

85006

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEKLİK EĞRİLERİNİN
BASİTLEŞTİRİLMESİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM**

Jeodezi Fotogrametri Yük. Müh. Türkay GÖKGÖZ

**F.B.E. Jeodezi Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Savunma Tarihi : 14 Haziran 1999

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Mehmet SELÇUK (YTÜ)

Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Doğan UÇAR (İTÜ)

Prof. Dr. M. Orhan ALTAN (İTÜ)

M. Selçuk
Doğan Uçar
M. Orhan Altan

İSTANBUL, 1999

85006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yükseklik Eğrilerinin Bazı Özellikleri.....	2
1.2 Yükseklik Eğrileri Niçin Genelleştirilir?.....	3
1.3 Yükseklik Eğrilerini Vektöre Dayalı Genelleştirme Yaklaşımları.....	4
1.4 Yükseklik Eğrilerinin Karakteristik Kısımlarının Korunması.....	6
1.5 Bu Çalışmanın Amacı.....	7
1.6 Karakteristik Çizgiler.....	7
1.6.1 Arazinin özel durumlarında karakteristik çizgiler.....	10
1.6.1.1 Su toplama çizgisi bulunmayan vadiler.....	10
1.6.1.2 Tek taraflı vadiler ve sırtlar.....	11
1.6.1.3 Bir boyun orta noktası etrafındaki su toplama ve dağıtma çizgileri.....	12
1.6.2 Karakteristik çizgilerin bazı özellikleri.....	13
1.6.3 Karakteristik çizgilerin işlevleri.....	14
1.7 Bu Çalışmanın Aşamaları.....	14
2. KARAKTERİSTİK ÇİZGİLERİN TÜRETİLMESİ ve KARAKTERİSTİK NOKTALARIN BELİRLENMESİ.....	18
2.1 Uygulamada Kullanılan Yükseklik Eğrileri.....	21
2.2 Hazırlık İşlemleri.....	22
2.2.1 Optimum üçgen ağının elde edilmesi.....	22
2.2.1.1 Zorlanmış Delaunay üçgenlemesi.....	23
2.2.2 Karakteristik çizgilerin yerlerinin belirlenmesi.....	34
2.2.3 Karakteristik çizgilerin türlerinin belirlenmesi.....	36
2.3 İzleme İşlemi.....	37
2.4 Karakteristik Çizgi Noktalarına Yükseklik Değeri Verilmesi.....	53
3. MEVCUT ÜÇ BASITLEŞTİRME YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ.....	55
3.1 <i>n</i> . Nokta Yöntemi.....	55
3.2 Eşik Mesafesi Yöntemi.....	55
3.3 Eşik Açısı Yöntemi.....	56
3.4 Uygulama.....	57
3.4.1 Genelleştirme koşulları.....	58
3.4.2 Uygulama ve değerlendirme sonuçları.....	64

4.	MEVCUT ÜÇ BASİTLEŞTİRME YÖNTEMİNİN YENİDEN DÜZENLENMESİ.....	79
4.1	<i>n.</i> ve Karakteristik Nokta Yöntemi.....	79
4.2	Eşik Mesafesi ve Karakteristik Nokta Yöntemi.....	79
4.3	Eşik Açısı ve Karakteristik Nokta Yöntemi.....	80
4.4	Uygulama.....	81
4.4.1	Uygulama ve değerlendirme sonuçları.....	81
4.4.2	Yeniden düzenlenmiş mevcut üç basitleştirme yöntemi ile mevcut üç basitleştirme yönteminin karşılaştırılması.....	94
5.	KARAKTERİSTİK ÇİZGİLERİN UZATILMASI.....	95
5.1	Uzatılan Karakteristik Çizgilerle Genelleştirme.....	96
5.1.1	Uygulama ve değerlendirme sonuçları.....	96
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	112
	KAYNAKLAR.....	114
	EKLER.....	119
	Ek 1 AutoCAD R12 Ekran Görüntüsü 1 (<i>K. Çizgi</i> Menüsü).....	119
	Ek 2 AutoCAD R12 Ekran Görüntüsü 2 (<i>K. Çizgi</i> Menüsü).....	120
	Ek 3 AutoCAD R14 Ekran Görüntüsü 1 (<i>Genelleştirme</i> Menüsü).....	121
	Ek 4 AutoCAD R14 Ekran Görüntüsü 2 (<i>Genelleştirme</i> Menüsü).....	122
	Ek 5 <i>Triangle 1.3</i> için Hazırlanan Girdi Dosyası (<i>tez.poly</i>).....	123
	Ek 6 Yazılan Kaynak Kodları İçeren Bir Disket.....	124
	ÖZGEÇMİŞ.....	125

ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışmanın her aşamasında ve her konuda bana destek olan, yardım eden, yönlendiren, bilgi ve deneyimini esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet SELÇUK'a sonsuz şükranlarımı sunarım. Ayrıca, bu çalışmanın Almanya'da gerçekleştirdiğim kısımlarında yardımcı olan başta Sayın Prof. Dr. -Ing. Dieter MORGENSTERN olmak üzere Bonn Üniversitesi, Kartografya ve Topografya Enstitüsü çalışanlarına, özellikle Almanca'dan Türkçe'ye yaptığı çevirilerle bana destek olan hocam Sayın Prof. Dr. Nazmi YILDIZ'a, yardımlarını gördüğüm diğer hocalarıma, arkadaşlarıma ve elbette aileme çok teşekkür ederim.



Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu'na desteklenmiştir.
Proje No: 95-A-05-03-01

ÖZET

Karakteristik çizgiler (su toplama ve dağıtma çizgileri) yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının işaretleri olarak kabul edilmiş ve yükseklik eğrilerinin karakteristik noktalarının belirlenmesinde bir araç olarak kullanılmıştır. Eğer bir yükseklik eğrisi noktası, aynı zamanda bir karakteristik çizgi noktası ise ya da üzerinden karakteristik çizgi geçen bir doğru parçasının (yükseklik eğrilerini meydana getiren doğru parçalarından birinin) karakteristik çizgiye daha yakın olan uç noktası ise yükseklik eğrisinin karakteristik noktası olarak kabul edilmiştir. Karakteristik noktalar, Aumann vd. (1991) tarafından geliştirilen yöntemle göre yükseklik eğrilerinden karakteristik çizgiler türetilirken otomatik olarak belirlenmiştir.

Yükseklik eğrilerinin genelleştirilmesinde kullanılan basitleştirme yöntemlerinden en başta yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarını korumaları beklenir. Ancak, yaygın olarak kullanılan basitleştirme yöntemlerinden üçü (n . nokta, eşik mesafesi ve eşik açısı yöntemi) ile yapılan uygulamalar, bu beklentinin karşılanmadığını göstermiştir. Çünkü bu yöntemler ne yükseklik eğrilerinin karakteristik noktalarını belirleyebilecek ne de belirlenen karakteristik noktaları göz önüne alabilecek bir ölçüte sahiptir. Bu çalışmada mevcut üç basitleştirme yöntemi, belirlenen karakteristik noktaları da göz önüne alacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Başka bir ifadeyle, mevcut üç basitleştirme yöntemine yeni bir basitleştirme ölçütü ilave edilmiştir. Böylece yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının korunması kesinlik kazanmıştır.

Ayrıca, karakteristik çizgiler uzatılarak ikinci derece karakteristik çizgiler türetilmiş ve ikinci derece karakteristik noktalar belirlenmiştir. Son olarak, ikinci derece karakteristik noktalar da göz önüne alınarak genelleştirme yapılmış ve böylece yükseklik eğrilerinin ikinci derece karakteristik kısımlarının da korunduğu görülmüştür. Başka bir ifadeyle, ikinci derece karakteristik noktalar da göz önüne alınarak yükseklik eğrilerinin yapısına daha uygun bir genelleştirme yapılabileceği ispat edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yükseklik eğrileri, karakteristik çizgiler, zorlanmış Delaunay üçgenlemesi, karakteristik çizgilerin türetilmesi, genelleştirme, basitleştirme, yumuşatma

ABSTRACT

A NEW APPROACH TO SIMPLIFICATION OF CONTOURS

Skeleton lines (i.e. ridge and drainage lines) were supposed to be signs of characteristic parts of contours and used as tools in determination of characteristic points of contours. If a point of contour is a point of skeleton line or the nearer end point of a segment of contour crossed by a skeleton line then it was supposed to be a characteristic point of contour. Characteristic points were automatically determined during the process of derivation of skeleton lines from contours in accordance with the method developed by Aumann et. al (1991).

It is required that the methods used for generalization of contours especially retain the characteristic parts of contours. However, the applications made with three widely used simplification methods (*n*. point, distance tolerance and angle tolerance) have shown that the requirement is not more or less satisfied because these methods do not have any criterion for either determination of characteristic points or consideration of the determined characteristic points. In this study the methods mentioned above were reorganized in a way that they consider the determined characteristic points as well. In other words a new simplification criterion was embedded in the methods separately and thus it was guaranteed to retain the characteristic parts of contours.

Besides, second degree skeleton lines and second degree characteristic points were derived by extending of skeleton lines. Finally, contours were generalized considering the second degree characteristic points as well, and in this case it was shown that the second degree characteristic parts of contours were retained as well. In other words it was proven that contours could be generalized more faithfully by considering the second degree characteristic points.

Key Words: Contours, skeleton lines, constrained Delaunay triangulation, derivation of skeleton lines, generalization, simplification, smoothing

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

1. GİRİŞ

Yükseklik eğrileri, arazi şekillerinin geometrik ya da başka bir ifadeyle, konumları ve yükseklikleri ile gösterimindeki en önemli araçtır.

Yükseklik eğrileri, arazi yüzeyinin nivo yüzeyleri ile ara kesitleri olarak, *nivo yüzeyleri* ise yükseklikleri aynı olan noktaları içeren yüzeyler olarak tanımlanır.

