok kolay bir şekilde yapılabilir. Basit bir enterpolasyon yönteminin kullanılması yeterli olabilir.

Düzcün olmayan gridler: Kayıt modeli olarak kare şeklinde grid kullanılır. Ancak yükseklikler sadece gerekli olan grid köşelerinde ölçülür. Veri kaynağı fotogrametrik modeldir.

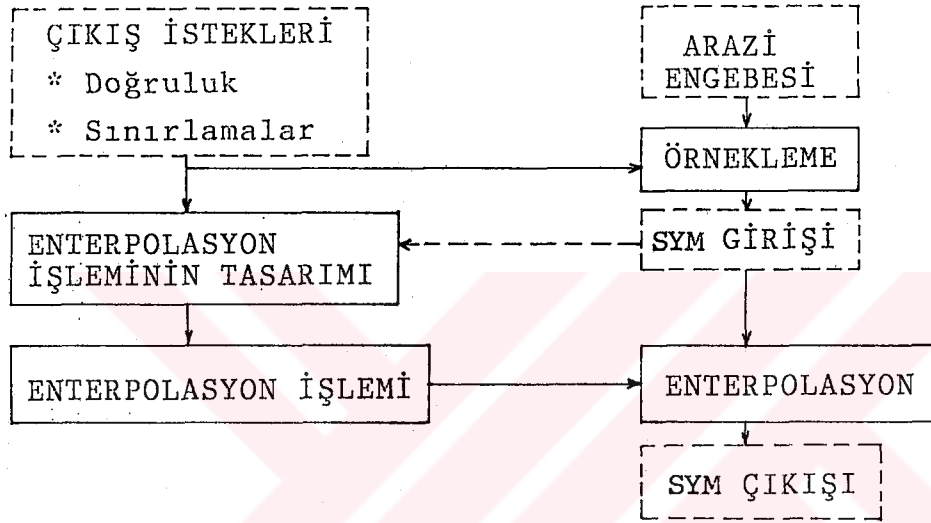
3.142. Örnekleme Yoğunluğu

Örnekleme yoğunluğu, yani örnekleme noktalarının sıklığı, SYM'nin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Nokta yoğunluğu değiştikçe, SYM'nin doğruluğu da değişecektir. Sözcülemi nokta yoğunluğunun azalmasıyla, SYM'nin doğruluğu azalabilecektir. Bu konudaki araştırmalar nokta sıklığı arttıkça, doğruluğun yükseldiğini göstermektedir. [Bu durumda nokta yoğunluğunun, arazi tipi de dikkate alınarak, beklenen doğruluğa göre belirlenmesi gerekmektedir.

Nokta yoğunluğu aşağıdaki yöntemlerle belirlenebilir, Stefanovic, P., Radwan, M.M., Trempfli, K.(1977).

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

Ön inceleme yapılarak, nokta yoğunluğu örnekleme öncesinde belirlenebilir. bunun için, arazinin durumu ve beklenen doğruluk dikkate alınarak eşyükseklik eğrisi aralıkları ve bu eğriler boyunca komşu nokta uzaklıkları, keza profiller arasındaki uzaklıklar ve profiller boyunca komşu noktalar arasındaki uzaklıklar ya da grid büyüklükleri belirlenebilir. nokta yoğunluğunun önceden belirlenmesi örnekleme işlemini kolaylaştırır.



Şekil-3.5. Örnekleme Enterpolasyon İlişkisi
(Makarovic 1976)

İkinci durumda, nokta yoğunluğu örnekleme sırasında ayarlanır. bu ayarlama nesnel ya da öznel olabilir. Morfolojik noktaların örnekleme, öznel ayarlamaya bir örnektir. Operatör, stereomodeli tarayarak arazi engebelerini yorumlar ve deneyimlerine de dayanarak örneklenecek noktaları seçer. Nesnel ayarlama ise adım adım gerçekleştirilir. Önce kaba bir grid ölçümü yapılır. Elde edilen verilerin sayısal analiz yapılarak, daha nokta ölçülüp ölçülmeyeceğine karar verilir. Ek ölçü yapılırsa, tekrar sayısal analiz yapılarak yeni nokta ölçülüp ölçülmeyeceğine karar verilir. Bu işlemler, yeterince nokta ölçülünceye kadar ardışık olarak devam eder. Sürekli ayarlama örnekleme hatasını artırmaksızın, ölçülen noktaların sayısını büyük ölçüde azaltır. Okunan noktalar hemen analiz edildiklerinden yanlış okuma olasılığında ortadan kalk-

miş olur. Ancak örnekleme sırasında engebe yorumlaması, verilerin analizi vb. gibi fazladan işlemler gerekir.

Ön incelemelerle belirleme ve örnekleme sırasında sürekli ayarlamamanın birarada kullanılmasıyla üçüncü bir yöntem de uygulanabilir. Örneğin örnekleme yapılacak profil ya da eşyükseklik eğrisi aralıkları önceden belirlenip, bu çizgiler boyunca örnekleme sürekli ayarlama yoluyla yapılabilir.

3.2. Verilerin İşlenmesi

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

Ön işlemler: SYM ile doğru sonuçlar elde edilebilmesi, herşeyden önce örnekleme noktalarının doğruluğuna bağlıdır. Bu nedenle, bu safhada örnekleme noktaları kaba ve sistematik hatalardan arındırılır. Gereksiz bilgiler varsa bunlar çıkarılır. Ayrıca bu safhada koordinat dönüşümleri sözkonusu olabilir. Örneğin kutupsal olarak elde edilmiş koordinatların dik koordinatlara dönüştürülmesi gibi.

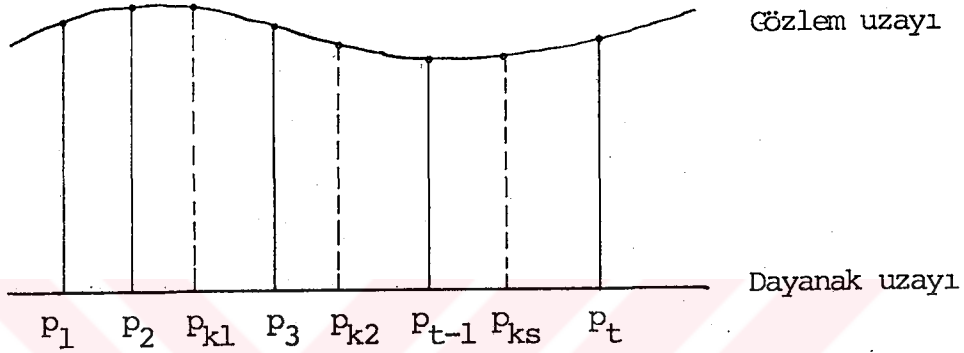
Esas işlemler: Hatalardan arındırılmış dayanak noktaları ve amaca uygun olarak seçilecek bir ya da birkaç enterpolasyon yöntemi yardımıyla x, y, z koordinatlarıyla bilinen noktalardan istenen sayıda yeni noktanın yükseklikleri hesaplanır. Bu safhada ayrıca bilgilerin genelleştirilmesi, yükseklik eğrilerinin enterpolasyonu, bilgi bankasının oluşturulması için gerekli hesaplamalar sözkonusu olabilir. bu kısımda özet olarak, SYM için kullanılacak enterpolasyon yöntemlerinden söz edilecektir.

3.21. Sayısal Yükseklik Modelinde Enterpolasyon

Enterpolasyon problemi genel olarak, n boyutlu P_i noktalarındaki m boyutlu vektörleri kullanarak, n boyutlu P_k

noktalarındaki m boyutlu bilinmeyen vektörlerin bulunması şeklinde tanımlanabilir, Güler (1978).

n boyutlu P_i noktaları dayanak uzayını, m boyutlu vektörler ise gözlem uzayını olutururlar (Şekil-3.6).



P_1, P_2, \dots, P_t : Dayanak noktaları

P_{k1}, \dots, P_{ks} : Enterpole edilecek noktalar

Şekil - 3.6

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

Dayanak uzayını oluşturan ve x, y, z koordinatlarıyla bilinen noktalara Dayanak Noktası veya Örneklemme Noktası adı verilir.

Enterpolasyonun genel tanımı, SYM için, dayanak noktaları yardımıyla, yatay konumuyla belli, istenen sayıda

noktanın yüksekliğinin belirlenmesi işlemi olarak özelleştirilebilir. Topoğrafik yüzey üzerinde yüksekliğin rastlantısal olarak değiştiği dikkate alınırsa, SYM açısından enterpolasyonun gerçekte bir yüzey uydurma problemi olduğu anlaşılır.

Bu problemin çözümü için üç farklı yaklaşım söz konusudur, Güler(1978).

- 1- Arazi yüzeyinin tümünü temsil eden tek bir fonksiyonla enterpolasyon.
- 2- Yerel olarak tanımlanmış parça parça fonksiyonlarla enterpolasyon.
- 3- Nokta nokta enterpolasyon.

Birinci durumda, arazinin tümünü temsil eden $z = f(x, y)$ fonksiyonu aynı anda bütün dayanak noktaları kullanılarak belirlenir. Multiküadrik enterpolasyon, lineer en küçük kareler enterpolasyonu ve çift Fourier serileriyle enterpolasyon bu tarzda uygulanabilecek yöntemlerdir.

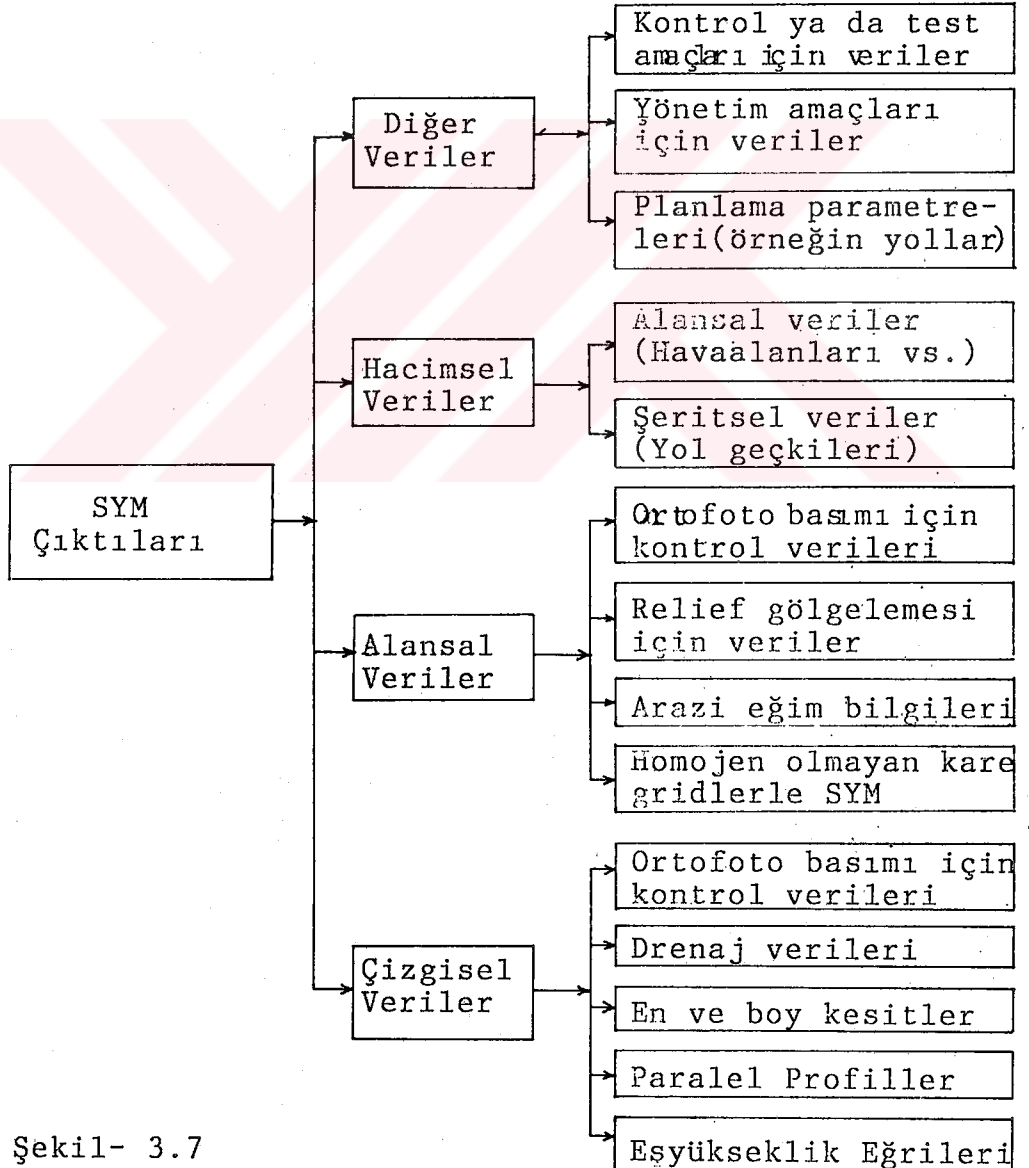
Parça parça enterpolasyon durumunda, arazi parçalara bölünür ve her bir parça seçilen bir fonksiyonla temsil edilir. Ancak bu durumda parçaların sınırları boyunca çatlaklar ve süreksizlikler oluşabilir. Bunu düzeltmek için parçaların sınırları boyunca düzgünlüğü sağlayıcı birleştirme koşulları kullanılır. Sonlu eleman yöntemi, 12 katsayılı kübik polinomlar 4 katsayılı bilineer polinomlar ve lineer enterpolasyon parça parça enterpolasyon için kullanılabilirler.

Nokta nokta enterpolasyonda ise, yüksekliği bulunacak noktayı çevreleyen kritik daire veya karenin içinde kalan dayanak noktaları kullanılır. dolayısıyla enterpolasyon fonksiyonunun katsayıları noktadan noktaya değişir. Bu, daha fazla hesabı gerektirmesine karşılık esnekliği artırır. Nokta nokta enterpolasyon için, ağırlıklı ortalama yöntemi, kayan yüzeyler yöntemi ve en küçük kareler yöntemi uygulanabilir.

Yukarıda sözü edilen enterpolasyon yöntemleri hakkında teorik bilgiler literatürde mevcuttur. Daha ileride sadece tezin konusunu oluşturan multiküadrik enterpolasyon yöntemi hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir.

3.3. Uygulama

SYM'den çok çeşitli amaçlar için yararlanılabilir. bu amaçlar, eşyükseklik eğrilerinin otomatik çizimi, en ve boy kesitlerin elde edilmesi, hacim hesapları ve daha pekçoğu olabilir. giriş verilerinin tipine ve istenen çıktı özelliklerine bağlı olarak, SYM'den çok çeşitli çıktılar elde edilebilir. Bun-



Şekil- 3.7

SYM çıkışları

Makarovic (1976)

lar başlıca dört grupta toplanabilir, Makarovic (1976):

- Çizgisel çıktılar,
- Alan sal çıktılar,
- Hacimsel çıktılar,
- Diğer çıktılar.



4. MULTIKUADRİK ENTERPOLASYON YÖNTEMİ

4.1. Teorik Bilgiler

Arazinin tümünü temsil eden tek bir fonksiyonla Enterpolasyon yapılır. Bunun için topoğrafik yüzey, tek bir cins ikinci dereceden yüzey denklemlerinin toplamı olarak belirlenmektedir. Multikuadrik yüzey olarak adlandırılan böyle bir yüzey genel olarak,

$$\sum_{j=1}^n C_j \cdot q(x_j, y_j, x, y) = z \quad (4.1)$$

şeklindeki serilerle tanımlanabilir. Burada z, tek bir cins ikinci dereceden yüzeylerin toplamı olarak x ve y'nin bir fonksiyonudur. Her bir ikinci derece yüzeyin düşey simetri eksenini dayanak noktalarının x_j ve y_j yatay konumlarında yer almıştır. C_j katsayısı, ikinci derece terimin cebrik işaretini ve eğimini belirler.

Multikuadrik yüzeylere örnek olarak,

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

şeklindeki iki yapraklı dairesel hiperboloid serilerinin toplamı, bir başka örnek olarak da,

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

şeklindeki dairesel paraboloid serilerinin toplamı verilebilir.

(4.2) ve (4.3)'te f, isteğe bağlı bir katsayıdır. (4.2) eşitliğinde $f = 0$ alınırsa Multikuadrik yüzey,

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

şeklindeki dairesel dik konilerin toplamından oluşur. C_j katsayılarının belirlenebilmesi için x , y , z koordinatlarıyla bilinen dayanak noktalarından yararlanılır. Böylece dayanak noktaları dahil, yüzeyin herhangi bir noktasındaki durumu, dayanak noktalarında oluşan bütün konik yüzeylerin toplamından etkilenir, Hardy (1971).