Arazi şekillerinin haritadaki görünümüleri, yükseklik eğrilerinin yoğunluğu (sıklığı ya da seyrekliği) ile doğrudan ilişkilidir. Yükseklik eğrilerinin yoğunluğu ise esas olarak nivo yüzeyleri arasındaki çekül doğrultusundaki sabit uzunluğa bağlıdır. *Eş yükseklik* olarak isimlendirilen bu uzunluk,

- haritanın ölçeğine,
- haritada gösterilmesi gereken en büyük eğime,
- minimum çizgi (yükseklik eğrisi) kalınlığına ve çizgiler arasındaki boşluğa ve
- arazinin morfolojik zenginliğine

göre değişik şekillerde hesap edilir.

Yükseklik eğrileri kartografik gösterim açısından üçe ayrılır:

1. *İnce (ara) yükseklik eğrisi*: Eş yüksekliğe göre çizilen yükseklik eğrisidir.
2. *Kalın (ana ya da gösterge) yükseklik eğrisi*: Her ince dört yükseklik eğrisinden sonra gelen, üzerine yükseklik değeri yazılan ve diğerlerine göre daha kalın çizilen yükseklik eğrisidir.
3. *Yardımcı yükseklik eğrisi*: Kesikli çizgi şeklinde çizilen türüdür. Yardımcı yükseklik eğrisi,
 - iki ince yükseklik eğrisi arasındaki yükseklik farkı ortalamasından (eş yüksekliğin yarısından) daha yüksek ya da alçak olan yerleri göstermek,
 - sabit (düzgün) eğimli sırtlarda ani eğim değişikliğini göstermek,

- boyun şeklinin belirlenmesi ve
- ova ve düzlüklerde seyrek geçen yükseklik eğrileri arasındaki yükseklik farkını göstermek ve arazi yapısını daha ayrıntılı belirleyebilmek için kullanılır.

Ülkemizde orta ve küçük ölçekli bazı haritalar için geçerli olan eş yükseklik değerleri aşağıdaki çizelgede görünmektedir.

Çizelge 1.1: Bazı haritalar için eş yükseklik değerleri

Ölçek	İnce Yük. Eğr.	Kalın Yük. Eğr.	Yardımcı Yük. Eğr.	
	[m]	[m]	1. Tür [m]	2. Tür [m]
1 / 25 000	10	50	5	2.5
1 / 50 000	20	100	10	5
1 / 100 000	50	250	25	12.5
1 / 250 000	100	500	50	25

Yükseklik eğrileri ilk kez 1729 yılında Cruquius tarafından Hollanda'daki Merwede nehrinin derinliklerini haritada göstermek için kullanılmıştır. 1771 yılında Fransız Dupain-Triel tarafından yapılmış olan "Carte de la France" haritaları ise büyük olasılıkla ilk yükseklik eğrili kara haritalarıdır (Selçuk, 1974).

1.1 Yükseklik Eğrilerinin Bazı Özellikleri

Yükseklik eğrilerinin bazı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir yükseklik eğrisinin bütün noktaları aynı yüksekliktedir.
- Bazı yardımcı yükseklik eğrileri hariç her bir yükseklik eğrisi bir sürekli eğridir ve harita alanının içinde ya da dışında kendi üzerine kapanır.
- Diğer yükseklik eğrileri ile çevrelenmiş bir kapalı yükseklik eğrisi ya bir tepeyi ya da bir çukuru gösterir. Tepeyi çukurdan ayırt etmek için çukurun merkezini işaret edecek şekilde bir ok yerleştirilir.
- Eş yükseklik ne kadar küçük seçilirse arazi şekilleri de haritada o kadar belirgin ve canlı gösterilmiş olur. Ancak bu durum haritanın okunaklılığını etkiler (Selçuk, 1974).

- Tek bir yükseklik eğrisi arazi şekillerini haritada gösterme bakımından anlamlı ve yeterli değildir. Ancak bir dizi yükseklik eğrisi ile arazi şekilleri haritada gösterilebilir (Selçuk, 1974).
- Yükseklik eğrileri birbirlerini kesmez.
- İki ya da daha fazla yükseklik eğrisi birleşerek bir yükseklik eğrisi halinde devam edemez.
- Bir yükseklik eğrisi çatallaşamaz.
- Bazı durumlarda boynun yüksekliği tepenin en alçak yükseklik eğrisi ile aynı yükseklikte olabilir. Bu durumda yükseklik eğrileri birbirlerine değebilirler.
- Yükseklik eğrileri eğimin büyük olduğu yerlerde sık, küçük olduğu yerlerde seyrek ve eğimin değişmediği (sabit ya da düzgün olduğu) yerlerde ise eşit aralıklı olur.
- Bir yükseklik eğrisi bir akarsuyu geçerken önce kaynağa doğru gider, akarsuyu dik açı altında keser ve sonra geri (suyun akış doğrultusunda) gelir. Kısacası V harfi şeklinde geçer.
- Bir yükseklik eğrisi, birbirine paralel iki dereden geçerken daha derin (daha alçakta) olan derede daha ileri (kaynağa doğru) gider ve su dağıtma çizgisi, derinliği az (daha yüksekte) olan dereye daha yakındır.
- Birbirine paralel ve aynı derinlikte iki derede yükseklik eğrileri simetrik olup, su dağıtma çizgisi ortada yer alır.
- Arazinin en büyük eğim çizgileri yükseklik eğrilerini dik keser.
- Yükseklik eğrileri su toplama ve dağıtma çizgilerini dik keser.
- Alçaktan yükseğe doğru bakıldığında yükseklik eğrileri genellikle su toplama çizgileri boyunca iç bükey ve su dağıtma çizgileri boyunca dış bükey görünürler.

1.2 Yükseklik Eğrileri Niçin Genelleştirilir?

Bu sorunun klasik ve güncel olmak üzere iki yanıtı vardır. Klasik yanıtı, en güzel biçimde aşağıdaki örnek (Harita Genel Komutanlığı'nın Tahvil Talimatı'nda yer alan açıklama) ile verilebilir.

“Haritalar, farklı amaçlara göre, değişik türde ve çeşitli ölçeklerde yapılır.

1 / 25 000 ölçekli topografik haritalar, memleketin esas haritalarıdır. Esaslı bir

memleket nirengisine dayanarak arazide ve bürolarda yapılan çeşitli çalışmalar sonunda elde edilirler. Tek tür haritaların memleketin çeşitli ihtiyaçlarına cevap veremeyeceği açıktır. Bu sebeple 1 / 25 000 ölçekli haritalardan daha küçük ölçekli haritalara da ihtiyaç vardır. Bunların 1 / 25 000 ölçekli haritalar gibi arazi çalışmaları sonunda elde edilmeleri hem gereksiz hem de çok masraflıdır. Bu sebeple, yeter derecede detaylı ve her bakımdan kusursuz olan 1 / 25 000 ölçekli haritalardan istifade edilerek tahvil (genelleştirme) yoluyla daha küçük ölçekli harita yapma yoluna gidilir.”

Bu açıklama genel olarak topografik haritalar için yapılmış olmasına karşın yalnız yükseklik eğrileri için de geçerlidir. Çünkü arazi şekilleri hakkında bilgi aktarmak topografik haritaların temel görevlerindendir. Bu görevi geometrik açıdan en iyi yapan gösterimler ise yükseklik eğrileridir.

Sorunun güncel yanıtı ise, en başta, yükseklik eğrilerinin sürekli ölçü şeklinde sayısallaştırılarak sayısal ortama aktarılmasında kendini göstermektedir. Çünkü bu durumda aşırı miktarda veri toplanmaktadır. Bu ise aşırı bellek ihtiyacı ve aşırı işlem zamanı anlamına gelmektedir. İşte bu aşırılıkları ortadan kaldırmak için yükseklik eğrilerinin genelleştirilmesi (basitleştirilmesi) kaçınılmazdır.

Ayrıca yükseklik eğrileri sayısal ortamda (örneğin bir coğrafi bilgi sisteminde) farklı ölçeklerde ve çeşitli amaçlar için haritaların üretiminde ya da analiz (örneğin eğim, görülebilirlik, vb.) ve modelleme işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu durumlarda ise kartografik ve istatistiksel nedenlerle ya da başka bir ifadeyle grafik ürünü elde etmek, görsel bilginin sunumunu optimum düzeyde gerçekleştirmek ve veri miktarını, işlem zamanını ve bellek ihtiyacını azaltmak için yükseklik eğrileri genelleştirilmektedir.

1.3 Yükseklik Eğrilerini Vektöre Dayalı Genelleştirme Yaklaşımları

Yükseklik eğrilerinin vektöre dayalı genelleştirilmesinde çeşitli yaklaşımlar vardır. En temel yaklaşıma göre,

- istenen eş yükseklikte yükseklik eğrilerinden meydana gelen bir alt küme, mevcut yükseklik eğrilerinden seçme yoluyla oluşturulur ya da başka bir ifadeyle istenen eş yüksekliğe göre yükseklik eğrileri seyreltilir ve/veya
- yükseklik eğrileri, noktalardan ve doğru parçalarından meydana gelen çizgisel objeler olarak, tek tek basitleştirilir ve yumuşatılır.

Bu yaklaşımla, tüm çizgi basitleştirme ve yumuşatma algoritmalarının, yükseklik eğrilerinin geliştirilmesinde kullanılabileceği açıktır.

Bundan başka örneğin, bir geliştirme programı olan ASTRA (A System for Automated Scale Transition) ile yükseklik eğrileri şöyle geliştirilir:

- Mevcut yükseklik eğrilerinden bir sayısal arazi modeli üretilir,
- sayısal arazi modelinden, istenen eş yükseklikte yükseklik eğrileri türetilir ve
- birer çizgisel obje olan yükseklik eğrileri basitleştirilir ve yumuşatılır (Leberl, 1986).

Bu yaklaşımın, istenen eş yükseklikte yükseklik eğrilerinden meydana gelen bir alt kümenin, mevcut yükseklik eğrilerinden seçme yoluyla oluşturulamaması durumunda uygun olacağı söylenebilir.

Ayrıca literatürde *arazi geliştirilmesi* ya da *sayısal arazi modeli geliştirilmesi* kavramları ve yöntemleri ile karşılaşılmaktadır. Bunlar, coğrafi bilgi sistemlerinde sayısal arazi modellerinin değişik ölçeklerde ve farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilmesini sağlamak için geliştirilmiştir. Ancak, bir sayısal arazi modelinin en temel ürünlerinden birinin yükseklik eğrileri olduğu göz önüne alındığında bu yaklaşım, **dolaylı olarak yükseklik eğrilerini geliştirme yaklaşımı** gibi kabul edilebilir. Bu yaklaşımla, geliştirilmiş yükseklik eğrileri, geliştirilmiş sayısal arazi modelinden elde edilir (Chen, 1987, 1989; Bjorke, 1993; Weibel, 1992).

Bu çalışmada, yalnız birinci yaklaşımla geliştirme yapan yöntemler ele alınmıştır.

1.4 Yükseklik Eğrilerinin Karakteristik Kısımlarının Korunması

Yükseklik eğrilerinin genelleştirilmesinde kullanılacak bir yöntemden en başta **yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarını koruması** beklenmektedir. Bu nedenle bu çalışmada genelleştirme yöntemleri esas olarak bu beklentiye göre değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, öncelikle yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımları ile ne kastedildiği açıkça ifade edilmelidir.

Yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımları, karakteristik çizgilerin yer aldıkları kısımlar olarak kabul edilebilir. Çünkü karakteristik çizgiler, arazi şekillerinin karakteristik kısımlarını belirginleştirmek için çizilen çizgilerdir ve arazi şekillerinin karakteristik kısımları, yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımları ile özdeştir.

Karakteristik çizgiler, su toplama ve dağıtma çizgileridir. Karakteristik çizgiler, yükseklik eğrileri arasındaki köprüler gibi düşünülebilir. Başka bir ifadeyle yükseklik eğrileri arasındaki jeomorfolojik ilişkinin kartografik işaretleridir.

Yükseklik eğrilerinin genelleştirilmesinde kullanılan mevcut basitleştirme yöntemlerinin basitleştirme ölçütleri (örneğin eşik mesafesi, eşik açısı, vb.) incelendiğinde karakteristik çizgilere dayanmadığı anlaşılmaktadır. Başka bir ifadeyle, mevcut basitleştirme yöntemleri yükseklik eğrilerini karakteristik çizgileri dikkate almadan basitleştirmektedirler. Bu ise mevcut basitleştirme yöntemlerinin kartografik ve jeomorfolojik temelleri olmadığı anlamına gelmektedir.

Sonuç olarak, yukarıdaki kabullere ve açıklamalara dayanarak, mevcut basitleştirme yöntemleriyle yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının korunamayabileceği ya da başka bir ifadeyle yükseklik eğrilerinin **karakteristik çizgiler boyunca** korunamayabileceği ifade edilebilir. Bu durum, ayrıca, Bölüm 3.4.2’de sonuçları görünen uygulamalarla da ispat edilmiştir.

1.5 Bu Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı,

- sayısal ortamda, noktalardan ve doğru parçalarından meydana gelen çizgisel objeler biçiminde mevcut olan yükseklik eğrilerinin Bölüm 1.3'te belirtilen birinci (temel) yaklaşımla genelleştirilmesinde kullanılabilecek,
- yükseklik eğrilerine özgü,
- kartografik ve jeomorfolojik temelleri olan,
- karakteristik çizgilere dayanan ve
- yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının korunmasını **kesin olarak** sağlayacak

bir basitleştirme ölçütü geliştirmek ve bu ölçütü mevcut en yaygın basitleştirme yöntemlerinden üçüne ilave etmektir.

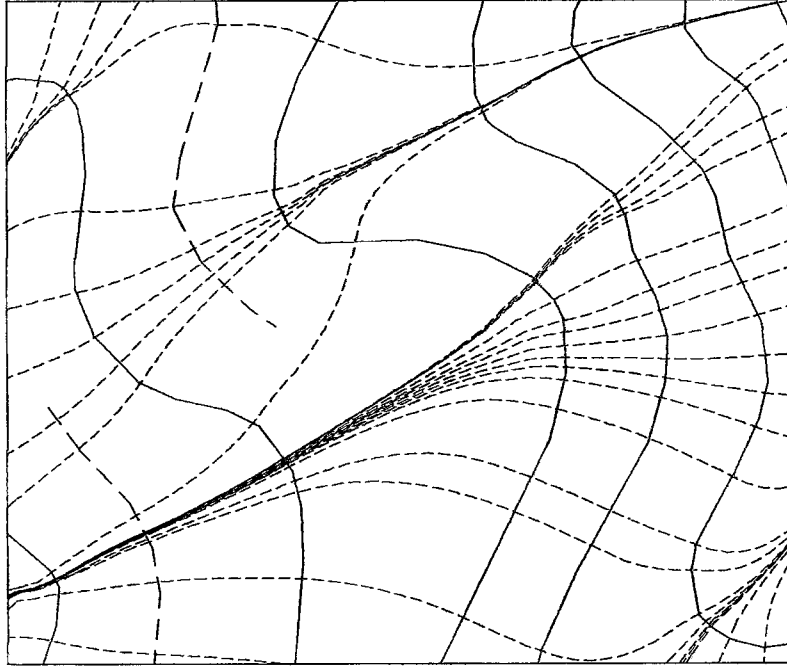
Bu amacı, Bölüm 1.4'te belirtilen mevcut basitleştirme yöntemlerinin yetersizliği ve Bölüm 2'de ayrıntılı olarak açıklanan **karakteristik çizgileri türetme yöntemi** belirlemiştir.

1.6 Karakteristik Çizgiler

Karakteristik çizgilerin bu çalışmada önemli bir yeri vardır. Bu nedenle aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Karakteristik çizgiler, en büyük eğim çizgilerinin birleşerek aldıkları ortak yollar ya da kısaca özel en büyük eğim çizgileri olarak tanımlanabilir (Şekil 1.1). Burada *en büyük eğim çizgileri* ile kastedilen en büyük eğim doğrultusunda ya da doğrultularında alınan yollardır.

Aumann (1991) karakteristik çizgiyi en büyük eğim çizgilerine bağlı olarak şöyle tanımlamaktadır: “Karakteristik çizgi, en büyük eğim çizgileri arasında en az eğimli olanıdır.”



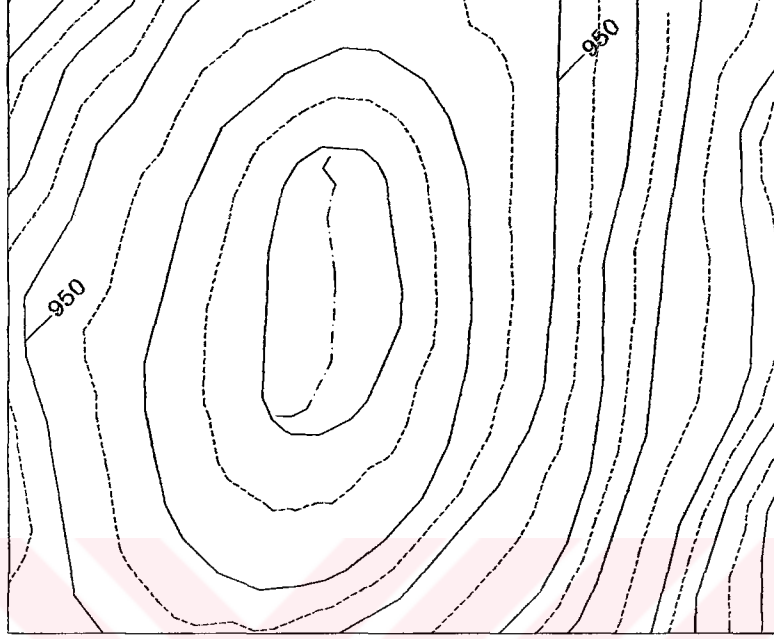
Şekil 1.1: Yükseklik eğrileri (sürekli ve geniş aralıklı kesikli çizgiler), en büyük eğim çizgileri (dar aralıklı kesikli çizgiler) ve karakteristik çizgiler

Finsterwalder'in (1986) tanımı ise şöyledir: "Su toplama çizgisi ve buna uygun olarak su dağıtma çizgisi en az eğimli en büyük eğim çizgisidir."

Finsterwalder (1986) yazısında ayrıca çeşitli kaynaklara kısaca şöyle değiniyor: "...su toplama çizgileri, topografya ve kartografya kaynaklarında, su toplayıcıları ya da vadilerin en derin noktalarını birleştiren çizgiler yani, suların bir arada aktığı çizgiler olarak ifade edilir. Buna karşılık su dağıtma çizgileri, su dağıtıcıları olarak ya da sırtların en yüksek noktalarını birleştiren çizgiler olarak tanımlanır."