Multikuadrik enterpolasyon yönteminde, dayanak noktalarına göre bir trend yüzeyi belirlenir. (4.4) eşitliğinde C katsayılarının bulunmasında z değeri yerine, trend yüzeyinden farklar (Δh) kullanılır. Trend yüzeyi düşük dereceli bir polinom olup, genel olarak

$$t(x, y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} a_{ij} \cdot x^i \cdot y^j \quad (4.5)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu ifade,

$$m=1 \text{ için, } t(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x \quad (4.6)$$

şeklinde bir düzlem denklemini

$$m=2 \text{ için, } t(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{02}y^2 + a_{10}x + a_{11}xy + a_{20}x^2 \quad (4.7)$$

şeklinde ikinci derece bir yüzeyi (kuadrik) temsil eder. Görüldüğü gibi $m=1$ için 3, $m=2$ için 6 bilinmeyen sözkonusudur. Bu bilinmeyenler dayanak noktalarına göre yazılacak düzeltme denklemlerinin en küçük kareler yöntemine göre çözülmesiyle elde edilebilirler. Trend yüzeyinden olan artık yükseklik değerleri (Δh) kullanılarak (4.4) eşitliğinde C katsayıları belirlenerek, SYM'ye konu olan arazide yatay konumuyla bilinen istenen sayıda noktanın yükseklikleri elde edilebilir.

4.2. Multikvadrik Enterpolasyonda İşlem Adımları

1. Normlandırma: Multikvadrik enterpolasyon yönteminde (4.4.) eşitliğindeki x_i, y_i koordinatları yerine bunların

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_0}{D} \quad \text{ve} \quad \bar{y}_i = \frac{y_i - y_0}{D}, \quad i=1, 2, 3, \dots, n_t$$

şeklinde normlandırılmış \bar{x}_i ve \bar{y}_i değerleri kullanılarak hesap yapılır. Burada

- x_0, y_0 : Seçilecek bir başlangıç noktasının koordinatları,
- D : İsteğe bağlı seçilecek bir değer
- n_t : SYM'yi oluşturan noktaların sayısıdır.

2. Trend yüzeyi katsayılarının belirlenmesi

n sayıdaki dayanak noktasından yararlanarak kurulacak düzeltme denklemleri, en küçük kareler yöntemine göre çözümlenerek katsayılar belirlenir. Buradan itibaren, trend derecesinin 1 olması durumuna göre açıklama yapılacaktır. Trend derecesinin 1 olması durumunda trend yüzeyi(4.6)nın eşdeğeri bir ifadeyle,

$$t(x, y) = a_1 + a_2 \bar{y} + a_3 \bar{x} \quad \text{şeklinde yazılabilir}$$

buradaki 3 bilinmeyen için, her bir dayanak noktasına göre

$$V_i = a_1 + a_2 \bar{y}_i + a_3 \bar{x}_i - h_i \quad i= 1, 2, 3, \dots, n$$

şeklinde düzeltme denklemleri yazılır. Burada h değerleri dayanak noktalarının bilinen yükseklikleridir.

Matris gösterimiyle bu ifade,

$V = Ab - h$ şeklinde yazılabilir.

$$A_{n,3} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{y}_1 & \bar{x}_1 \\ 1 & \bar{y}_2 & \bar{x}_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & \bar{y}_n & \bar{x}_n \end{bmatrix} \quad h_{n,1} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} \quad b_{3,1} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

Trend derecesi 2 olduğunda A matrisi (n, 6), b(bilinmeyenler vektörü) de (6,1) boyutunda olacaktır.

Yukarıdaki eşitlik en küçük kareler yöntemine göre çözümlenerek bilinmeyenler,

$$b = (ATA)^{-1} \cdot A^T h \text{ şeklinde elde edilirler.}$$

3. Trend yüzeyinden farkların hesabı:

$$\Delta h_i = h_i - a_1 + a_2 \bar{Y}_i + a_3 \bar{X}_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\Delta h = h - A \cdot b$$

$$\begin{bmatrix} \Delta h_1 \\ \Delta h_2 \\ \dots \\ \Delta h_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \dots \\ h_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & \bar{Y}_1 & \bar{X}_1 \\ 1 & \bar{Y}_2 & \bar{X}_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & \bar{Y}_n & \bar{X}_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

4. Multikvadrik yüzeyin katsayılarının (C) hesabı:

(4.4.) eşitliği matris gösterimiyle

$$\Delta h = C \cdot S \text{ şeklinde yazılırsa buradan}$$

$$C = S^{-1} \cdot \Delta h \text{ olduğu görülür}$$

$$C_{n,1} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{bmatrix} \quad S_{n,n} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix}$$

Burada S matrisinin elemanları dayanak noktalarının birbirlerine olan uzaklıklarından oluşmaktadır.

$$S_{ij} = \sqrt{(\bar{Y}_j - \bar{Y}_i)^2 + (\bar{X}_j - \bar{X}_i)^2}$$

Bu durumda S'nin i inci satırı, i inci dayanak noktasının diğer bütün dayanak noktalarına olan uzaklıklarından oluşmaktadır. Bu durumda S matrisi köşegeni sıfır olan simetrik bir matristir

5. Yatay konumuyla belli noktaların yüksekliklerinin hesabı:

$$h(x, y) = t(x, y)_j + \sum_{i=1}^n C_i \sqrt{(\bar{Y}_i - \bar{y}_j)^2 + (\bar{X}_i - \bar{x}_j)^2}$$

i = 1, 2, ..., n : dayanak noktası sayısı

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

Matris gösterimiyle bu ifade,

$h = t + C^T \cdot D$ şeklinde yazılabilir.

$$t_{m,1} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{y}_1 & \bar{x}_1 \\ 1 & \bar{y}_2 & \bar{x}_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & \bar{y}_m & \bar{x}_m \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

$$h_{m,1} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \dots \\ h_m \end{bmatrix} \quad D_{n,m} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nm} \end{bmatrix}$$

Burada D matrisinin elemanları dayanak noktalarının, yeni noktalara olan uzaklıklarından oluşmaktadır. Yani D matrisinin i.inci satırı i.inci dayanak noktasının, m sayıda yeni noktanın herbirine olan uzaklıklarından ibarettir.

$$d_{ij} = \sqrt{(\bar{Y}_i - \bar{y}_j)^2 + (\bar{X}_i - \bar{x}_j)^2} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, m \end{matrix}$$

5. SAYISAL UYGULAMALAR

5.1. Uygulama Bölgesinin Seçimi ve Genel İş Akışı

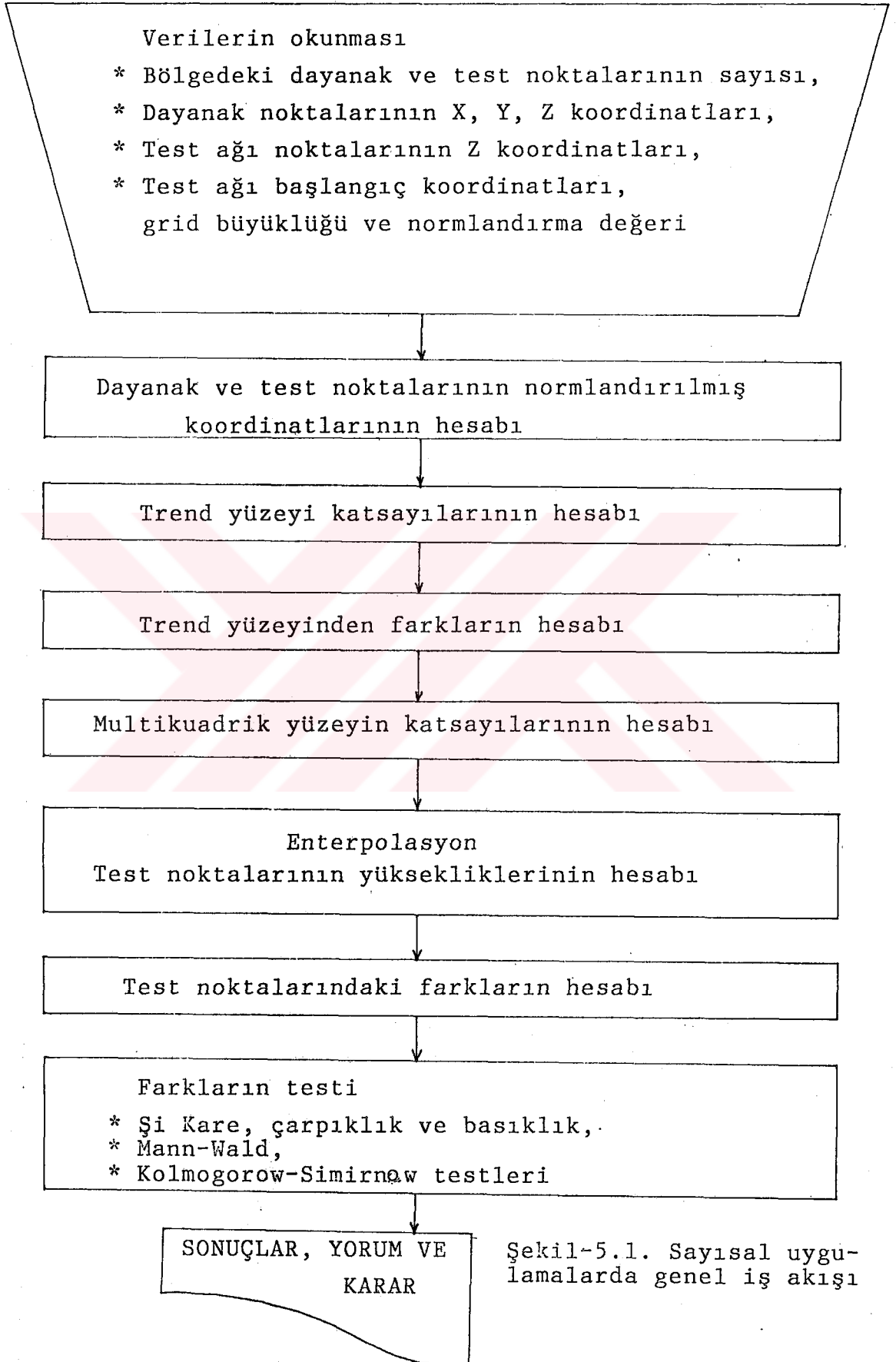
Sayısal uygulamaların yapıldığı alan TRABZON 20K-IV paftasının, x-ekseni yönünde 53900-54100, y-ekseni yönünde 52500-52800 değerleriyle sınırlandırılmış 300x200 m'lik bir bölümdür. Harita ölçeği 1/1000 ve eşyükseklik eğrisi aralığı 1 m'dir. Uygulama bölgesinde arazinin ortalama eğimi 0.24 olup, en küçük eğim 0,06, en büyük eğim 0.40 dır.

Seçilen model üzerinde sayısal uygulamalar yapmak için önce, rastgele ve arazinin karakteristik yerlerinde dayanak noktaları seçilerek, bunların yükseklikleri belirlenmiş ve bu yüksekliklere göre, astrolon bir altlığa eşyükseklik eğrileri çizilerek sayısal uygulamaların yapılacağı model elde edilmiştir.

Bundan sonra, seçilmiş olan dayanak noktalarının x, y koordinatları, koordinatoğraf aletinde okunmuştur. Aynı alet yardımıyla, model üzerinde 1 cm aralıklı olarak denetleme grid ağı (test ağı) oluşturulmuştur.

Üçüncü safhada test ağını oluşturan noktaların yükseklikleri doğrusal enterpolasyonla hesaplanmıştır.

Elde edilen değerlerin kontrolünden sonra, dayanak noktalarının x, y, z koordinatlarından, bir bilgisayar program yardımıyla test noktalarının yükseklikleri multikuadrik enterpolasyonla hesaplanmıştır. Bu noktaların bilinen (doğrusal enterpolasyonla bulunmuş olan) yükseklikleriyle, hesaplanan yükseklikleri arasındaki farklar ile bu farklara ait farklar ortalaması (\bar{V}) ve standart sapma (S) hesaplanmış; Farklara \bar{V} Kare, çarpıklık ve basıklık, Mann-Wald ve Kolmogorow-Simirnow testleri uygulanmış, \bar{V} ve S değerleri ise F-testi, T-testi ve Bartlett testlerine tabi tutulmuşlardır.



Şekil-5.1. Sayısal uygulamalarda genel iş akışı

5.2. Sayısal Uygulama Sonuçlarının İrdelenmesi

I. Bölge: Ek - 1 de görülen bölgede 459 test noktası vardır. Bu bölgede ilk olarak 155 dayanak noktası kullanılarak, test noktalarının yükseklikleri ve bu noktalarda oluşan farklar belirlenmiştir. Elde edilen farkların ortalaması (\bar{V}) ve standart sapmanın (S, hesaplanan bir yüksekliğin karesel ortalama hatası) oldukça büyük olduğu, farkların da normal dağılımda olmadığı görülmüştür.

Bunun üzerine örnekleme yoğunluğu artırılarak 172 dayanak noktasıyla enterpolasyon yapılmış, farkların yine normal dağılımda olmadığı, \bar{V} ve S değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Her iki örnekleme yoğunluğu için bulunan sonuçlar incelendiğinde, ek-1 de görülen şev bölgesi civarında (Şevin alt ve üst kısmında 7-8 m ye varan yükseklik farkları mevcut) büyük olduğu gözlenmiş, bu nedenle şev kenarlarında nokta sıklığı artırılarak, I.bölgede son olarak 194 dayanak noktasıyla enterpolasyon yapılmış, \bar{V} ve S değerlerinin azalması ve farkların normal dağılımda çıkmasına karşın, sözkonusu bölgede halâ büyük farklara rastlanmıştır.

Bu bölgede yapılan testlerden,

- Farklı Nokta sıklıklarında duyarlığın farklı olduğu, başka deyişle dayanak noktası sayısı arttıkça duyarlığın arttığı,

- Farklar ortalamasının, her üç nokta sıklığı için de "sıfır" kabul edilemeyeceği ve bu ortalamaya göre multi-kuadrik yüzeyin gerçek yüzeyden daha alçak olduğu,

- 1. veya 2. derece trend yüzeyi kullanılmasının sonuçların duyarlığı üzerine etkisi olmadığı, yani her iki durumda elde edilen sonuçların duyarlıkça eşdeğer olduğu anlaşılmıştır.

Şev Bölgesi

Farkların büyük değerlere ulaştığı bu kısımda, sadece şev civarındaki dayanak noktaları kullanılarak bir enterpolasyon

yapılmış ve farklarda, I.bölgedeki duruma göre azalma olup olmadığı gözlenmiş, sonuçta değişim olmadığı görülmüştür. Sadece bu bölgeye ait \bar{V} ve S değerlerinin oldukça büyük olması dolayısıyla, bu bölgedeki farkların I.bölgede elde edilen sonuçları olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır. Bu durumda I.bölgede yapılan uygulamalara göre doğru karar verilemeyeceği düşüncesiyle, sözkonusu şev civarı dışarıda tutularak II. bölge oluşturulmuş ve sayısal uygulamalara bu bölgede devam edilmiştir.

II. Bölge

Bu bölgede dört farklı Nokta sıklığı (116, 129, 138, 142 dayanak noktası) için multiküadrik enterpolasyon uygulanmıştır. Bölgede test noktası sayısı 340'dır.

I. bölgenin 155 noktalı durumuna karşılık gelen 116 dayanak noktası ile enterpolasyon sonucunda oluşan farklar dışında, diğer üç durumda elde edilen farkların normal dağılımda olduğu anlaşılmıştır. Birbirine çok yakın, hatta I.bölgede daha küçük olan, ortalama en yakın komşu nokta uzaklıklarına karşılık, II.bölgede çok daha iyi \bar{V} ve S değerleri elde edilmiştir.

I. bölgede 194 nokta için ulaşılan 12.47 m.lik ortalama en yakın komşu nokta uzaklığına yakın bir değerle, bu bölgede elde edilecek sonuçları görmek amacıyla, son bir sıklaştırma ile dayanak noktası sayısı 142'ye çıkarıldığında (ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı 13.10 m) en iyi sonuçlar, 2.derece trend yüzeyi ile elde edilmiştir ($\bar{V} = -0.004$ m, $s = \pm 0.182$ m).