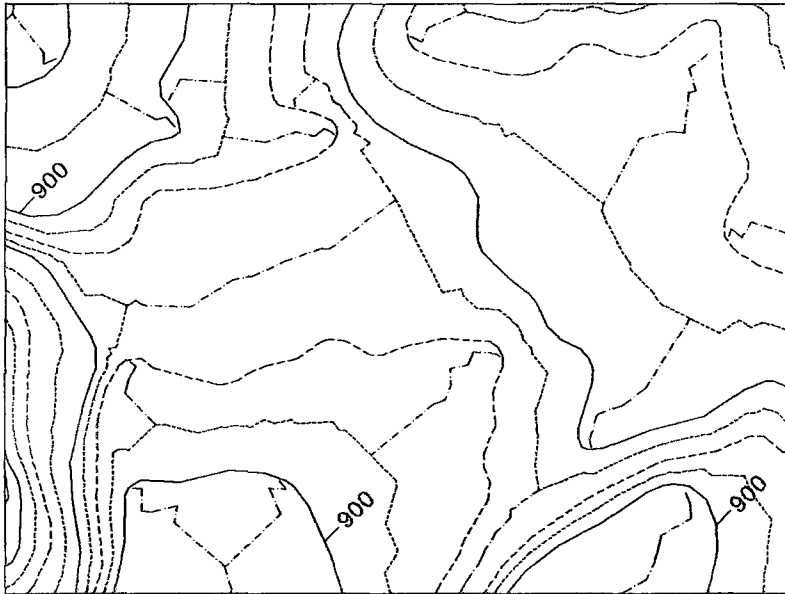
Tang (1992) bu çizgileri tanımlarken *orta eksen* kavramından yararlanıyor. Buna göre "... iki boyutlu bir objenin orta eksen, obje sınırları içinde ve ortada yer alan bir dizi noktadır. Yükseklik eğrileri objelerin sınırları gibi düşünüldüğünde iki tür orta eksen vardır: Komşu yükseklik eğrileri arasında yer alan orta eksenler ve aynı yükseklik eğrisinin iki parçası ya da aynı yüksekliğe sahip farklı yükseklik eğrileri arasında yer alan orta eksenler. Birincisi *normal orta eksenler* ve ikincisi *özel orta eksenler* olarak isimlendirilir. Şekil 1.2, 1.3 ve 1.4'te orta eksen örnekleri görünmektedir. Her bir özel orta eksen, iki uç noktası olan bir çizgi ya da ikiden fazla uç noktası olan bir çizgiler ağıdır. Buna göre;

- Eğer bir özel orta eksenin hiçbir uç noktası hiçbir normal orta eksene değmiyorsa bir tepe ya da çukur var demektir (Şekil 1.2).

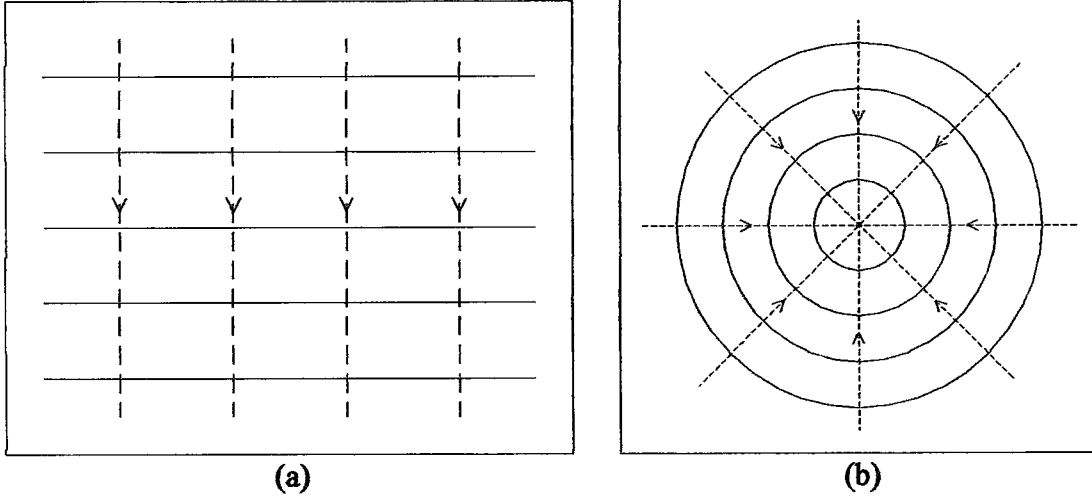


Şekil 1.2: Normal orta eksenler ve bir tepedeki özel orta eksen

- Eğer bir özel orta eksenin her bir uç noktası bir normal orta eksene değiyorsa bir boyun var demektir (Şekil 1.3).

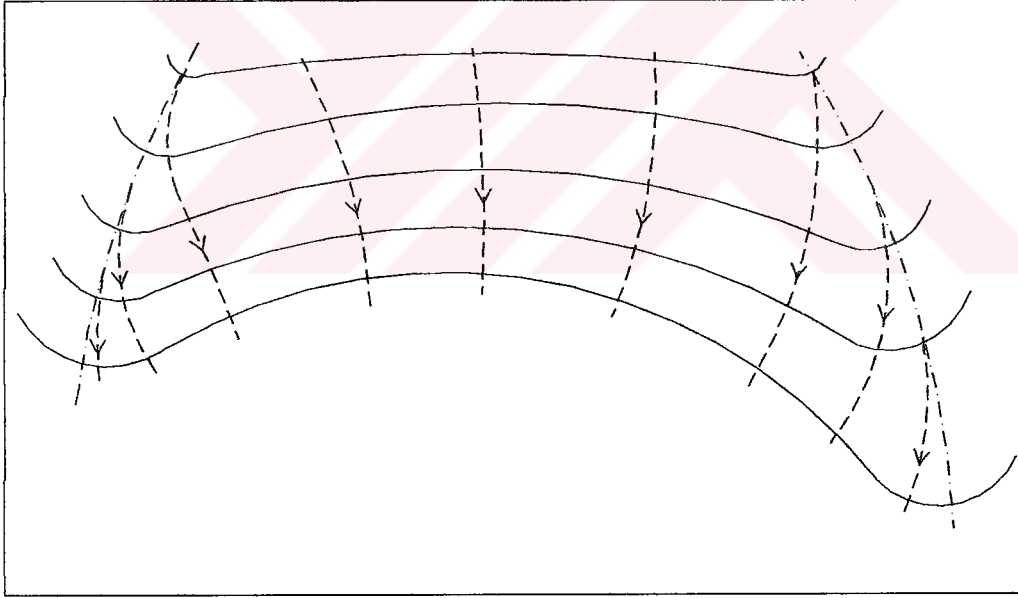


Şekil 1.3: Normal orta eksenler ve bir boyundaki özel orta eksen



Şekil 1.5: (a) Ova (b) Tepe ya da çukur (Finsterwalder, 1986)

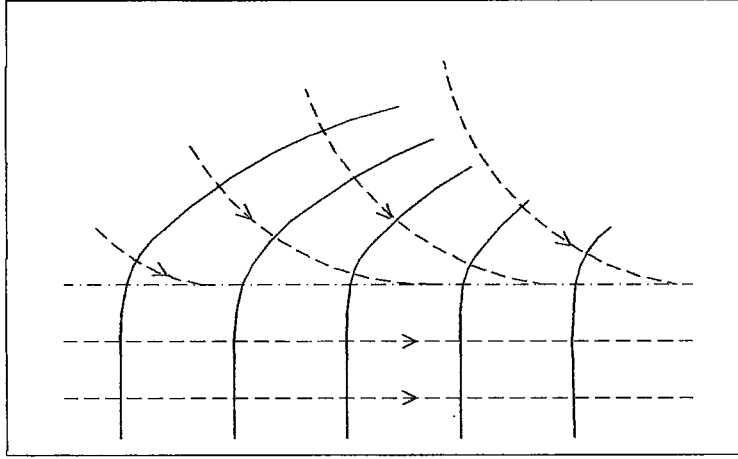
Yayvan (iki sırtla sınırlanmış) vadilerde de su toplama çizgisi bulunmaz (Şekil 1.6). Böyle bir yerde akaçlama, bu yerde birleşmeyen en büyük eğim çizgileriyle gerçekleşir.



Şekil 1.6: Yayvan vadi (Finsterwalder, 1986)

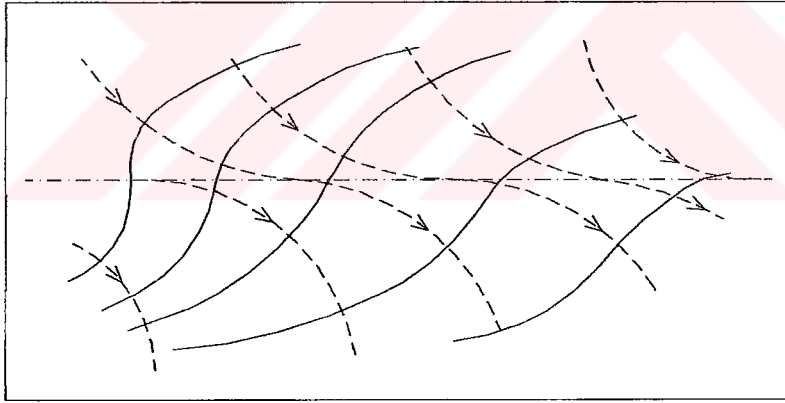
1.6.1.2 Tek taraflı vadiler ve sırtlar

Tek taraflı vadiler ve sırtlar da vardır. Tek taraflı vadiler, su toplama çizgisinin suyu yalnız bir taraftan aldığı, diğer taraftan hiç suyun gelmediği arazi şekilleridir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7: Tek taraflı vadi (Finsterwalder, 1986)

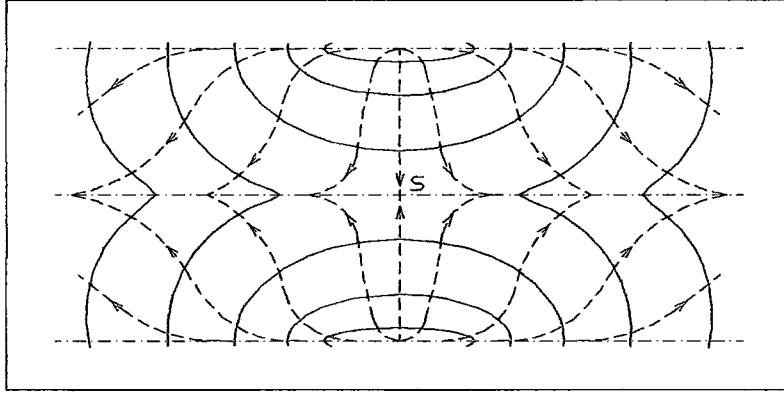
Benzer şekilde tek taraflı sırtlar suyu yalnız bir taraftan dağıtır. Bir su toplama çizgisinin aynı zamanda bir su dağıtma çizgisi olduğu durum da vardır. Bu durumda tek taraflı vadi ile tek taraflı sırtın ardışıklığı söz konusudur. Böyle bir hem su toplama hem de su dağıtma çizgisi suyu bir taraftan toplarken diğer tarafa dağıtır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8: Tek taraflı vadi ile tek taraflı sırtın ardışıklığı (Finsterwalder, 1986)

1.6.1.3 Bir boyun orta noktası etrafındaki su toplama ve dağıtma çizgileri

Rothe'ye göre bir boyun orta noktasında, aşağıya doğru giden iki su toplama çizgisi ve yukarıya doğru çıkan iki su dağıtma çizgisi her zaman mevcut olmayabilir. Bu durum hiçbir su dağıtma çizgisinin ortaya çıkmadığı bir enine boyun örneğinde görülebilir. Şekil 1.9'da tepe noktalarından S boyun noktasına inen çizgiler su dağıtma çizgileri değil, normal en büyük eğim çizgileridir.



Şekil 1.9: Bir boyun orta noktası etrafındaki karakteristik çizgiler (Finsterwalder, 1986)

1.6.2 Karakteristik çizgilerin bazı özellikleri

Karakteristik çizgilerin özellikleri ve karakteristik çizgilerin arazi şekilleri, en büyük eğim çizgileri ve yükseklik eğrileri ile ilişkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Karakteristik çizgiler yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarında yer alırlar.
- Yükseklik eğrileri karakteristik çizgileri dik açı altında keserler.
- Karakteristik çizgi tersinirdir. Eğer haritadaki vadi sırt olarak ya da sırt vadi olarak görünürse, su toplama çizgisi de su dağıtma çizgisi ya da su dağıtma çizgisi de su toplama çizgisi olarak görünür.
- Su toplama çizgisi genellikle dış bükey olmaz.
- Yükseklik eğrileri su toplama çizgisi boyunca genellikle yüksekte alçağa doğru sıklaşmaz.
- Su toplama çizgisi boyunca arazinin eğimi genellikle yüksekte alçağa doğru giderek küçülür.
- İki ya da daha fazla su toplama çizgisi birleşerek bir ana su toplama çizgisi meydana getirebilir.
- İki su toplama çizgisi birleşme noktasından itibaren yaklaşık ikisinin açıortayı doğrultusunda yol alır.
- Ana su toplama çizgisinin eğimi, kollarının (ana su toplama çizgisini meydana getiren su toplama çizgilerinin) eğimlerinden küçüktür.
- Su dağıtma çizgisi iç bükey ya da dış bükey olabilir.

- Su dağıtma çizgisinin iç bükey olduğu yerde yükseklik eğrileri yüksekten alçağa doğru seyrekleşirken dış bükey olduğu yerde alçaktan yükseğe doğru seyrekleşir.
- Su dağıtma çizgisi eğer iç bükeyse, arazinin eğimi genellikle yüksekten alçağa doğru giderek küçülür.
- Su dağıtma çizgisi eğer dış bükeyse, arazinin eğimi genellikle yüksekten alçağa doğru giderek büyür.
- Su dağıtma çizgisi kollara ayrılarak yoluna devam edebilir.
- Su dağıtma çizgisi sırtın her iki yanında bulunan bütün noktalardan daha yüksektedir.
- Karakteristik çizgi boyunca birleşen en büyük eğim çizgileri karakteristik çizgi sonunda ayrılırlar.
- En büyük eğim çizgisi yükseklik eğrisini dik açı altında keser.
- Yükseklik eğrileri karakteristik çizgiden geçerlerken doğrultularını ve yatay aralıklarını değiştirirler.

1.6.3 Karakteristik çizgilerin işlevleri

Karakteristik çizgilerin işlevleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yükseklik eğrileri ile gösterilen tepe, boyun, vadi ve sırt gibi arazi şekilleri karakteristik çizgilerle daha açık ve anlaşılır hale gelir.
- Karakteristik çizgiler taşıdıkları bilgilerle haritayı daha yararlı hale getirirler. Örneğin dağcılar su dağıtma çizgilerini tepelere giden en düz (en az eğimli) yollar olarak sık sık kullanırlar.
- Karakteristik çizgiler bir çok alanda (örneğin arazi gölgelendirme çalışmalarında ışık ve gölge ayırım çizgileri olarak, politik sınırların belirlenmesinde, vb.) önemli rol oynarlar.

1.7 Bu Çalışmanın Aşamaları

Bu çalışma aşağıdaki beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

Karakteristik çizgilerin türetilmesi ve karakteristik noktaların belirlenmesi:

- Birinci veri kümesi hazırlandı.
- Yazılan bir kaynak kod (*tversay*) ile birinci veri kümesindeki yükseklik eğrisi nokta sayısı otomatik olarak belirlendi.
- Yazılan bir kaynak kod (*tpoly*) ile *Triangle 1.3*'ün işleyeceği veriler (girdi dosyası) etkileşimli bir çalışmayla hazırlandı.
- *Triangle 1.3* ile zorlanmış *Delaunay* üçgenlemesi yöntemine göre üçgenleme yapıldı.
- Yazılan bir kaynak kod (*tucgagi*) ile *Triangle 1.3*'ün meydana getirdiği üçgen ağı (çıkış dosyası) AutoCAD'in veri tabanına otomatik olarak aktarıldı.
- Yazılan bir kaynak kod (*tyucg*) ile türetilecek karakteristik çizgilerin yerleri otomatik olarak belirlendi.
- Yazılan bir kaynak kod (*tyamvek*) ile türetilecek karakteristik çizgilerin türleri otomatik olarak belirlendi.
- Yazılan bir dizi kaynak kod (*tbagucg*, *tbyvyv*, *tek*, *tkcn*, *tkcyvaf*, *tkcyvunf*, *tkemucg*, *tkesn*, *tkorn*, *tkorun*, *tkorun2*, *tkucg*, *tkv*, *tpolyuk*, *tsecucg*, *tsudag*, *tsutop*, *tsuvyvv*, *ttest1*, *ttest2*, *ttest3*, *tucgyuk*, *tuniu*, *tuniu1*, *tuniu3*, *tuniu5*, *tuniu6*, *tuniu7*, *tyuksek*, *tyuksek2*, *tyuvyvv*) ile Aumann vd. (1991) tarafından geliştirilen yönteme göre etkileşimli bir çalışmayla karakteristik çizgiler türetildi ve karakteristik noktalar belirlendi.
- Yazılan bir kaynak kod (*tsonciz*) ile karakteristik çizgiler türetilirken ve karakteristik noktalar belirlenirken geçici olarak ve işlemi izleyebilmek için yaratılan bir dizi obje (örneğin seçilen üçgenin köşe noktalarındaki en büyük eğim vektörleri) otomatik olarak ortadan kaldırıldı.
- İkinci veri kümesi hazırlandı.

Mevcut üç basitleştirme yönteminin incelenmesi:

- Yazılan bir kaynak kod (*t2d3d*) ile AutoCAD Release 12'de birer polyline olan birinci veri kümesindeki yükseklik eğrilerinin AutoCAD Release 14'te de birer polyline olması otomatik olarak sağlandı.

- Yazılan bir kaynak kod (*tgs*) ile seyreltme işlemi otomatik olarak yapıldı ve birinci veri kümesinden birinci *alt* veri kümesi türetildi.
- Yazılan bir kaynak kod (*tversay2*) ile birinci *alt* veri kümesindeki yükseklik eğrisi nokta sayısı otomatik olarak belirlendi.
- Yazılan üç kaynak kod (*tgsn*, *tgsm*, *tgsa*) ile mevcut üç basitleştirme yöntemi (*n*. nokta, eşik mesafesi ve eşik açısı yöntemi) birinci *alt* veri kümesine otomatik olarak uygulandı ve elde edilen sonuçlara göre bir değerlendirme yapıldı.

Mevcut üç basitleştirme yönteminin yeniden düzenlenmesi:

- İkinci *alt* veri kümesi hazırlandı.
- Yazılan üç kaynak kod (*tgsnkn*, *tgsmkn*, *tgsakn*) ile yeniden düzenlenen mevcut üç basitleştirme yöntemi (*n*. ve karakteristik nokta yöntemi, eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemi, eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemi) ikinci *alt* veri kümesine otomatik olarak uygulandı ve elde edilen sonuçlara göre bir değerlendirme yapıldı.
- Değerlendirme sonuçlarına göre yeniden düzenlenen mevcut üç basitleştirme yöntemi ile mevcut üç basitleştirme yöntemi karşılaştırıldı.

Karakteristik çizgilerin uzatılması:

- Yazılan dokuz ilave kaynak kod (*tkorun2b*, *tkorunb*, *tsudagb*, *tsutopb*, *tuniu5b*, *tuniu6b*, *tuniu7b*, *tyuksekb*, *tyukse2b*) ile karakteristik çizgiler etkileşimli bir çalışma ile uzatıldı ve *ikinci derece karakteristik çizgiler* ve *ikinci derece karakteristik noktalar* elde edildi.
- Üçüncü veri kümesi hazırlandı.
- Üçüncü *alt* veri kümesi hazırlandı.
- Yeniden düzenlenen mevcut üç basitleştirme yöntemi, üçüncü *alt* veri kümesine otomatik olarak uygulandı ve elde edilen sonuçlara göre bir değerlendirme yapıldı.
- Karakteristik nokta içeren veri kümeleri karşılaştırıldı.
- Yazılan iki kaynak kod (*tansil*, *tansil-a*) ile karakteristik çizgiler türetilirken karakteristik nokta olarak belirlenmiş bir noktanın karakteristik çizgiler uzatılırken tekrar bir

karakteristik nokta olarak belirlenmesinden kaynaklanan nokta tekrarlarını önlemek için aynı noktalardan biri dışında hepsi otomatik olarak silindi.

AutoCAD'in programlama dili AutoLISP ile yazılan kaynak kodlar Ek 6'daki diskette verilmiştir.