Bu bölgede yapılan testlerden,

- Üç ayrı nokta sıklığı için bulunan sonuçların duyarlılık yönünden farklı olduğu, nokta sıklığı arttıkça duyarlılığın da arttığı,

- 116 nokta dışında, diğer üç nokta sıklığı için bulunan farklar ortalamasının "Sıfır" kabul edilebileceği,

- Trend derecesinin sonuçların duyarlılığına fazla et-

kisi olmadığı, yani farklı trend dereceleriyle elde edilen sonuçların duyarlıkça eşdeğer olduğu anlaşılmıştır

III. Bölge

SYM'ye konu olacak bir alanda, birtakım yerlerin -burada sözkonusu olan şev bölgesi- dışarıda tutularak enterpolasyon yapılması tabi ki çözüm olamaz. Çünkü SYM tüm alan için sözkonusudur. Bu durumda nasıl bir çözüm uygulanabilir?

Çözüm için şev bölgelerinin sınırları itibarıyla alt bölgelere ayrılarak, her bölge için ayrı bir enterpolasyon uygulanması düşünülmüş, bu amaçla III. bölge oluşturulmuştur. Test noktası sayısı 235'tir.

III. bölgede ilk olarak I.bölgenin 155 noktalı durumuna karşılık (değişik herhangi bir sıklaştırma yapılmadan ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı 14.80 m) 77 dayanak noktası ile bir enterpolasyon yapılmış, I. bölgeye göre, \bar{V} değerinde 6-7 cm, S değerinde de 10 cm'ye varan düşüşler ve şev civarındaki büyük farklarda azalmalar görülmüştür. Ayrıca I.bölgedeki eşdeğer durumun aksine olarak farklar normal dağılımlı bulunmuştur.

İkinci adımda dayanak noktası sayısı 96'ya çıkarılmış (I.bölgenin 194 noktalı durumuna karşılık gelmektedir ve ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı 12.87 m'dir) S değerinde 2 cm, V değerinde de 3 cm azalma olduğu görülmüştür. Yapılan F-testi ile bulunan sonuçların, I.bölgede elde edilen sonuçlardan duyarlıkça farklı olduğu, t-testi ile 77 ve 96 dayanak noktası için \bar{V} değerlerinin "sıfır" kabul edilebileceği yani III. bölgede, multikuadrik yüzeyin, I.bölgeye göre gerçek yüzeye daha iyi uyum sağladığı, kısaca III. bölgede elde edilen yüksekliklerin daha duyarlı olduğu anlaşılmıştır.

Bu durumda, modeldeki gibi, alt ve üst kısımları arasında büyük sayılabilecek yükseklik farklarının bulunduğu şevleri içeren alanlarda, bölgenin tümü için multikuadrik enterpolasyon uygulamak yerine, şev sınırları itibarıyla, esas

alanın alt bölgelere ayrılarak her bir alt bölgeye ayrı ayrı multikvadrik enterpolasyon uygulanmasının daha duyarlı sonuçlar vereceğinden daha uygun olduğu söylenebilir.

Bu bölgede bazı sıklaştırmalarla dayanak noktası sayısı 102'ye çıkarılmış, 12.63 m'lik ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı ve 1. derece trend yüzeyiyle en iyi sonuç olarak,

$\bar{V} = -0.009$ ve $S = \pm 0.202$ m değerleri elde edilmiştir.

Sayısal uygulamalarda son olarak, model şev kenarları dikkate alınarak 4 alt bölgeye ayrılmış ve multikvadrik enterpolasyonla, grid ağı köşe noktalarının yükseklikleri hesaplanarak, modelin eşyükseklik eğrileri çizilmiştir.

5.3. Sayısal Uygulama Sonuçları

Bu kısımda yapılan sayısal uygulamalar ve testler ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Kullanılan büyüklükler aşağıda açıklanmıştır.

Farklar ortalaması : \bar{v}

Standart sapma : s

(Enterpolasyonla bulunan bir yüksekliğin ortalama hatası)

Histogramlarda kullanılan semboller:

v : Farklar (test noktalarının bilinen yükseklikleriyle, enterpolasyonla bulunan yüksekliklerin farkı)

n : Yineleme sayısı (Yığılmalar)

5.3.1. I. Bölge

1. nokta sıklığı :

Dayanak noktası sayısı: 155

Ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı: 14.03 m

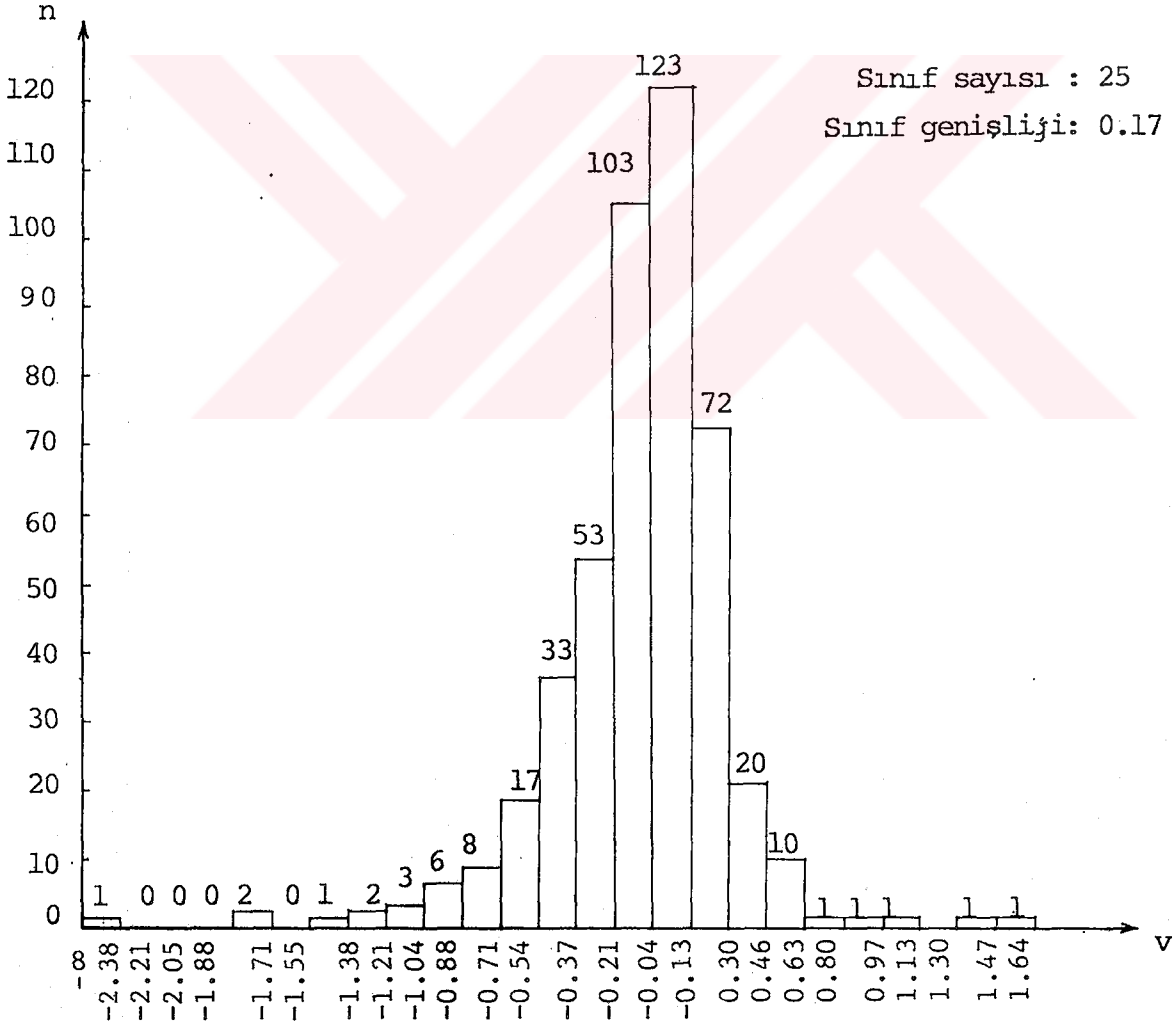
Trend derecesi : 1 için, \bar{v} : - 0.082 m

s : \pm 0.375 m

trend derecesi : 2 için, \bar{v} : - 0.086 m

s : \pm 0.375 m

*Her iki durum için de farklar normal dağılımda değil dağılım sivri



Şekil- 5.2 155 Nokta için Farkların Histogramı

2. nokta sıklığı

Dayanak noktası sayısı : 172

Ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı : 13.52 m

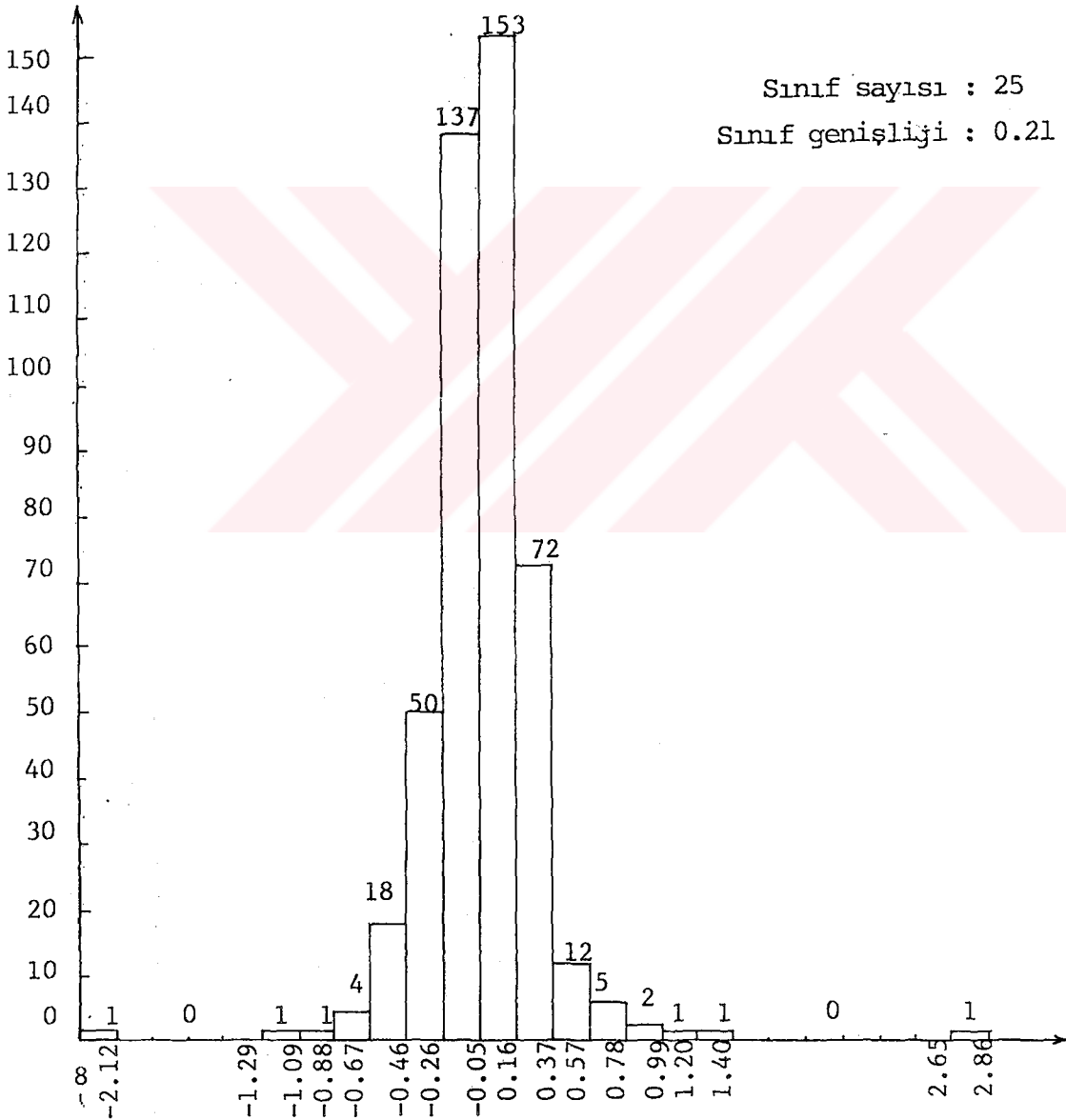
Trend derecesi : 1 için, \bar{v} : - 0.033 m

s : ± 0.321 m

trend derecesi : 2 için, \bar{v} : - 0.036 m

s : ± 0.320 m

*farklar, her iki durum için de normal dağılımda değil,
dağılım sivri



Şekil - 5.3 172 Nokta için farkların dağılımı

3. Nokta Sıklığı

Dayanak noktası sayısı : 194

ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı : 12.47 m

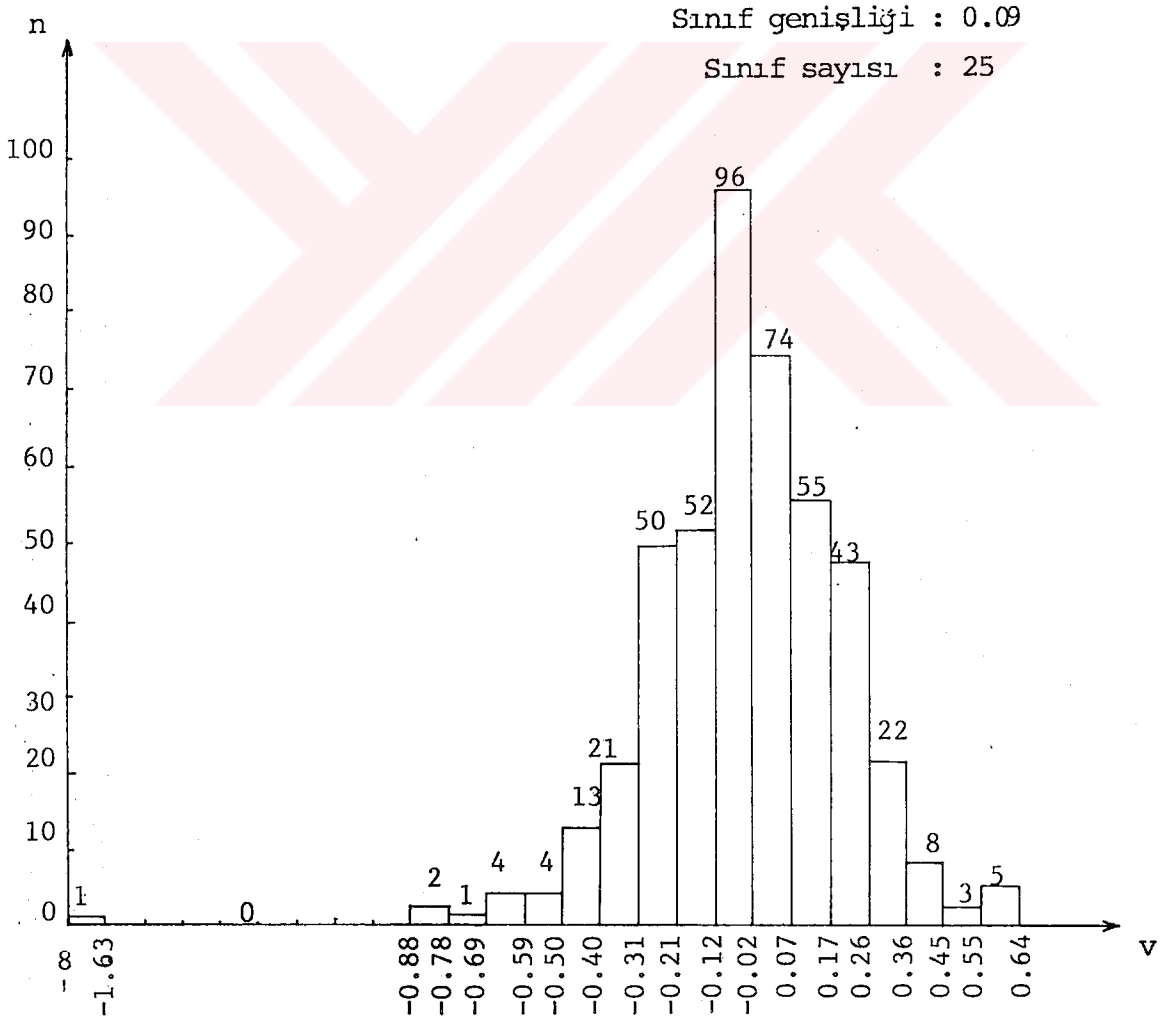
trend derecesi : 1 için, \bar{v} : - 0,038 m

s : \pm 0.240 m

trend derecesi : 2 için, \bar{v} : - 0.041 m

s : \pm 0.239 m

* Testler, her iki durum için farkların normal dağılımında olduğunu göstermiştir. Ancak dağılımda sivrilik mevcut



Şekil - 5.4 194 nokta için farkların dağılımı

I. BÖLGE İÇİN BAZI TESTLER

- İki ayrı örnekleme sıklığı için, standart sapmaların eşdeğerliğinin testi

İki standart sapmanın eşdeğerlilik testi (F-testi) aşağıdaki gibi uygulanır:

s_1, f_1 : Birinci grubun standart sapma ve serbestlik derecesi

s_2, f_2 : İkinci grubun standart sapma ve serbestlik derecesi

$$E\{s_1^2\} = \sigma_1^2 \quad \text{DeneySEL varyansların ümit değerleri}$$

$$E\{s_2^2\} = \sigma_2^2$$

$$H_0 : \sigma_1 = \sigma_2 \quad \text{hipotezler}$$

$$H_s : \sigma_1 \neq \sigma_2$$

$$V = \frac{s_1^2}{s_2^2} : \text{test büyüklüğü}$$

H_0 hipotezinin geçerli olduğu durumda V değeri F-dağılımındadır. F- dağılımının tablo değerleri (1) den büyük değerler için düzenlendiğinden deneysel varyansların büyük olanı paya yazılır.

$$q = F_{f_1, f_2, 1 - \frac{\alpha}{2}} : \text{sınır değer}$$

q değeri, payın serbestlik derecesi f_1 , paydanınki f_2 olmak üzere, α -yanıma olasılığı için F dağılımı tablolarından alınır.