Bu çalışmada, AutoCAD Release 12'de noktaların tam üstünden *spline* geçirilememesinden dolayı bazı aşamalar ya da işlemler AutoCAD Release 14'te gerçekleştirilmiştir. Bunlar Ek 1, 2, 3 ve 4'teki ekran görüntülerinde açıkça görünmektedir.



2. KARAKTERİSTİK ÇİZGİLERİN TÜRETİLMESİ ve KARAKTERİSTİK NOKTALARIN BELİRLENMESİ

Aumann vd. (1991) tarafından geliştirilen yöntemle yükseklik eğrilerinden karakteristik çizgilerin türetilmesi için yükseklik eğrilerinin, sayısal ortamda, noktalardan ve doğru parçalarından meydana gelen çizgisel objeler biçiminde mevcut olması gerekmektedir. Yükseklik eğrileri, bu biçimde aşağıdaki yollardan elde edilebilir.

Yükseklik eğrisi noktaları, topografik haritalardaki yükseklik eğrileri sayısallaştırılarak ya da tarandıktan sonra raster-vektör dönüşümü yapılarak elde edilebilir. Sayısallaştırma, yükseklik eğrisi üzerinde belli zaman aralıklarında, belli mesafelerde ya da isteğe bağlı olarak nokta ölçümü şeklinde yapılırken tarama, haritanın otomatik olarak raster hücrelerine ayrılması şeklinde yapılır.

Yükseklik eğrisi noktaları, arazinin ölçekli küçük bir modeli olan stereomodel üzerinden iki ayrı fotogrametrik yöntemle elde edilebilir. Birinci yöntem, yükseklik eğrisi noktalarının, sayısal çıkışlı duruma getirilen analog stereodeğerlendirme aletleri ile analog-sayısal sinyal dönüşümleri yapılarak bir kayıt ortamına aktarılmasıdır. İkinci yöntem ise yükseklik eğrisi noktalarının analitik stereodeğerlendirme aletleri ile doğrudan elde edilmesidir. Analitik stereodeğerlendirme aletleri zaten sayısal harita üretimi için tasarlanmıştır.

Uzaktan algılama teknikleriyle elde edilen görüntü çiftlerinden de stereomodeller meydana getirilebilir ve yukarıda açıklandığı gibi analitik stereodeğerlendirme aletleri ile değerlendirilerek yükseklik eğrisi noktaları elde edilebilir.

Veri kümesi rastlantısal olarak araziye dağılmış noktalar, su toplama çizgileri, su dağıtma çizgileri, kırık çizgiler, özel noktalar (tepe noktası, vb.), planimetrik objeler (evler, yollar, vb.), eşit aralıklı profiller, bir grid ağının kesim noktaları; yapısı ise üçgen ağı, grid ağı, karma (üçgen ağı ve grid ağı) olan sayısal arazi modellerinde yükseklik eğrisi noktaları üçgen köşe noktalarından ve/veya grid ağının kesim noktalarından enterpolasyon yapılarak hesap edilebilir.

Örneğin Harita Genel Komutanlığı'nda grafik haritalardaki yükseklik eğrileri sayısal ortama aşağıdaki gibi dokuz aşamada aktarılır:

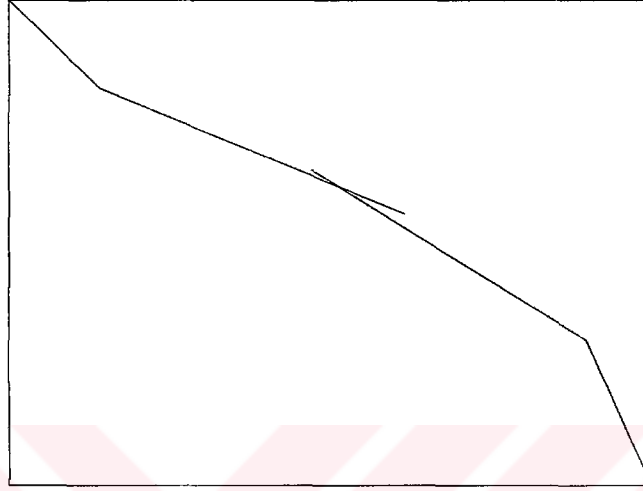
1. *Film çekimi*: Orijinal kalıplardan pozitif filmler oluşturulur.
2. *Filmlerin taramaya hazırlanması*: Köşe noktaları işaretlenir ve kesikli çizgiler şeklinde mevcut olan yardımcı yükseklik eğrileri 0.3 mm kalınlığında sürekli çizgiler haline getirilir.
3. *Raster tarama*: Filmler 50 micron (500 dpi) çözünürlükte *rle* (run length encoding) formatında taranır. Bu işlem OPTRONICS 5040 (50×40 inch) tarayıcı ve ISCAN (Intergraph Scanner) yazılımı ile gerçekleştirilir.
4. *Vektöre dönüştürme*: Raster-vektör dönüşümü yapılarak *rle* formatındaki dosyalar *dgn* (design) formatına dönüştürülür. Bu işlem IP WS'de çalışan IVEC (Intergraph VECTORIZATION) yazılımı ile gerçekleştirilir.
5. *Koordinat dönüşümü*: Coğrafi koordinatların UTM projeksiyon sistemindeki karşılıkları hesap edilir.
6. *Kontrol ve düzeltme*: Bu aşamaya kadar yapılan işlemler gözden geçirilir ve hatalar düzeltilir.
7. *Etiketleme (yükseklik değeri verme)*: Sayısal ortama aktarılan yükseklik eğrilerine yükseklik değerleri verilir.
8. *Kontrol çizimi*: Bu aşamaya kadar yapılan işlemler bir de kağıt üzerinde kontrol edilir.
9. *Kenarlaştırma*: Komşu paftalar yan yana getirildiklerinde ortaya çıkan kenarlaşma problemleri giderilir.

Yükseklik eğrileri sayısal ortama aktarılırken sıkça yapılan iki tür hata vardır. Öncelikle, raster tarama ve vektöre dönüştürme aşamalarında yapılan hatalar nedeniyle aynı yükseklik eğrisinin ardışık iki doğru parçası birbirini kesebilmektedir. Şekil 2.1 bu duruma bir örnektir.

Böyle bir hatanın düzeltilmesi, kesişen doğru parçalarının aynı yükseklik eğrisine ait doğru parçaları olduğu göz önüne alınarak, aşağıdaki şekillerde gerçekleştirilebilir:

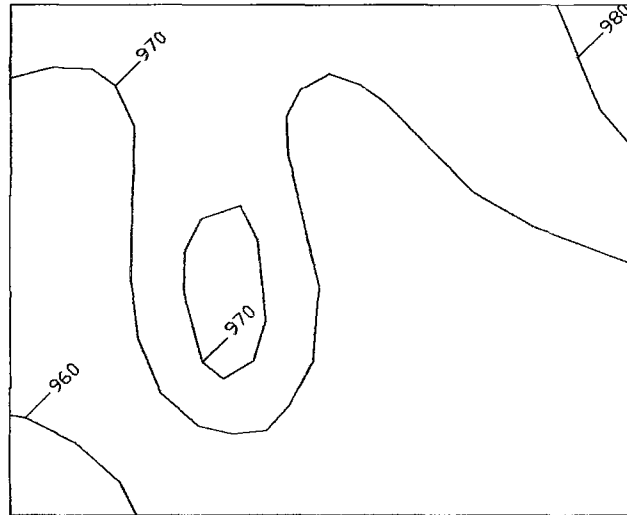
- Kesişen iki doğru parçası da silinerek tek bir doğru parçası meydana getirilebilir,

- iki doğru parçasının kesişim noktası, ortak uç noktası olacak şekilde yine iki doğru parçası meydana getirilebilir ya da
- kesişen doğru parçalarının uç noktalarından, kesişim noktasına yakın olanı esas alınarak yine iki doğru parçası meydana getirilebilir.



Şekil 2.1: Raster tarama ve vektöre dönüştürme hatası

İkinci olarak, etiketleme (yükseklik değeri verme) aşamasında yapılan bir hata nedeniyle, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, ardışık iki yükseklik eğrisi aynı yükseklik değerine sahip olabilmektedir. Bu hata ise etiketleme işleminin yeniden ve doğru yükseklik değeri ile yapılması şeklinde giderilebilir.

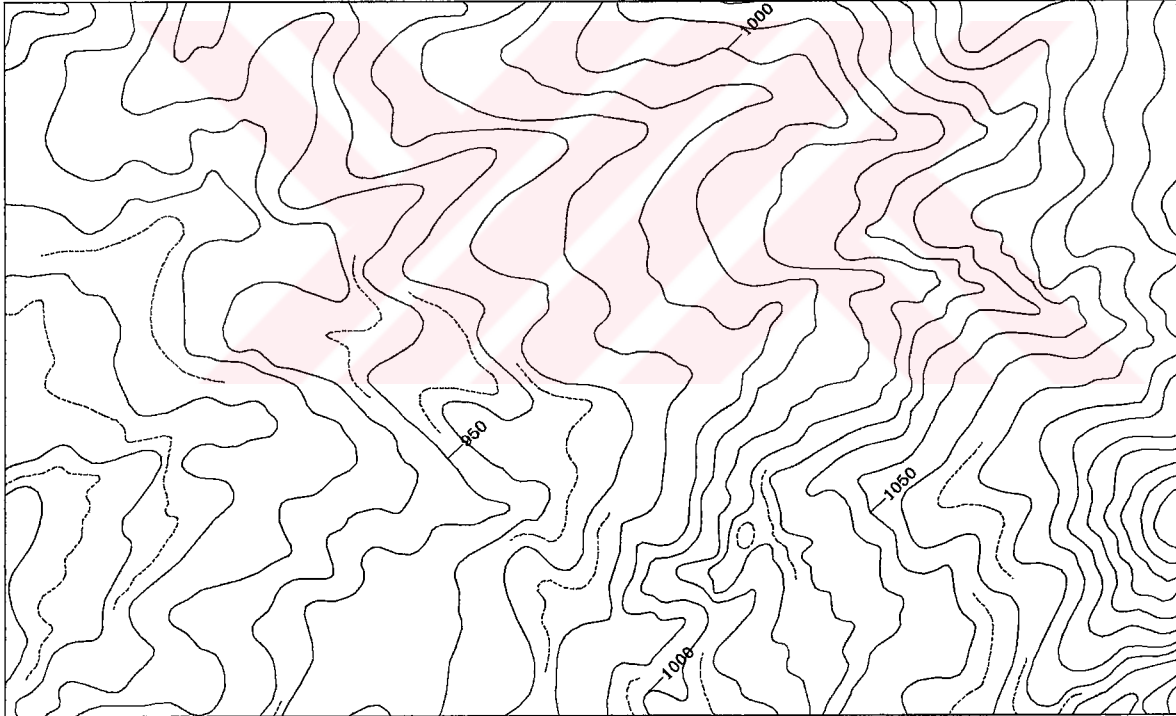


Şekil 2.2: Etiketleme (yükseklik değeri verme) hatası

2.1 Uygulamada Kullanılan Yükseklik Eğrileri

Uygulamada kullanılan yükseklik eğrileri Şekil 2.3’de *birinci veri kümesi* olarak görünmektedir. Birinci veri kümesindeki bilgiler ya da objeler beş katmanda toplanmıştır. Katmanlar ve içerdikleri bilgiler şunlardır:

- *Katman 0*: Yazılar
- *Katman 1*: Çerçeve
- *Katman 2*: Kalın yükseklik eğrileri
- *Katman 3*: İnce yükseklik eğrileri
- *Katman 4*: Yardımcı yükseklik eğrileri



Şekil 2.3: Birinci veri kümesi (Ölçek: 1 / 25 000)

Bu bilgilerin AutoCAD’in veri tabanındaki karşılıkları ise şöyledir:

- *Yazılar* → Text
- *Çerçeve* → Polyline

- *Kalın yükseklik eğrileri* → Polyline
- *İnce yükseklik eğrileri* → Polyline
- *Yardımcı yükseklik eğrileri* → Polyline

2.2 Hazırlık İşlemleri

Karakteristik çizgileri türetmeye başlamadan önce

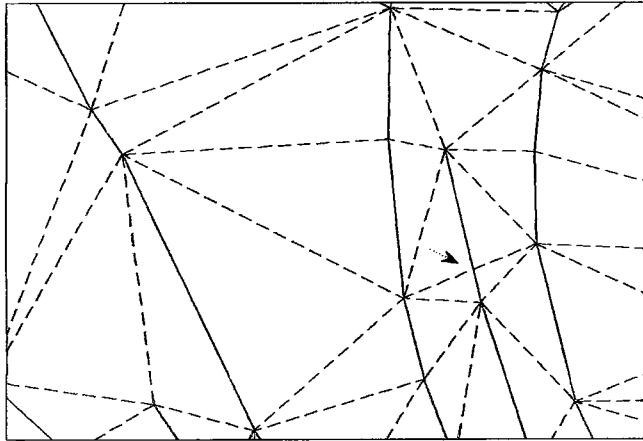
- bir optimum üçgen ağının elde edilmesi,
- elde edilen üçgen ağında karakteristik çizgilerin yerlerinin belirlenmesi ve
- belirlenen yerlerde türetilcek karakteristik çizgilerin türlerinin belirlenmesi

gerekir.

2.2.1 Optimum üçgen ağının elde edilmesi

Burada amaç, yükseklik eğrilerini meydana getiren noktalar ve doğru parçaları ile,

- her bir doğru parçasının aynı zamanda bir üçgen kenarı olduğu,
- üçgen kenarlarının birbirlerini kesmediği,
- üçgen kenarlarının doğru parçalarını kesmediği (Şekil 2.4) ve



Şekil 2.4: Doğru parçasını kesen üçgen kenarı

- her bir üçgenin bir Delaunay ya da zorlanmış Delaunay üçgeni olduğu

bir üçgen ağının elde edilmesidir.

2.2.1.1 Zorlanmış Delaunay üçgenlemesi

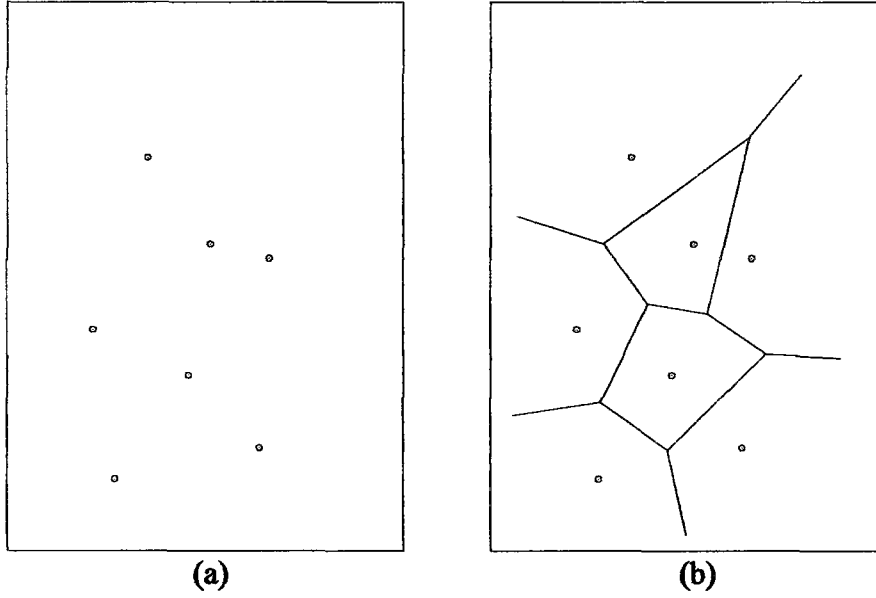
Genel olarak her nokta kümesi “yeni üçgen kenarı, mevcut bir üçgen kenarını uç noktaları dışında kesemez” koşuluna uygun üçgen kenarları meydana getirilerek üçgenlenebilir. Bu koşul üçgenleme yöntemlerinin ortak koşuludur. Üçgenleme yöntemleri diğer özelliklerine göre birbirlerinden ayrılırlar. *Zorlanmış Delaunay üçgenleme* yönteminin özellikleri ise kısaca şöyle özetlenebilir:

- Veri kümesi yalnız noktalardan meydana gelmez; noktalar arasına yerleştirilmiş, birbirlerini uç noktaları dışında kesmeyen bir dizi doğru parçası da vardır.
- Doğru parçaları sonuçta birer üçgen kenarı olur.
- Sonuç ürün (üçgen ağı), Delaunay üçgenleme yönteminin sonuç ürününe oldukça yakındır (Chew, 1989).

Bu bağlamda öncelikle Delaunay üçgenlemesinin yakından incelenmesi yararlı olacaktır. Düzlemde $V = \{v_1, \dots, v_N\}$, $N \geq 3$ nokta kümesinin (Şekil 2.5a) verildiğini kabul edelim. Hiçbir üç ya da daha fazla noktanın aynı bir doğru üzerinde ve hiçbir dört noktanın aynı bir çember üzerinde bulunmadığını varsayalım. $d(v_i, v_j)$, v_i ve v_j noktaları arasındaki mesafeyi gösterebilir. Buna göre *Voronoi* (Dirichlet, Wigner-Seitz, Thiessen, “S”) *poligomu* aşağıdaki gibi tanımlanır (Lee ve Schachter, 1980):

$$V(i) = \left\{ x \in E^2 \mid d(x, v_i) \leq d(x, v_j), j = 1, \dots, N \right\} \quad (2.1)$$

Başka bir ifadeyle, v_i noktası ile arasındaki mesafe diğer noktalarla arasındaki mesafelerden daha küçük ya da eşit olan noktaların meydana getirdiği bölgenin sınırları *Voronoi poligomu* olarak isimlendirilir (Şekil 2.5b).

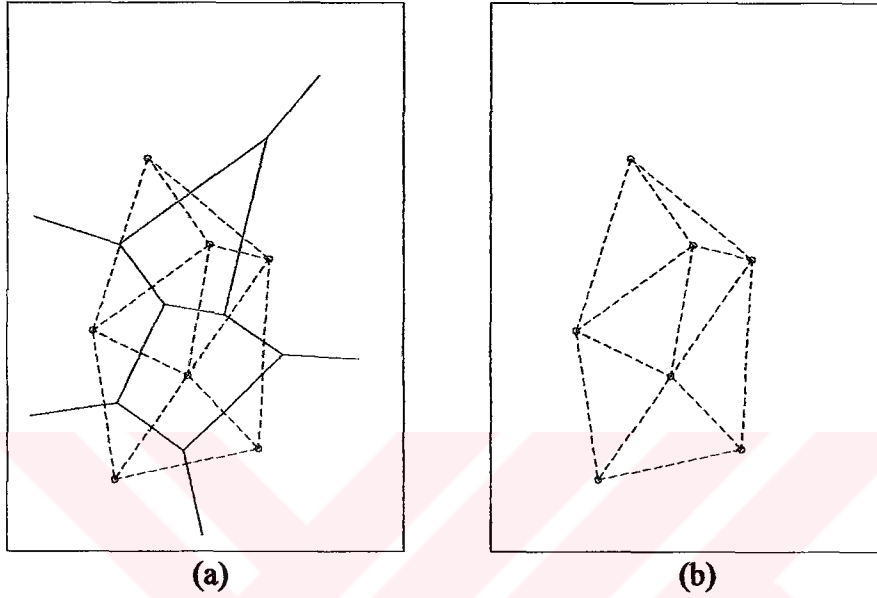


Şekil 2.5: (a) Veri kümesi V (b) Voronoi poligonları (Chew, 1989)