$V \leq q$ ise standart sapmalar eşdeğerdir

$V > q$ ise standart sapmalar eşdeğer değildir.

155 ve 194 nokta için bu test uygulanırsa:

$$s_1 = 0.375$$

$$s_2 = 0.240$$

$$f_1 = f_2 = 458$$

$$V = 2.44$$

$$q_{\infty, \infty, 0.975} = 1$$

$V > q$ olduğundan, standart sapmalar eşdeğer kabul edilemez. Yani her iki örnekleme sıklığı ile bulunan sonuçlar duyarlık yönünden birbirinden farklıdır.

Aynı yolla, trend derecesinin duyarlılığa etkisi araştırılabilir:

Yukarıdaki test bu kez aynı örnekleme sıklığında, iki ayrı trend için elde edilen standart sapmaların testi şeklinde uygulanır.

Dayanak noktası sayısı: 194

trend derecesi: 1 için, $s_1 = 0.240$

trend derecesi: 2 için, $s_2 = 0.239$

$$V = 1$$

$$q_{\infty, \infty, 0.975} = 1$$

$V = q$ olduğundan her iki durumda elde edilen standart sapmalar eşdeğer kabul edilebilir. Buradan trend derecesinin duyarlık üzerinde etkili olmadığı söylenebilir. Başka deyişle, 1 veya 2. derece trend kullanarak uygulanan multikuadrik enterpolasyonlar arasında fark yoktur.

* Farklar ortalamasının sıfırdan farklı olup olmadığının testi (t-testi) :

grid noktası sayısı : n

farklar ortalaması : \bar{v}

standart sapma : s

\bar{v} 'nin ortalama hatası: s_v

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

$$T = \frac{\bar{v} - \mu}{s_v} \quad : \text{ test büyüklüğü}$$

$q_{f, 1-\frac{\alpha}{2}}$ sınır değeri; f ve $1-\frac{\alpha}{2}$ için t-dağılım tablolarından alınır.

$$\left. \begin{array}{l} H_0 : \mu = 0 \\ H_s : \mu \neq 0 \end{array} \right\} \text{ hipotezler}$$

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

* $T > q$ ise H_0 hipotezi geçersizdir, yani farklar ortalaması sıfırdan farklıdır.

İki ayrı örnekleme sıklığı için testin uygulanması:

* Dayanak noktası sayısı: 155

$$\bar{v} = -0.082$$

$$s = \pm 0.375$$

$$s_v = \frac{0.375}{\sqrt{459}} = 0.018$$

$$T = \frac{0.082-0}{0.018} = 4.56$$

$$f = 459-1 = 458$$

$$\alpha = 0.05, \quad 1-\frac{\alpha}{2} = 0.975$$

$$q_{458, 0.975} = q_{\infty, 0.975} = 1.96$$

$T > q$ olduğundan farklar ortalaması "sıfır" kabul edilemez. Dolayısıyla her iki örnekleme sıklığı için de multikuadrik yüzey, gerçek yüzeyden daha alçak bir yüzey temsil etmektedir.

5.3.2. Şev Bölgesi

Ek - 1 de görülen bölgede yapılan uygulamalar sonucunda,

* I. Bölgenin 155 noktalı durumuna karşılık

$$\bar{v} = -0,165 \text{ m}$$

$$s = \pm 0.719 \text{ m}$$

* I. Bölgenin 194 noktalı durumuna karşılık

$$\bar{v} = - 0.075 \text{ m}$$

$$s = \pm 0.351 \text{ m}$$

Değerleri elde edilmiştir Sonuçta bu bölgeye ait farkların I. bölgede elde edilen \bar{v} ve s değerleri üzerinde olumsuz bir katkısı olduğu anlaşılmıştır.

5.3.3. II. Bölge

1. nokta sıklığı :

Dayanak noktası sayısı : 116

Test noktası sayısı : 340

ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı : 14.18 m

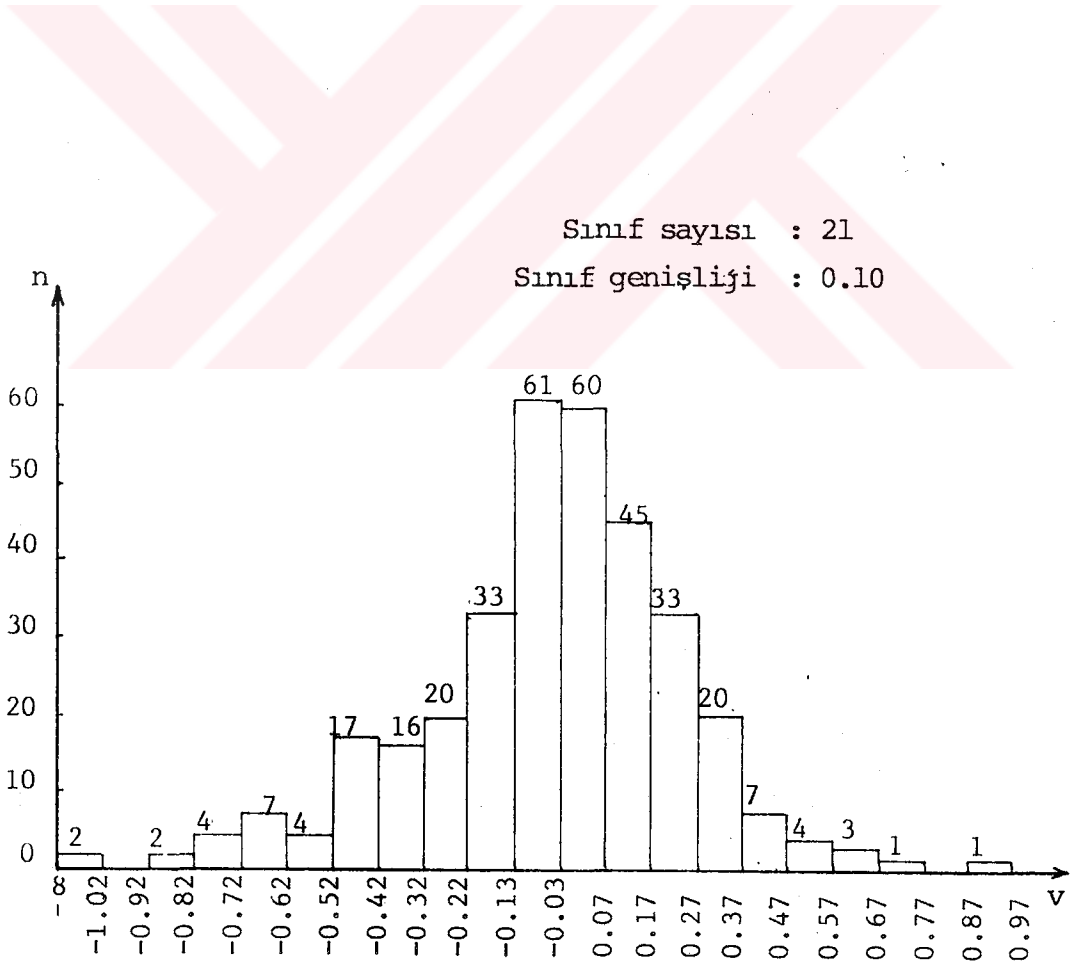
trend derecesi : 1 için $\bar{v} = - 0.044$ m

$s = \pm 0.284$ m

trend derecesi : 2 için, $\bar{v} = - 0.028$ m

$s = \pm 0.288$ m

* Farklar normal dağılımda değil.



Şekil - 5. 5 116 Nokta için farkların histogramı

2. Nokta Sıklığı :

dayanak noktası sayısı : 129

test noktası sayısı : 340

Ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı: 13.58 m

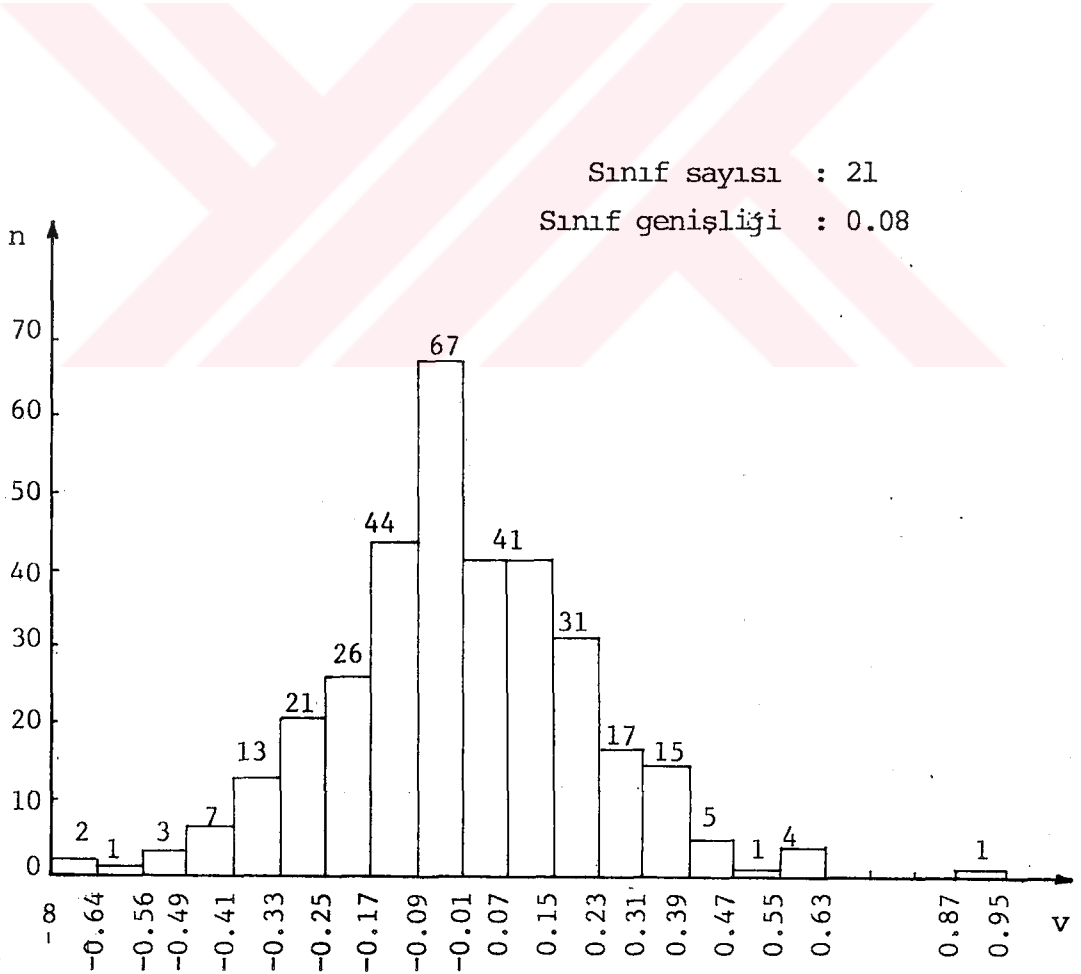
trend derecesi: 1 için $\bar{v} = - 0.012$ m

$s = \pm 0.22$ m

trend derecesi: 2 için, $\bar{v} = - 0.009$ m

$s = \pm 0.221$ m

* Farklar normal dağılımda; ancak dağılım sivrilik gösteriyor.



Şekil - 5.6 129 Nokta için farkların dağılımı

3. Nokta sıklığı:

dayanak noktası sayısı: 138

test noktası sayısı : 340

ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı: 13.31 m

trend derecesi: 1 için, $\bar{v} = - 0.014$ m

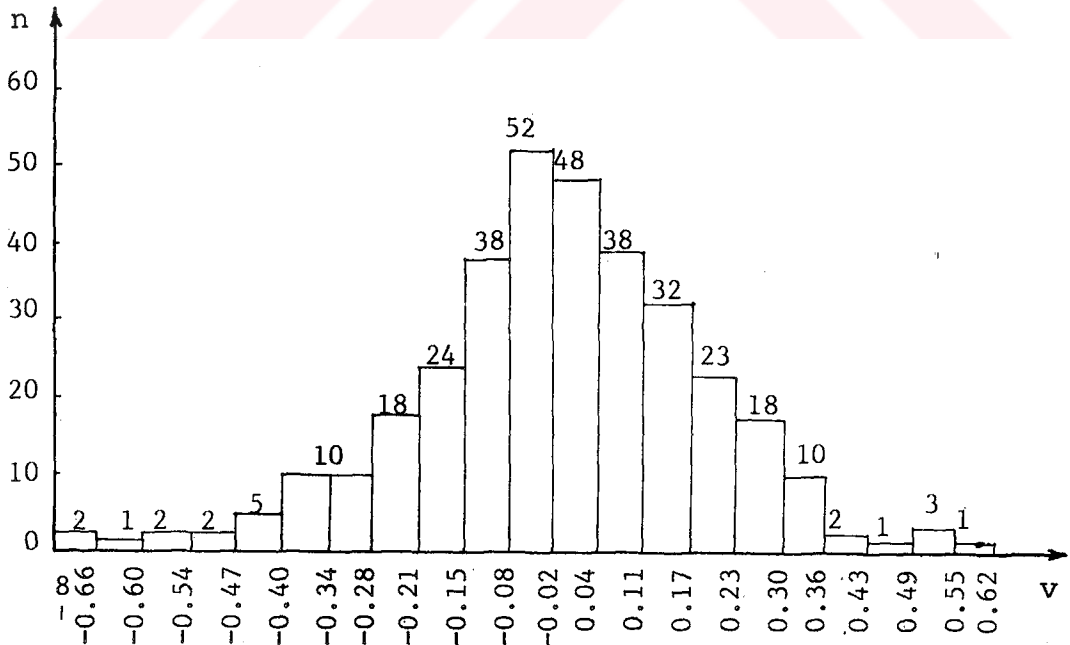
$s = \pm 0.201$ m

trend derecesi: 2 için, $\bar{v} = - 0.011$ m

$s = \pm 0.202$ m

* Farklar normal dağılımda; ancak dağılım sivrilik gösteriyor

Sınıf sayısı : 21
Sınıf genişliği : 0.06



Şekil - 5.7 138 Nokta için farkların dağılımı

4. Nokta sıklığı :

Dayanak noktası sayısı: 142

test noktası sayısı : 340

ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı: 13.10 m

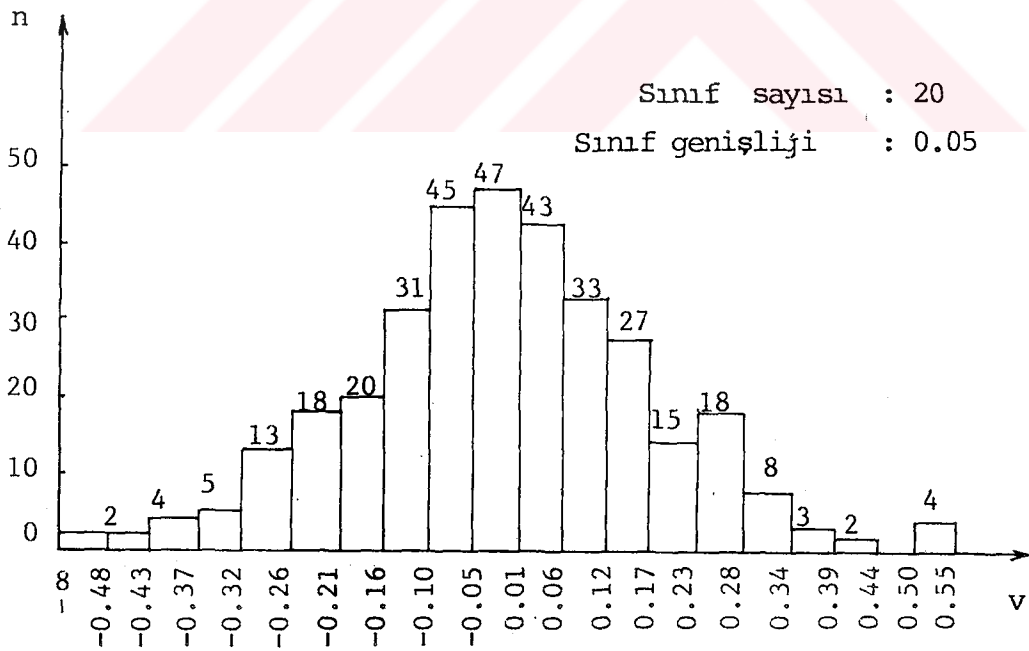
trend derecesi: 1 için, $\bar{v} = - 0.007$ m

$s = \pm 0.182$ m

trend derecesi: 2 için, $\bar{v} = - 0.004$ m

$s = \pm 0.182$ m

* Farklar her iki durumda da normal dağılımda. Çarpıklık ve basıklık yok.



Şekil - 5. 8 142 Nokta için farkların dağılımı

II. Bölgede bazı testler

* Üç ayrı örnekleme sıklığı için duyarlılığın eşdeğerlik testi(Barlett testi):

Burada üç standart sapmanın eşdeğerlilik testi sözkonusudur. Bu test aşağıdaki gibi uygulanır:

m = denetlenecek standart sapma adedi

$s_1, s_2 \dots s_m$: standart sapmalar

$f_1, f_2 \dots f_m$: serbestlik dereceleri

$$f_0 = [f] = f_1 + f_2 + \dots + f_m$$

$$s_0^2 = \frac{1}{f_0} (f_1 s_1^2 + f_2 s_2^2 + \dots + f_m s_m^2)$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(m-1)} \left\{ \left| \frac{1}{f} \right|, - \frac{1}{f_0} \right\}$$

$$B = \frac{1}{C} \{ f_0 \cdot \ln(s_0^2) - [f \cdot \ln(s_i^2)] \} \quad \text{test büyüklüğü}$$

$$q = \chi_{m-1}^2, 1-\alpha \quad : \text{sınır değeri; } \chi^2 \text{ dağılım tablolarından alınır.}$$

$$H_0 : \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_m = \sigma_0 \quad \text{hipotezler}$$

$$H_s : \sigma_k \neq \sigma_0 \quad (\text{en az bir } k \text{ için})$$

$B \leq q$ ise H_0 hipotezi geçersiz sayılamaz; karşılaştırılan standart sapmalar eşdeğerdir. $B > q$ ise H_0 hipotezi geçersiz, H_s hipotezi geçerlidir. Karşılaştırılan standart sapmalar eşdeğer değildir.

test noktası sayısı: 340

$m = 3$

$$\begin{aligned} 129 \text{ nokta için } s_1 &= \pm 0.220 & , f_1 &= 339 \\ 138 \text{ nokta için } s_2 &= \pm 0.201 & , f_2 &= 339 \\ 142 \text{ nokta için } s_3 &= \pm 0.182 & , f_3 &= 339 \end{aligned}$$

$$f_o = 1017$$

$$s_o^2 = 0.0406$$

$$C = 1.001$$

$$B = 12.11$$

$$q_{2,0.95} = 5.991$$

$B > q$ olduğundan üç farklı örnekleme sıklığı için bulunmuş olan standart sapmalar eşdeğer kabul edilemez. Yani her üç örnekleme sıklığı için elde edilen sonuçlar duyarlık yönünden farklıdır. Buradan dayanak noktası sayısının duyarlık üzerinde etkili olduğu, başka deyişle dayanak noktası sayısı arttıkça duyarlığın arttığı söylenebilir.

- Farklar ortalamasının "sıfır" olup olmadığının testi

116 nokta için

$$\bar{v} = - 0.044 \text{ m}$$

$$s = \pm 0.284 \text{ m}$$

$$S_v = \frac{0.284}{\sqrt{340}} = 0.015$$

$$T = \frac{0.044-0}{0.015} = 2.93$$

$$q_{\infty, 0.975} = 1.96$$

$T > q$ olduğundan bu örnekleme yoğunluğunda farklar ortalaması sıfırdan farklıdır.

* 138 nokta için

$$\bar{v} = - 0.014 \text{ m}$$

$$s = \pm 0.201 \text{ m}$$

$$S_v = \frac{0.201}{\sqrt{340}} = 0.011$$

$$T = \frac{0.014}{0.011} = 1.28$$

$$q_{\infty, 0.975} = 1.96$$

$T < q$ olduğundan bu örnekleme sıklığı için farklar ortalaması sıfır kabul edilebilir.

* 142 nokta için:

$$\bar{v} = - 0.007 \text{ m}$$

$$s = \pm 0.182 \text{ m}$$

$$S_v = \frac{0.182}{\sqrt{340}} = 0.01$$

$$T = \frac{0.007-0}{0.01} = 0.71 \quad , \quad q_{\infty, 0.975} = 1.96$$

$T < q$ olduğundan farklar ortalaması sıfır kabul edilebilir.

Bu testlerden çıkan sonuç şudur:

Örnekleme yoğunluğu arttıkça multikuadrik yüzeyin, gerçek yüzeyi temsil gücü artmaktadır. Başka deyişle, dayanak noktası sayısı arttıkça, multikuadrik yüzey gerçek yüzeye daha iyi uyum sağlamaktadır.

Ayrıca trend derecesinin 1 ve 2 olduğu durumlardaki standart sapmaların eşdeğerliği test edilebilir. Fakat standart sapmalar incelendiğinde aralarında pek fark olmadığı, hatta 142 nokta için 1 ve 2.derece terendler için bulunan standart sapmaların birbirine eşit olduğu görülmektedir.

Bu durumda test yapmaya gerek yoktur. Bu durumda 1 ya da 2.

derece trend yüzeyi kullanmanın duyarlık üzerinde etkisi olmadığı söylenebilir. Bununla birlikte 129, 138 ve 142 nokta için farklar ortalamalarına bakıldığında, 2. derece trendler için bulunan değerlerin sifira daha yakın değerler oldukları görülmektedir. Fakat her durumda multikuadrik yüzey, gerçek yüzeyden daha alçak bir yüzeyi temsil etmektedir.



5.3.4. III. BÖLGE

1. Nokta Sıklığı :

Dayanak noktası sayısı : 77

test noktası sayısı : 235

ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı: 14.80 m

trend derecesi: 1 için, $\bar{v} = - 0.015$ m

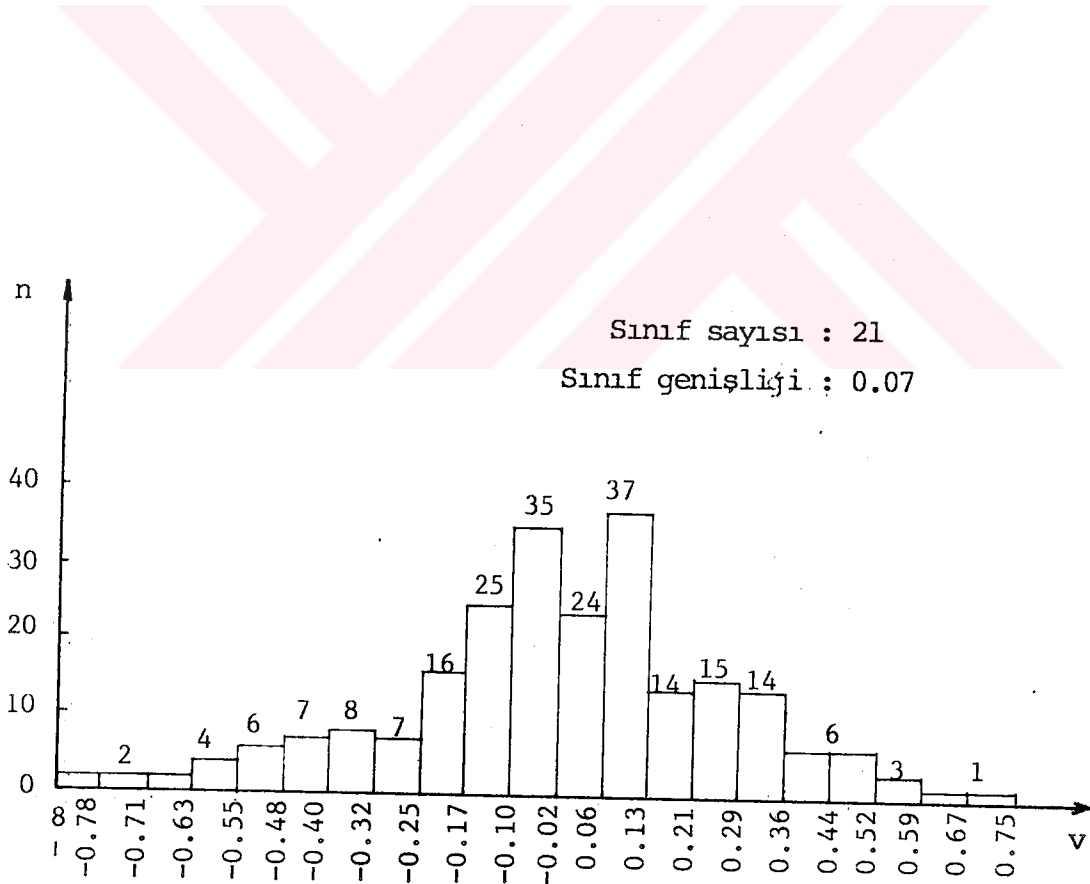
$s = \pm 0.277$ m

trend derecesi: 2 için, $\bar{v} = 0.057$ m

$s = \pm 0.263$ m

Her iki durumda da farklar normal dağılımda.

Çarpıklık ve basıklık yok.



Şekil - 5.9 77 Nokta için farkların dağılımı

2. Nokta sıklığı

Dayanak noktası sayısı: 96

test noktası sayısı : 235

ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı: 12.87 m

trend derecesi: 1 için, $\bar{v} = +0.014$ m

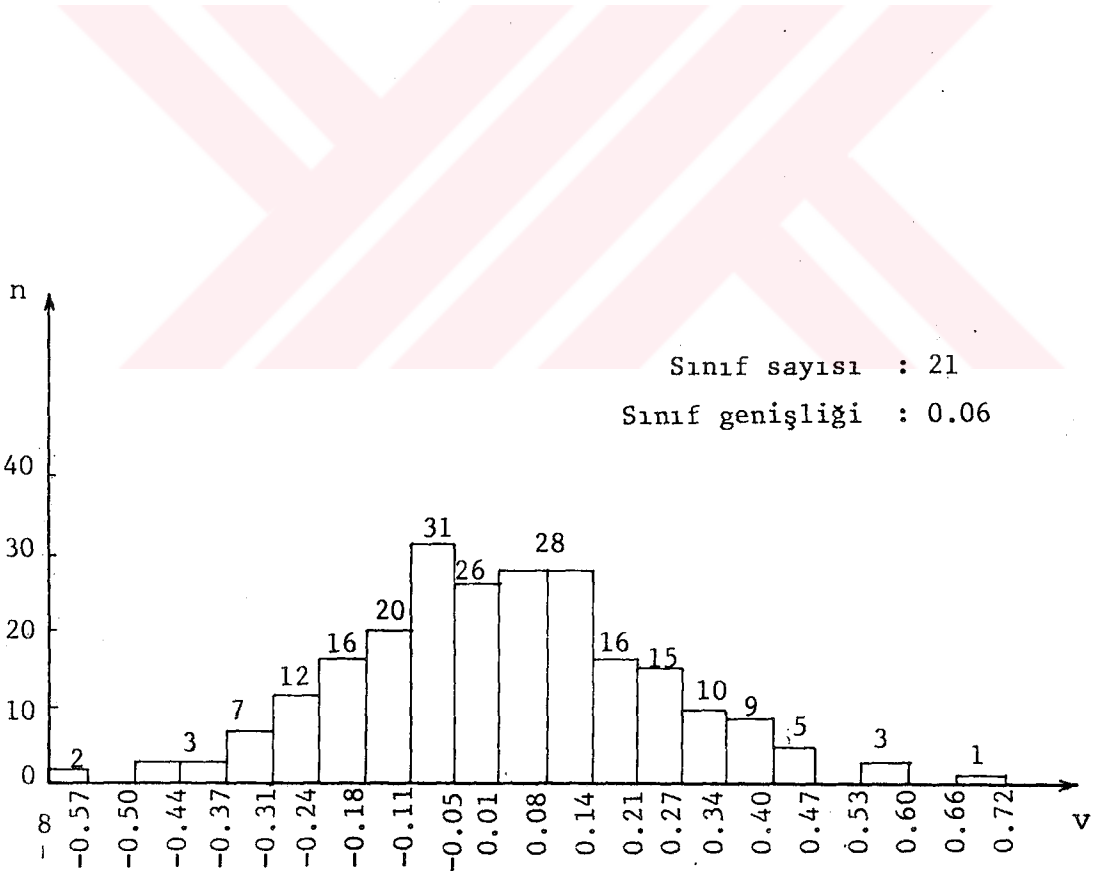
s = ± 0.22 m

trend derecesi: 2 için, $\bar{v} = +0.049$ m

s = ± 0.223 m

* Farklar normal dağılımda.

Çarpıklık ve basıklık yok.



Şekil - 5.10 96 Nokta için farkların dağılımı

Bu örnekleme sıklığı I. bölgedeki 194 noktalı duruma karşılık gelmektedir. İki durum arasında bir duyarlık araştırması yapılabilir.

Trend derecesi: 1 iken

$$\text{I. bölge, 194 nokta} \longrightarrow s_1 = \pm 0.24 \text{ m}$$

$$\text{III. bölge, 96 nokta} \longrightarrow s_2 = \pm 0.22 \text{ m}$$

$$V = \frac{s_1^2}{s_2^2} = 1.19$$

$$q = F_{f_1, f_2, 1-\frac{\alpha}{2}} = F_{458, 234, 0.975} = 1$$

$V > q$ olduğundan iki durumda elde edilen sonuçlar duyarlık yönünden farklıdır. Dolayısıyla III. bölgede elde edilen sonuçlar daha duyarlıdır.

* Bu örnekleme sıklığında farkların sifıra eşdeğer olup olmadığının testi.

trend derecesi : 1

$$\bar{v} = 0.014$$

$$s = 0.22$$

$$n = 235$$

$$s_v = \frac{0.22}{\sqrt{235}} = 0.014$$

$$V = \frac{0.014-0}{0.014} = 1$$

$$q_{\infty, 0.975} = 1.96$$

$V < q$ olduğundan farklar ortalaması sıfır kabul edilebilir. Oysa I. bölge 194 nokta için farklar ortalamasının sıfır kabul edilemeyeceği görülmüştü.

3. nokta sıklığı

Dayanak noktası sayısı : 102

test noktası sayısı : 235

Ortalama en yakın komşu nokta uzaklığı: 12.63 m

trend derecesi: 1 için, $\bar{v} = - 0.009$

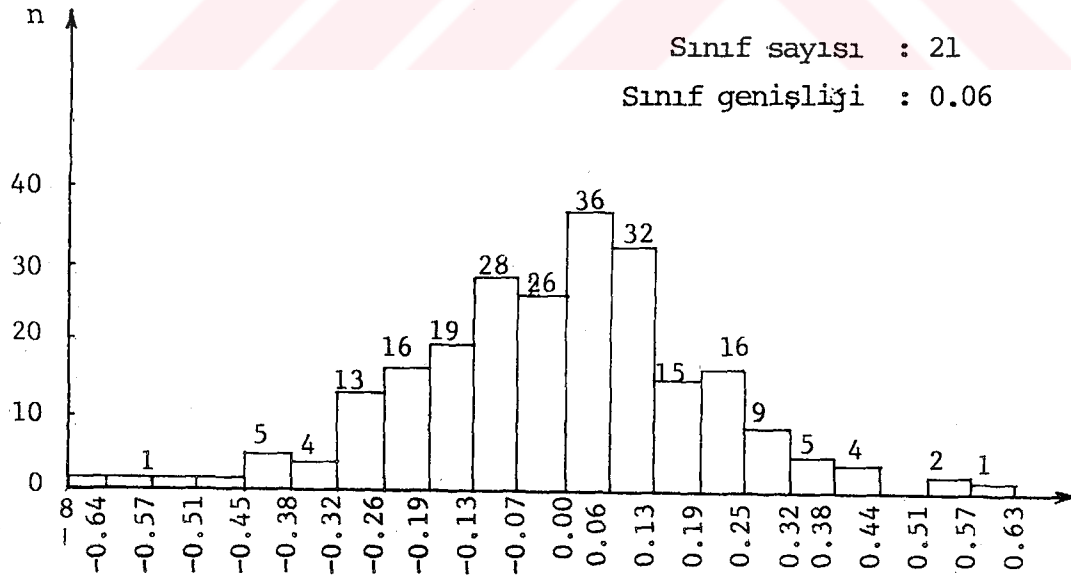
$s = \pm 0.202$

trend derecesi: 2 için, $\bar{v} = 0.024$

$s = \pm 0.207$

*Farklar normal dağılımda .

Çarpıklık ve basıklık yok.



Şekil - 5.11 102 Nokta için farkların dağılımı

III. Bölgede Farklar ortalamasının testi

77 dayanak noktası için:

$$\bar{v} = - 0.015$$

$$s = \pm 0.277$$

$$s_v = \frac{0.277}{\sqrt{235}} = 0.018$$

$$T = \frac{0.015-0}{0.018} = 0.83$$

$$f = 235-1 = 234 \quad , \quad \alpha = 0.05 \longrightarrow 1 - \frac{\alpha}{2} = 0.975$$

$$q_f, 1 - \frac{\alpha}{2} = q_{\infty, 0.975} = 1.96$$

T < q olduğundan farklar ortalaması sıfır kabul edilebilir.

* 102 dayanak noktası için:

$$\bar{v} = -0.009$$

$$s = \pm 0.202$$

$$s_v = 0.013$$

$$T = 0.009/0.013 = 0.68$$

$$q_{\infty, 0.975} = 1.96$$

T < q olduğundan bu örnekleme sıklığı için de farklar ortalaması sıfır kabul edilebilir.

5.4. Multikuadrik Enterpolasyonla Bulunmuş Olan Yüksekliklere
Göre Eşyükseklik Eğrilerinin Çizimi

Deneyisel çalışmaların bu son safhasında, uygulama bölgesi şev sınırlarına göre dört alt bölgeye ayrılarak her bir alt bölgede ayrı bir multikuadrik enterpolasyon uygulanmış, bulunan grid köşe yüksekliklerine göre, doğrusal enterpolasyonla uygulama alanının eşyükseklik eğrileri astrolon bir altlığa çizilmiştir (ek - 2).

Elde edilen harita, daha önce dayanak noktalarına göre çizilmiş olan harita ile karşılaştırılmış ve her iki haritanın da temsil ettikleri topografik yapının eşdeğer olduğu görülmüştür.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilgisayar destekli haritacılık çalışmaları için, gerekli donanım ve yazılımlar yanında, araziye ait bir veri tabanı ya da bilgi bankasının oluşturulması kaçınılmazdır. Bu zorunluluk çok küçük sayılabilecek bir alanda yapılan bu çalışmada bile kendini hissettirmiştir.

Beşinci bölümde geniş olarak gösterilmiş olan sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir :

- Farklı nokta sıklıkları için elde edilen sonuçlar duyarlıkça birbirinden farklıdır. Nokta sıklığı arttıkça, multiküadrik yüzey topografik yüzeye daha iyi uyum sağlamaktadır. Bununla birlikte multiküadrik yüzey ortalama olarak, çoğunlukla, topografik yüzeyden daha alçak bir yüzeyi temsil etmektedir.

- Şevlerin bulunduğu alanlarda, şev sınırları itibariyle oluşturulacak alt bölgelere parça parça enterpolasyon uygulamak suretiyle elde edilen sonuçların, tüm bölge için tek bir enterpolasyon uygulayarak bulunan sonuçlardan daha duyarlı olduğu görülmüştür.

- Trend derecesinin duyarlık üzerinde etkisi olmamaktadır. Başka bir ifadeyle, farklı trend dereceleri kullanılarak elde edilen sonuçlar duyarlıkça eşdeğerdir.

- Deneysel çalışmalarda en iyi sonuç $v : -0.004$ m, $s : 0.182$ m olarak, 13.10 m lik ortalama en yakın komşu nokta uzaklığına karşılık elde edilmiştir.

- Yöntemin algoritması gereği ters matris hesabı yapıldığından, dayanak noktası sayısı arttıkça hesaplama zamanı da katlanarak artmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan şekliyle - rasgele ve aynı zamanda arazinin morfolojik çizgi ve noktalarında seçilecek dayanak noktaları kullanılarak - ve deneysel çalışmalar sonucu verilmiş olan değişik nokta sıklıklarına karşılık gelen duyarlıklar çerçevesinde , sayısal yükseklik modeli için, multiküadrik enterpolasyon yönteminin rahatlıkla kullanılabileceğini söylemek mümkündür. Ancak burada şöyle bir öneride

bulunmak yerinde olacaktır :

Sayısal yükseklik modeline konu olan arazide alt ve üst kısımları arasında oldukça büyük yükseklik farklarının bulunduğu şevler mevcut ise, arazinin tümü için tek bir enterpolasyon uygulamak yerine, şev sınırları itibariyle oluşturulacak alt bölgelerin herbiri için ayrı bir enterpolasyon uygulamak, duyarlılık açısından daha uygun olacaktır. Burada tek sorun, hangi alt bölgede hangi dayanak noktalarının enterpolasyona gireceğinin belirlenmesidir. Bunun için, alt bölgelerin önceden belirlenerek her bir bölgeye ait ayrı bir veri grubunun oluşturulması gerekir. Böylelikle hangi bölgede çalışılıyorsa, sadece o bölgeye ait dayanak noktalarının enterpolasyonda kullanılması sağlanmış olacaktır.



KAYNAKLAR

- Aksoy, A. (1974). Matematik istatistik yöntemlerle jeodezik ölçülerin irdelenmesi, İ.T.Ü. yayını, İstanbul, 74 s.
- Aydemir, S. (1982). Sayısal arazi modelleri ve enterpolasyon yöntemlerinin doğruluğu, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Trabzon, 215 s.
- Güler, A. (1978). Sayısal arazi modellerinde enterpolasyon yöntemleri, Harita Dergisi, no.85, s.53-69.
- Güler, A. (1983). Sayısal arazi modelinde iki enterpolasyon yöntemi ile denemeler, K.Ü. Araştırma ve inceleme yayınları dizisi no.22 Trabzon, 22 s.
- Güler, A. (1986). Sayısal arazi modelleri, Yüksek Lisans Ders Notları (yayımlanmadı), K.T.Ü., Trabzon.
- Hardy, R. (1971). Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces, Journal of Geophysical Research, no.8, s.1905-1915
- Hardy, R. (1974). Research results in the application of multiquadric equations to surveying and mapping problems, XIV th Congress International Federation of surveyors (FIG), September 7-16, Washington, s.1-13.
- Koçak, E. (1985). Bilgisayar destekli kartoğrafya, Yüksek Lisans Ders Notları, (yayımlanmadı), K.T.Ü., Trabzon.
- Koyuncu, D. (1981). Sayısal arazi modelleri, Harita Dergisi, no.87, s.51-61.
- Makarovic, B. (1976). Digital terrain model system, ITC Journal 1976/1 Enschede, s.57-83.
- Öztürk, E. (1986). Test yöntemleri (yayımlanmadı), Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü eğitim semineri, Ankara.
- Schut, G.H. (1986). Review of interpolation methods for digital terrain models, The Canadian Surveyor, no.5, s.390-412.
- Stefanovic, P., Radwan, M.M., Trempfli, K. (1977). Digital terrain models, data acquisition and applications, ITC Journal, 1977/1 Enschede, s.61-76.

EKLER

Ek - 1 :

- I. Bölge (Uygulama bölgesinin ilk durumu)
- Şev Bölgesi
- II. Bölge
- III. Bölge

Ek - 2 :

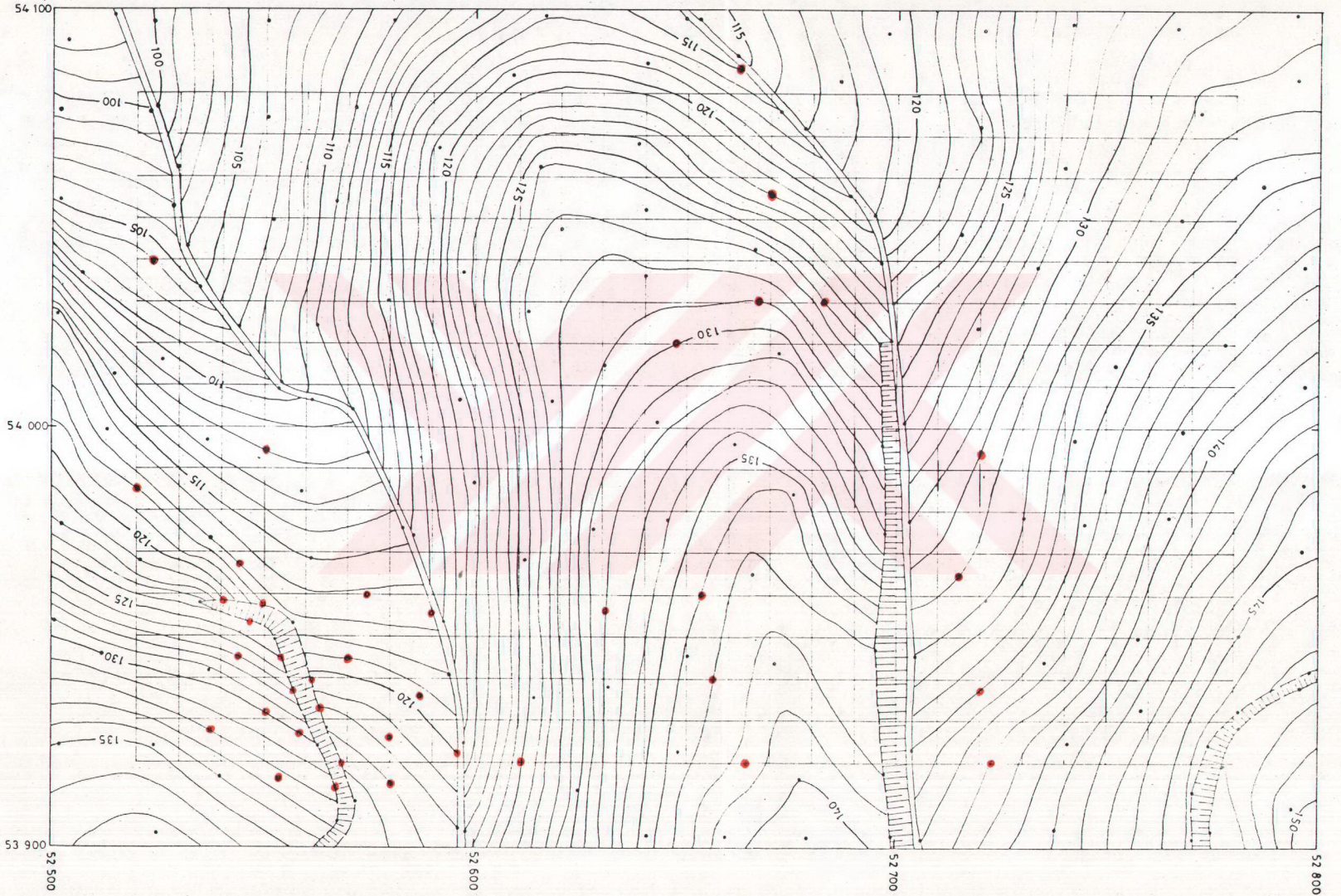
- Çizime esas olacak değerler için, multikvadrik enterpolasyonun uygulandığı alt bölgeler
- Enterpolasyonla elde edilen değerlere göre çizilmiş olan eşyükselik eğrileri

Ek - 3 :

- Fortran - 77 dilinde yazılmış multikvadrik enterpolasyon programı

Ek - 4 :

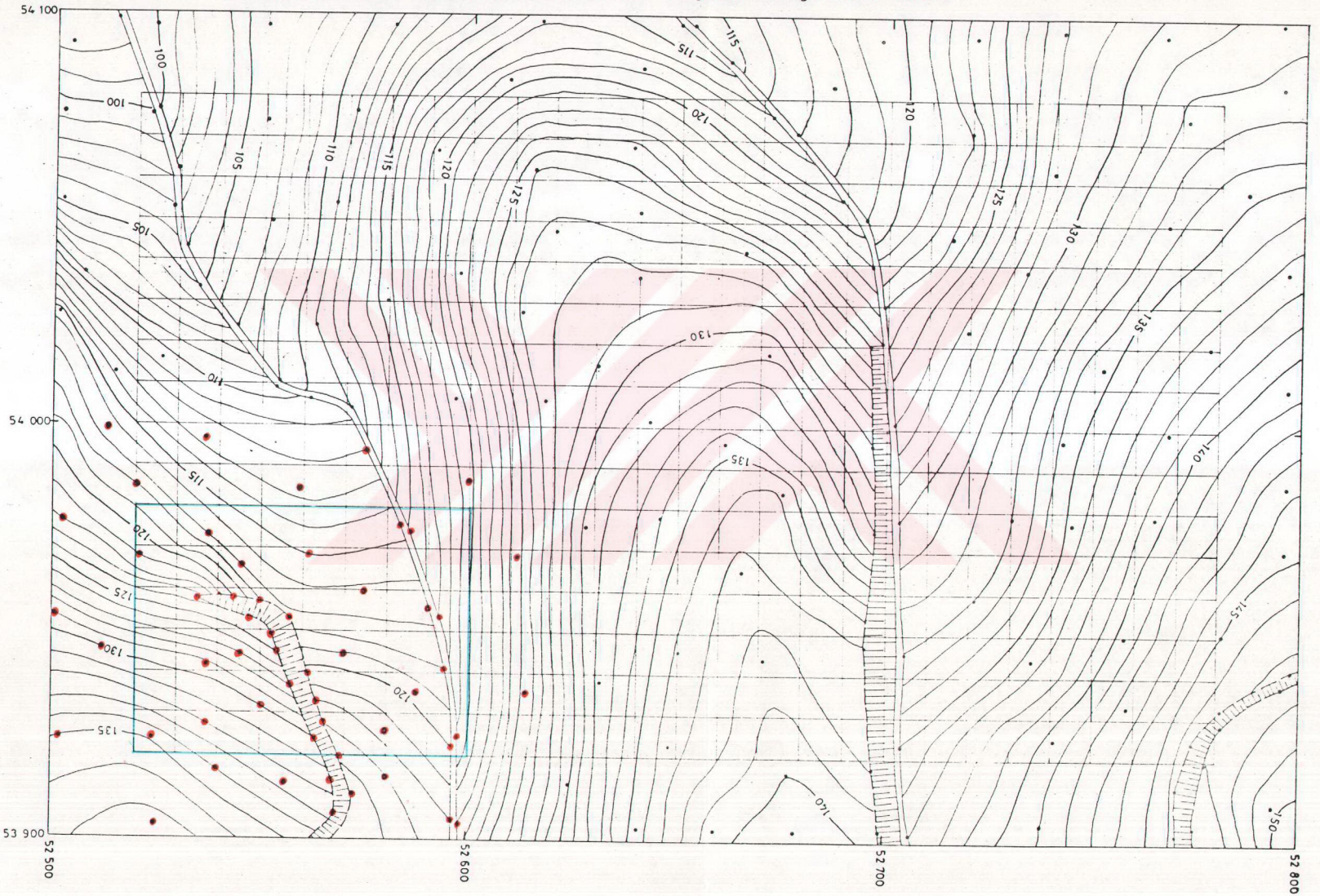
- Uygulama bölgesine ait dayanak noktası koordinatları



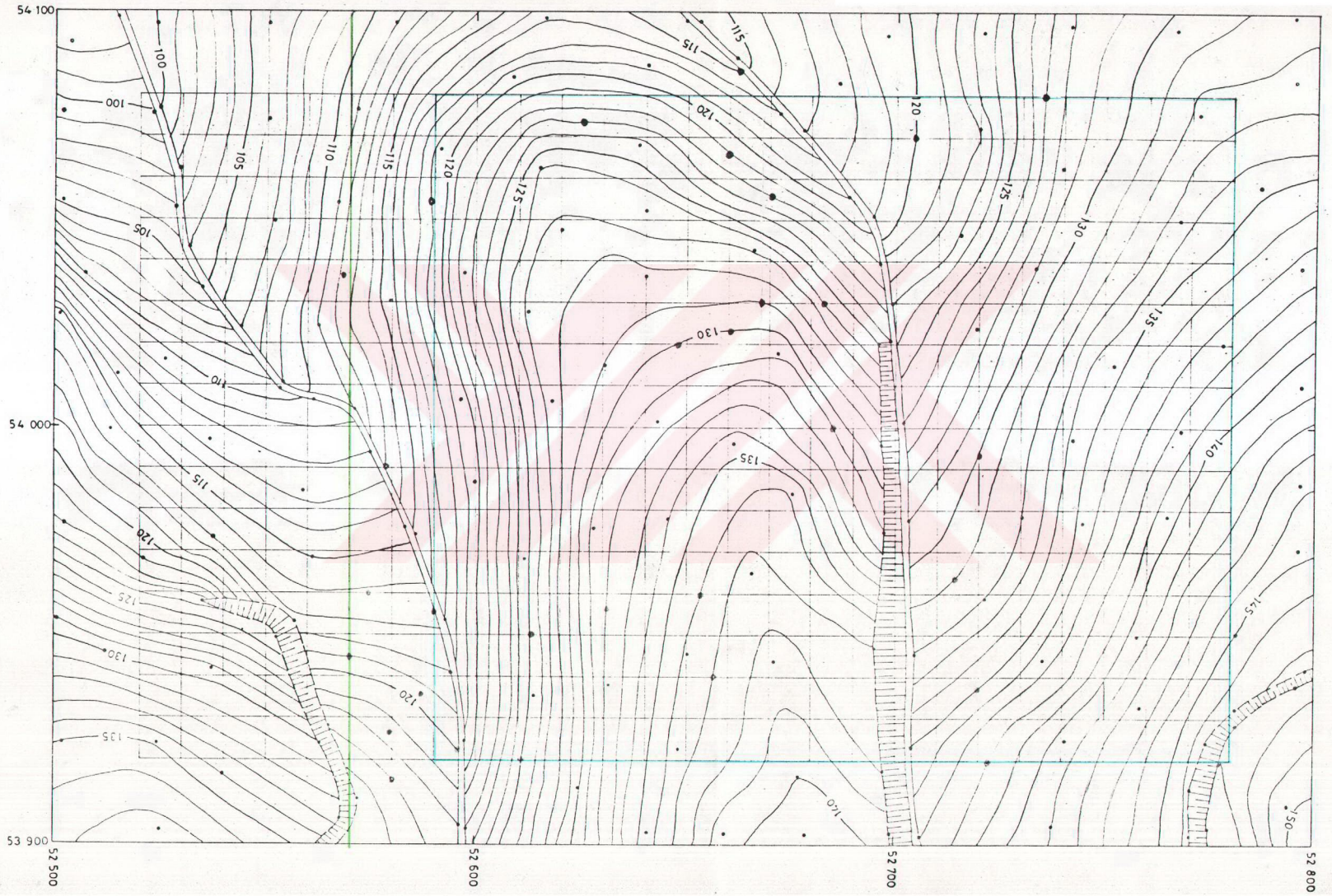
ŞEV BÖLGESİ

Bu alanda kullanılan dayanak noktaları (turuncu)

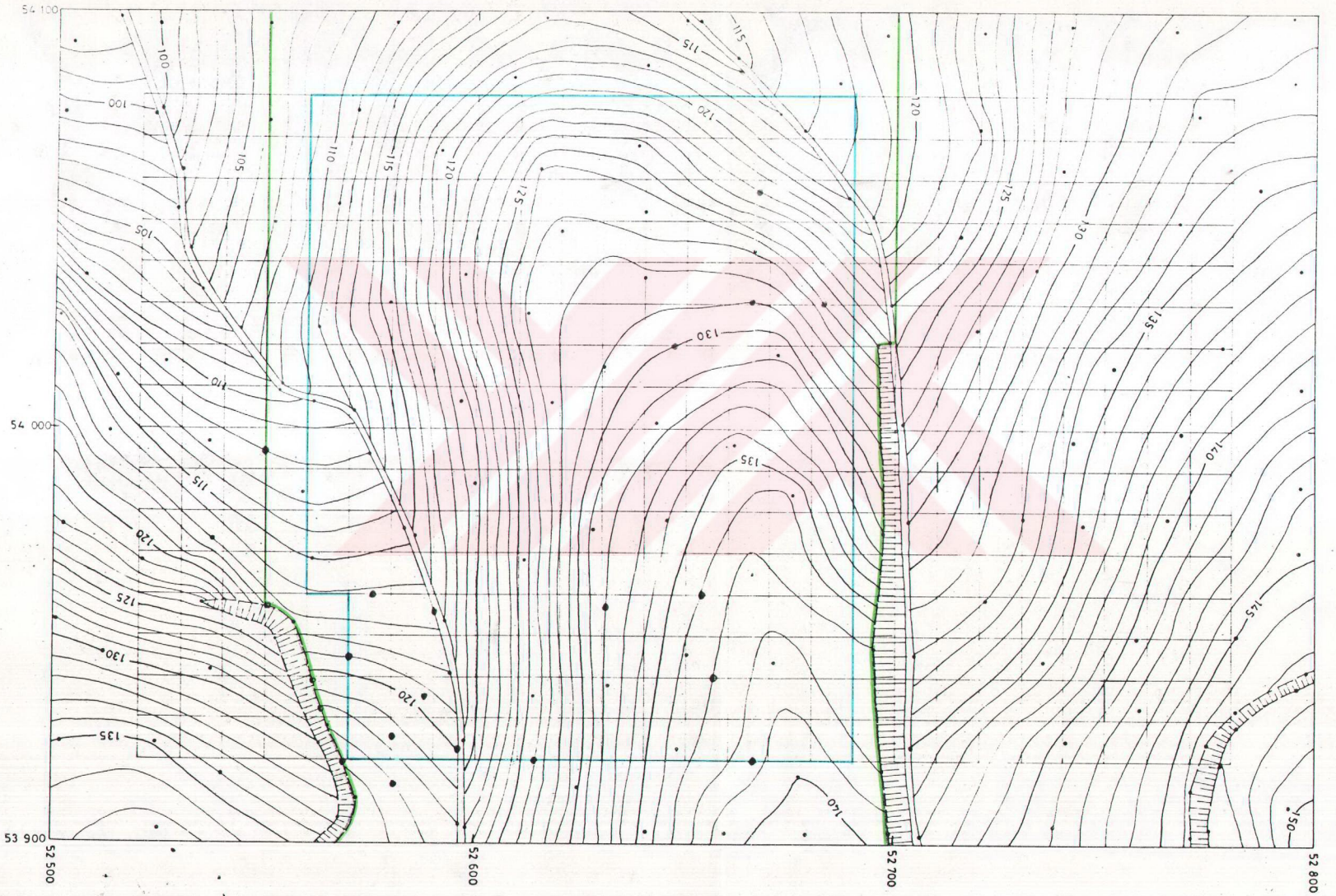
Bölgenin test ağı sınırı (mavi)

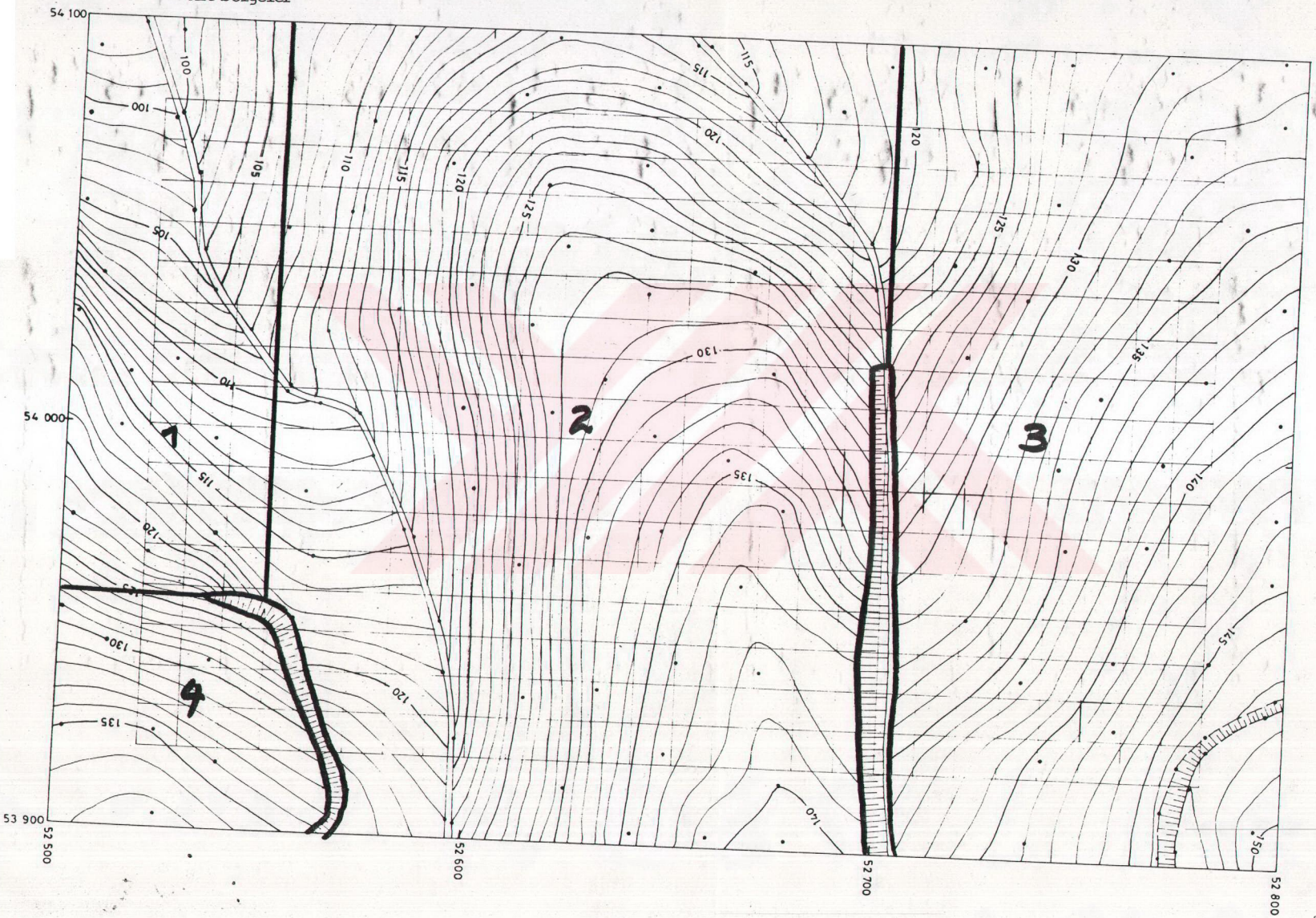


II. BÖLGE : Yeşil çizginin sağ tarafında kalan alan Test ağı sınırı (mavi)

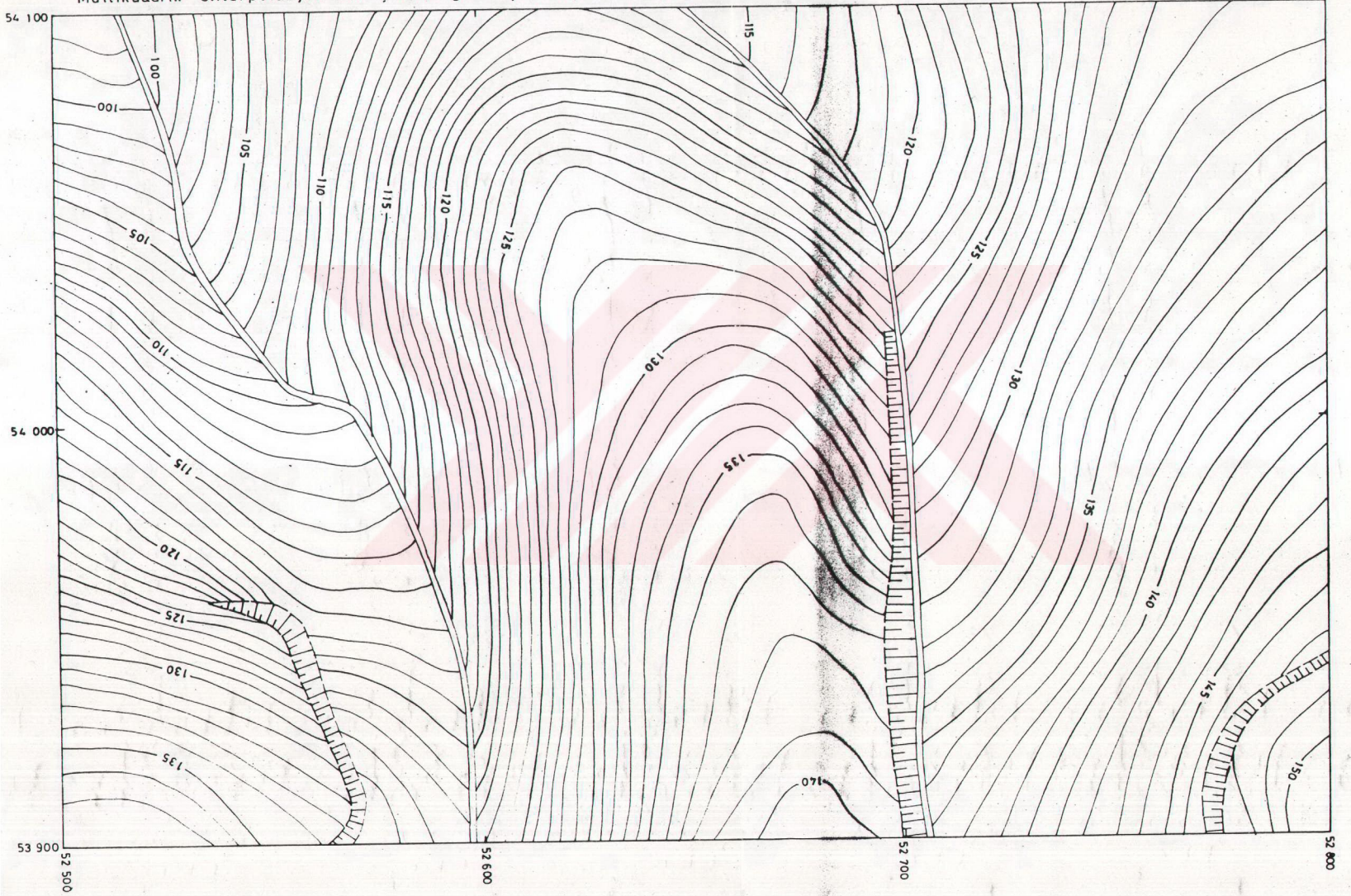


III. BÖLGE Bölge sınırları (yeşil) Test ağı sınırları (mavi)





Multikvadratik enterpolasyon sonuçlarına göre çizilmiş olan eşyükseklik eğrileri




```
CALL NORMAL(A,N,NT,P,H,B,NTV,CT,OTV,ATPH)
C..... TREND YOZEYINDEN FARKLAR .....
DO 16 K=1,N
HK=0.
DO 17 J=1,HT
HK=HK+A(K,J)*B(J)
17 DH(K)=H(K)-HK
16 C KATSAYILAR I .....
DO 22 K=1,N-1
K1=K+1
F(K,K)=0.
DO 22 J=K1,N
FF=DSORT((YH(J)-YH(K))*2+(XN(J)-XN(K))*2)
F(K,J)=FF
F(J,K)=FF
22 CONTINUE
F(N,N)=0.
ORTEN=0.
LL=J
KK=1
DO 23 K=1,N
EK=500.
DO 24 L=1,N
IF(L.EQ.K) GO TO 24
IF(F(K,L).GE.EK) GO TO 24
IF(KK.FT.L.AND.LL.EQ.K) GO TO 24
F(K,F(K,L))
KK=K
LL=L
24 CONTINUE
23 ORTEN=ORTEN+EK
ORTEN=DO*ORTEN/N
C.....
CALL DMIY(F,N,D,L1,M1)
DO 26 K=1,N
C(K)=0.
DO 25 J=1,N
C(K)=C(K)+F(K,J)*DH(J)
25 CONTINUE
26 GRID YÜKSEKLİKLERİNİN HESABI .....
IF(MTD.EQ.1) GO TO 8
C..... TREND DEĞERİ = 2 İÇİN GRID YÜKSEKLİKLERİ .....
DO 42 I=1,M
H2=0.
DO 41 J=1,N
H1=DSORT((YH(J)-YH(I))*2+(XN(J)-XXN(I))*2)
41 H2=H2+C(J)*H1
TT(I)=B(1)+B(2)*YH(I)+B(3)*YH(I)*YH(I)+B(4)*XXN(I)+
* B(5)*XXN(I)*YH(I)+B(6)*XXN(I)*XXN(I)
42 HH(I)=H2+TT(I)
GO TO 333
C..... TREND DEĞERİ = 1 İÇİN GRID YÜKSEKLİKLERİ .....
8 DO 40 I=1,M
H2=0.
DO 45 J=1,N
H1=DSORT((YH(J)-YH(I))*2+(XN(J)-XXN(I))*2)
45 H2=H2+C(J)*H1
TT(I)=B(1)+B(2)*YH(I)+B(3)*XXN(I)
40 HH(I)=H2+TT(I)
C..... TESTLER .....
333 DO 444 K=1,M
V(K)=HH(K)-HH(K)
VI(K)=V(K)
444 CONTINUE
C.....
CALL MWCY(IDS,M,KM,V,ZT,XT,UD,STS,THES,TD,YORMW,YORUM,ZTD,
* Z1,Z2,ZSD,TBB,DS,N1,PP)
CALL KST(M,V1,SS,NJ,IDS,SG,YORKS,Z,KT,HKS,FZ,D,DD,
* UD,STS,MM,KM)
C..... SONUÇLAR .....
777 PRINT 777,N,M
FORMAT(/,T10,'DAYANAK NOKTA HARİNİN SAYISI :',T3P,I5//T10,
* 'GRID NOKTASI SAYISI :',T3P,I5)
```

```
79 PRINT 79,ORTEN,MTO
* FORMAT(//T10,'ORTALAMA EN YAKIN KOMSU NOKTA UZAKLIGI :',
F10.2//T10,'TREND DEJRESI :',I4//)
83 PRINT 83,
* FORMAT(T10,'** HERBIR GRID NOKTASINDA OLUSAN FARKLAR **'
/T5,80(' _'))
.....
PRINT 911,
PRINT 912,(K,K=1,NY)
PRINT 914,
K1=- (NY-1)
K1P=-K1
DO 930 J=1,NX
K1=K1+NY
K2=K1+K1P
PRINT 934,J
PRINT 935,(V(K),K=K1,K2)
PRINT 936,
930 CONTINUE
911 FORMAT(//T5,'SÖTUN :',//)
912 FORMAT((T12,'(3X,I2,3X)/))
914 FORMAT(T5,'SATIR ://)
934 FORMAT(T8,I2)
935 FORMAT((T12,'(F8.2//)
936 FORMAT(T5,80(' _'))
PRINT 933,
988 FORMAT(//T10,'HERBIR GRID NOKTASININ YÖKSEKLİKLERİ ://T10,
* '(SÖTUN) NUMARASININ BULUNDUĞU SATIRDAKİ DEĞERLER PİLİNE N'
* T10,'ALT TAKILIR İSE HESAPLANAN YÖKSEKLİKLERDİR)'//)
PRINT 990,
PRINT 941,(K,K=1,NY)
PRINT 994,
K1=- (NY-1)
K1P=-K1
DO 993 J=1,NX
K1=K1+NY
K2=K1+K1P
PRINT 950,J
PRINT 997,(HH(K),K=K1,K2)
PRINT 997,(HH(K),K=K1,K2)
PRINT 955,
998 CONTINUE
990 FORMAT(//T5,'SÖTUN :',//)
941 FORMAT((T12,'(3X,I2,3X)/))
994 FORMAT(T5,'SATIR ://)
950 FORMAT(T8,I2)
997 FORMAT((T12,'(F8.2//)
955 FORMAT(T5,80(' _'))
PRINT 288,TD,ST5
PRINT 249,ZT0,Z1,Z2,T38,Z50
PRINT 250,YORUM
PRINT 235,THES,TD
PRINT 236,YORUM
PRINT 268,
288 FORMAT(//T12,'** TEST SONUÇLARI **//T10,60('*')//T12,
* 'ORTALAMA '=F10.4//T12,'STANDARD SAPMA '=F10.4//
* T10,60('*')//)
235 FORMAT(//T10,'*** MANN-WALD TESTİ SONUCU ://
* T10,'F SAPLANAN DEĞER :',F9.2//T10,'TABLO DEĞERİ :',F6.2)
236 FORMAT(//T10,'*** YORUM ://T11,A80//T10,80(' _')//)
249 FORMAT(T10,'*** ÇARPIKLIK VE BAŞIKLIK TESTLERİ SONUCU ://
* T20,'ZTD=',F8.2,T35,'Z1=',F6.2,T50,'Z2=',F6.2//
* T10,'TABLO DEĞERLERİ ://T10,'Z İÇİN :',F8.3,T35,
* 'Z1 VE Z2 İÇİN :',F8.3//)
250 FORMAT(T10,'*** YORUM ://T11,A100//T10,100(' _')//)
768 FORMAT(T10,'*** FARKLARIN SINIFLARA GÖRE DAĞILIMI ***//T10,
* T10,'SINIF NO',T20,'SINIF SINIRLARI',T40,
* 'RASIL YIGILMA LARI'//T10,50(' _')//)
DO 769 K=1,IDS
769 PRINT 770,XT(K),K,NI(K)
PRINT 772,IDS+1,XT(IDS+1)
770 FORMAT(T22,F8.2//T12,I4,T43,I4)
772 FORMAT(//T12,I4,T22,F8.2//T10,50(' _'))
```

```
1800 PRINT 1800
      FORMAT(///T10,'**** KOLMOGOROW - SIMIRNOW TESTI : '///)
1801 PRINT 1301,
      FORMAT(T10,'S.NO',T20,'S.SIN',T30,'YIGILMA'//T8,45(' '))
      DO 1803 K=1,M
1803 PRINT 1805,K,SS(K),NJ(K)
1805 FORMAT(///T12,I4,T20,F8-2,T32,I4/)
      PRINT 1808,SG
1808 FORMAT(///T12,'S INI= GENISLIGI :',F8.2///T8,45('*'))
1810 PRINT 1810,YORKS
      FORMAT(///T10,'**** YORUM :'/T20,A35//T8,45('*'))
      DO 1111 K=1,M
1111 PRINT 1115,K,V(K)
1115 FORMAT(T5,I4,F10.2)
      STOP
      END
```

```
C..... ALT PROGRAMLAR .....
SUBROUTINE NORMAL(A,M,N,P,DL,3X,NN,QT,QTV,ATPL)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,J-Z)
  DIMENSION A(M,N), QT(N,N), ATPL(N), QTV(NN), PX(N), P(M), OL(M)
  DO 114 I=1,N
  DO 113 J=I,N
  SS=0.
  DO 112 K=1,M
112  SS=SS+A(K,I)*P(K)*A(K,J)
      QT(I,J)=SS
113  QT(J,I)=SS
114  CONTINUE
  DO 116 I=1,N
  FF=0.
  DO 115 J=1,M
115  FF=FF+A(J,I)*P(J)*OL(J)
116  ATPL(I)=FF
  L=0
  DO 118 I=1,N
  DO 118 J=I,N
  L=L+1
  QTV(L)=QT(I,J)
118  CONTINUE
  CALL SIMIND(QTV,N,L,D-5,IER)
  DO 122 K=1,N
  BL=0.
  DO 121 L=1,N
  IF(L.GE.K) GO TO 129
  KL=N*(L-1)+K-L*(L-1)/2
  GO TO 130
129  KL=N*(K-1)+L-K*(K-1)/2
130  BL=BL+QTV(KL)*ATPL(L)
121  CONTINUE
  BX(K)=BL
122  CONTINUE
  RETURN
  END
```

```
C..... SUBROUTINE MWCAT (IDS,N,M,ZI,XI,UD,STS,THE S,TD,YORM W,
* YORU4,ZTD,ZL,Z2,ZSD,TBB,DS,NI,PP)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  CHARACTER *5 VAR,VE,YOK,BIR,AN*8,DE*8,BA*12,CA*12,ANL*12,
* FN*30,MW*60,YORMW*80,YORUM*100
  DIMENSION V(N),X(4),ZT(4),VI(M)
```

```
C..... ORTALAMA VE STANDART SAPMA .....
  RN=N
  UD=0.
  STS=0.
  NTHES=0
  DO 10 K=1,M
10  UD=UD+V(K)
  UD=UD/RN
  DO 15 K=1,N
15  STS=STS+(V(K)-UD)**2
  STS=DSORT(STS/(RN-1))
```

C..... MANN_WALD TESTI

```
ES=-999.0
XT(1)=ES
XT(1DS+1)=-ES
DO 77 K=2,1DS
77 XT(K)=ZT(K)*STS+UD
40 PP=DS*RI
NPP=PP
DO 45 K=1,1DS
K1=K+1
NI(K)=0
DO 46 J=1,N
IF(V(J).GE.XT(K).AND.V(J).LE.XT(K1)) NI(K)=NI(K)+1
46 CONTINUE
NFT=NI(K)-NPP
NTHES=NTHES+NFT*NFT
45 CONTINUE
THES=NTHES/NPP
```

C..... CARPIKLIK VE BASIKLIK TESTI

```
C1=0.
C2=0.
DO 55 I=1,N
FV=UD-V(I)
C1=C1+FV**3
C2=C2+FV**4
55 CONTINUE
CAD=1/(RN*STS**4)
C1=-STS*CAD*C1
C2=CAD*C2-3
Z1=D SORT(RN/6)*C1
Z2=D SORT(RN/24)*C2
ZTD=Z1**2+Z2**2
AN=' ANCAK '
FN=' FARKLAR NORMAL DAGILIMDA '
DE=' DESIL '
BA=' BASIKLIK '
CA=' CARPIKLIK '
VAR=' VAR '
VE=' VE '
ANL=' ANLAMLI '
BIR=' BIR '
YOK=' YOK '
MW=' MANN_WALD TESTINE GORE VERILER NORMAL DAGILIMDA '
```

C.....

```
IF(THES.LE.TD) THEN
YDRM=MW
ELSE
YDRM=MW//DE
END IF
IF(ZTD.LE.TBB.AND.Z1.LE.ZSD.AND.Z2.LE.ZSD) THEN
YDRUM=F1//BA//VE//CA//YOK
ELSE IF(ZTD.LE.TBB.AND.Z1.GT.ZSD.AND.Z2.GT.ZSD) THEN
YDRUM=F1//AN//BA//VE//CA//VAR
ELSE IF(ZTD.GT.TBB.AND.Z1.LE.ZSD.AND.Z2.GT.ZSD) THEN
YDRUM=F1//DE//CA//YOK//AN//ANL//BIR//BA//VAR
ELSE IF(ZTD.LE.TBB.AND.Z1.GT.ZSD.AND.Z2.LE.ZSD) THEN
YDRUM=F1//BA//YOK//AN//ANL//BIR//CA//VAR
```

C.....

```
ELSE IF(ZTD.GT.TBB.AND.Z1.GT.ZSD.AND.Z2.LE.ZSD) THEN
YDRUM=F1//DE//BA//YOK//AN//ANL//BIR//CA//VAR
ELSE IF(ZTD.LE.TBB.AND.Z1.LE.ZSD.AND.Z2.GT.ZSD) THEN
YDRUM=F1//CA//YOK//AN//ANL//BIR//BA//VAR
ELSE IF(ZTD.GT.TBB.AND.Z1.LE.ZSD.AND.Z2.GT.ZSD) THEN
YDRUM=F1//DE//AN//CA//VE//BA//YOK
ELSE
YDRUM=F1//DE//CA//VE//BA//VAR
END IF
RETURN
END
```

C.....

SUBROUTINE NORM(Y,X,YO,XO,DO,YN,XN,MB)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,I-Z)
DIMENSION Y(MB),X(MB),YN(MB),XN(MB)

```

DD 570  K=1, MB
VN(K) = (Y(K) - Y0) / D0
XN(K) = (X(K) - X0) / D0
RETURN
END

```

```

C .....
SUBROUTINE KOROU(NX, NY, M, NGU, Y0, X0, XX, YY)
IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
DIMENSION YY(M), XX(M)
XX(1) = X0
YY(1) = Y0
511 DD 511  K=2, NY
    YY(K) = YY(K-1) + NGU
    I1 = NY + 1
    I2 = (NX - 1) * NY + 1
518 DD 517  K=1, NY
    DD 518  J=I1, I2, NY
    YY(J) = YY(K)
517 I1 = I1 + 1
    I2 = I2 + 1
    K1 = NY + 1
    K2 = (NX - 1) * (I1 + 1)
520 DD 520  K=K1, K2, NY
    XX(K) = XX(K - NY) + NGU
    L1 = 2
    L2 = NY
524 DD 522  L=1, K2, NY
    DD 524  LL=L1, L2
    XX(LL) = XX(L)
522 L1 = L1 + NY
    L2 = L2 + NY
RETURN
END

```

```

C .....
SUBROUTINE KST (M, V1, SS, NY, L, SG, YORS, Z, KT, HKS, FZ, D, DD,
*          ORT, STS, MM, KM)
IMPLICIT REAL*8(A-H, O-Z)
CHARACTER FNI*26, DE1*5, YORS*35
DIMENSION V1(M), SS(KM), Z(KM), NY(KM), KT(KM), HKS(KM), FZ(KM),
*          D(KM), DD(KM)
FNI = ' FARKLAR NORMAL DASI LINDA '
DE1 = ' DEGIL '
PI = 2 * 3.141592654
PIK = 1. / DSORT(PI)
EPS = .0000001
CALL SIRA(V1, M, F, K, E3)
SG = (EB - EK) / L
C .....
SINIF SI VIRLARI .....
SS(1) = EK + SG
Z(1) = (SS(1) - ORT) / STS
DD 15  K=2, L+2
SS(K) = SS(K-1) + SG
Z(K) = (SS(K) - ORT) / STS
IF(SS(K) .GE. EB) GO TO 17
15 CONTINUE
17 MM = K
    NY(1) = 0
    DD 23  K=1, M
    IF(V1(K) .LE. SS(1)) NY(1) = NY(1) + 1
23 CONTINUE
    DD 26  K=2, MM
    NY(K) = 0
    K1 = K - 1
    DD 26  J=1, M
    IF(V1(J) .GE. SS(K1) .AND. V1(J) .LE. SS(K)) NY(K) = NY(K) + 1
26 CONTINUE
    KT(1) = NY(1)
    RKT = KT(1)
    HKS(1) = RKT / M
    DD 30  K=2, MM
    KT(K) = KT(K-1) + NY(K)
    RKT = KT(K)

```

```
30 HKS(K)=RKT/M
   DD 43 K=1,MM
   I=0
   TF=Z(K)
   TOP=Z(K)
45 I=I+1
   TE=TF*((-1)**(Z(K)*Z(K)))/(2*I)
   TER=TF/(2*I+1)
   TOP=TOP+TER
   IF(DABS(TER).GE.EPS) GO TO 45
   FZ(K)=PTX*TOP+.5
   DIK)=HKS(K)-FZ(K)
   DD(K)=D(K)
40 CONTINUE
   CALL SIR4 (D,MM,EKS,EBS)
   DMAX=EBS
   DS=1.36/DSORT(459,D)
   IF(DMAX.LE.DS) THEN
     YORKS= F11
   ELSE
     YORKS= F11//DE1
   END IF
   RETURN
   END
```

```
C .....
SUBROUTINE SIR4(V1,M,EK,EB)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION V1(M)
DD 24 K=1,M-1
L=K+1
DD 22 J=L,M
IF(V1(K).LT.V1(J)) GO TO ??
HAF=V1(K)
V1(K)=V1(J)
V1(J)=HAF
CONTINUE
CONTINUE
EK=V1(1)
EB=V1(M)
RETURN
END
```

22
24

71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117

 118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147

5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147

5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147

ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Trabzon'un Akçaabat ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Trabzonda yaptı. 1981 yılında Trabzon Lisesinden mezun olarak aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümüne girdi. 1985 yılında bölümün lisans programını tamamladı. Aynı yıl bölümde araştırmaya görevlisi olarak çalışmaya müteakiben de yüksek lisans öğrenimine başladı.