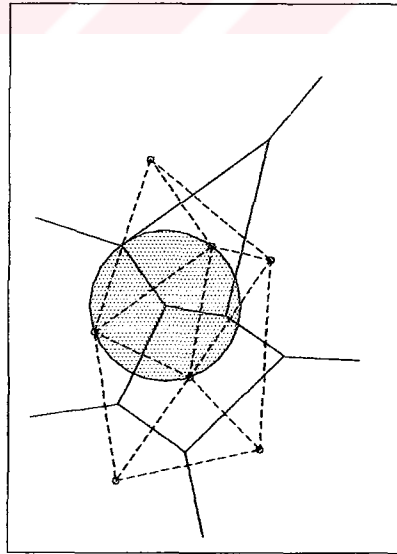
Voronoi poligonlarını birer hücre olarak düşünelim ve V 'deki her bir noktayı gelişen bir hücrenin çekirdeği olarak kabul edelim. Ayrıca hücrelerin eş zamanlı ve aynı hızda çekirdeklerinden dışa doğru gelişeceğini varsayalım. Bu durumda çekirdekleri V 'yi sınırlayan dış bükey poligon üzerinde yer alan hücreler hariç diğer hücreler birbirlerine temas edene kadar gelişeceklerdir. Temas noktaları hücre sınırlarını belirleyecektir. Böylece bir dizi örtüşmeyen, dış bükey, kapalı poligon meydana gelecektir. V 'yi sınırlayan dış bükey poligon üzerinde yer alan çekirdekler ise sürekli gelişebilecekleri için sonuçta birer açık poligon meydana getirirler. Bu işlem *Voronoi bezemesi* olarak isimlendirilir.

Tüm hücreler aynı hızda geliştikleri için iki hücre arasında ilk temas noktası, çekirdekleri arasındaki orta nokta olmalıdır. Aynı şekilde, her temas noktası çekirdekten eşit mesafede bulunmalıdır. Bu noktalar, meydana gelen iki Voronoi poligonunun ortak kenarında (*Voronoi kenarı*) yer alırlar. Bu kenar gelişmekte olan üçüncü bir hücrenin sınırı ile karşılaşınca kadar uzamayı sürdürür. Bu kenar ile üçüncü hücrenin temasından ortaya çıkan temas noktası *Voronoi noktası* olarak isimlendirilir ve üç hücrenin çekirdeklerinden eşit uzaklıktadır. Voronoi noktası bu nedenle üç çekirdekle tanımlanan üçgenin üzerinde bulunan çemberin merkezidir.

Ortak bir kenarı paylaşan Voronoi hücreleri *Voronoi komşuları* olarak isimlendirilir. Tüm Voronoi komşularının çekirdeklerini düz çizgilerle bağlayarak oluşturulan üçgenlerin tamamı V' 'yi sınırlayan dış bükey poligonun içindeki alanı bezer. Bu işlem, *Delaunay üçgenlemesi* olarak isimlendirilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: (a) Voronoi poligonları ve Delaunay üçgenlemesinin sonucu (b) Delaunay üçgenlemesinin sonucu (Chew, 1989)

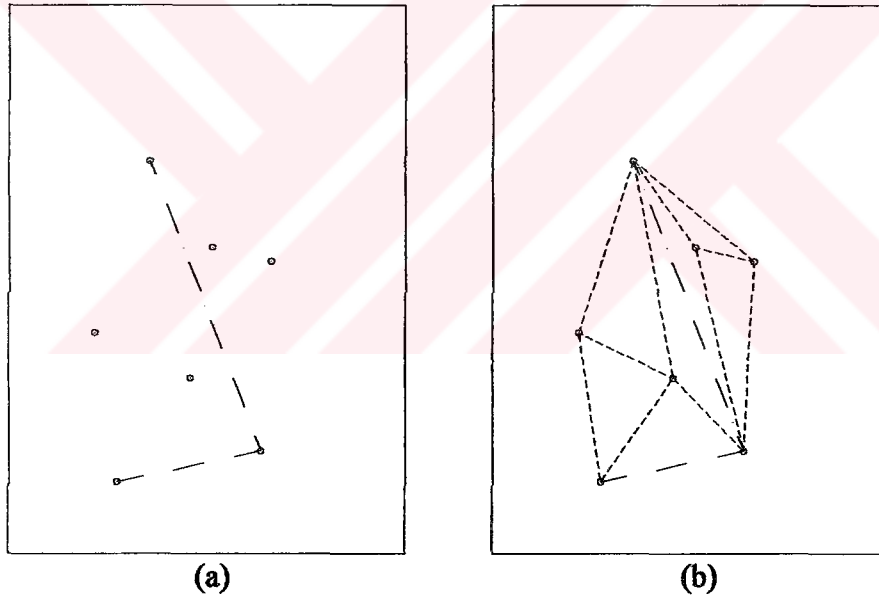


Şekil 2.7: Delaunay kenarı ve Delaunay üçgeni olma koşulu

v_i ve v_j noktaları V 'deki herhangi iki nokta olmak üzere, eğer v_i ve v_j 'den geçen ve iç kısmında V 'den hiçbir noktanın bulunmadığı bir çember (*boş çember*) varsa $\overline{v_i v_j}$ kenarı *Delaunay kenarı* olarak isimlendirilir (Şekil 2.7).

Eğer bir $\Delta_{v_i v_j v_k}$ üçgeninin üzerindeki (üç köşesinden de geçen) çember bir boş çember ise $\Delta_{v_i v_j v_k}$ üçgeni *Delaunay üçgeni* olarak isimlendirilir (Şekil 2.7) (Lee ve Schachter, 1980).

Yukarıdaki açıklamalardan sonra *zorlanmış Delaunay üçgenlemesi* yeniden şöyle tanımlanabilir: Düzlemde bir dizi noktayı ve bu noktalardan bir kısmının ya da tamamının arasına yerleştirilmiş, birbirlerini uç noktaları dışında kesmeyen bir dizi doğru parçasını içeren bir veri kümesi G verildiğini kabul edelim (Şekil 2.8a).

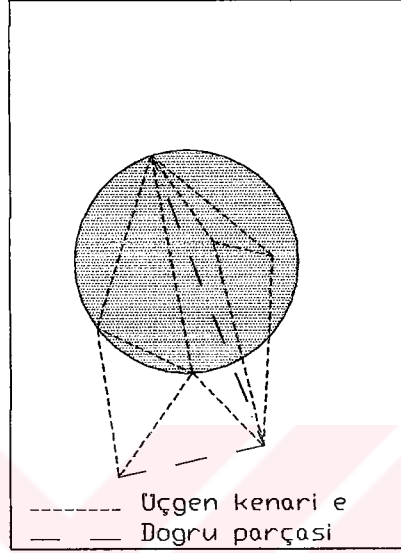


Şekil 2.8: (a) Veri kümesi G (Chew, 1989) (b) Zorlanmış Delaunay üçgenlemesinin sonucu (Chew, 1989)

Eğer G 'deki her bir doğru parçası, üçgen ağındaki bir üçgenin bir kenarı ise ve üçgen ağındaki geriye kalan her bir üçgen kenarı e için aşağıdaki özelliklere sahip bir c çemberi varsa yapılan üçgenlemeye, *zorlanmış Delaunay üçgenlemesi* denir.

- e kenarının uç noktaları c çemberinin üzerindedir (Şekil 2.9).

- Eğer G 'nin herhangi bir v noktası c çemberinin içinde ise v noktası e kenarının en az bir uç noktasından “görünmez”. Başka bir ifadeyle, v noktasından e kenarının her bir uç noktasına düz çizgiler çizilirse düz çizgilerden en az biri G 'deki bir doğru parçasını keser.



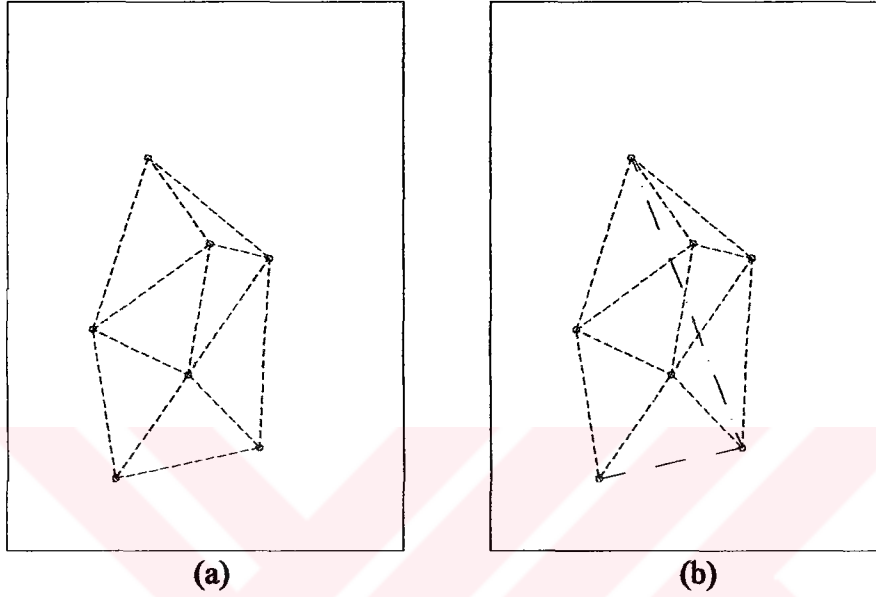
Şekil 2.9: Zorlanmış Delaunay üçgenlemesini, (zorlanmamış) Delaunay üçgenlemesinden ayıran özellik

Böyle bir e kenarı *zorlanmış Delaunay kenarı* olarak isimlendirilir. Benzer biçimde eğer bir üçgenin üzerinde yer alan (üçgenin üç köşesinden de geçen) bir çemberin iç kısmında G 'nin bir başka noktası ya da noktaları da varsa ve bu nokta ya da noktalar üçgenin hiçbir kenarından (üçgen kenarlarının en az birer uç noktasından) görünmüyorsa bu üçgen *zorlanmış Delaunay üçgeni* olarak isimlendirilir.

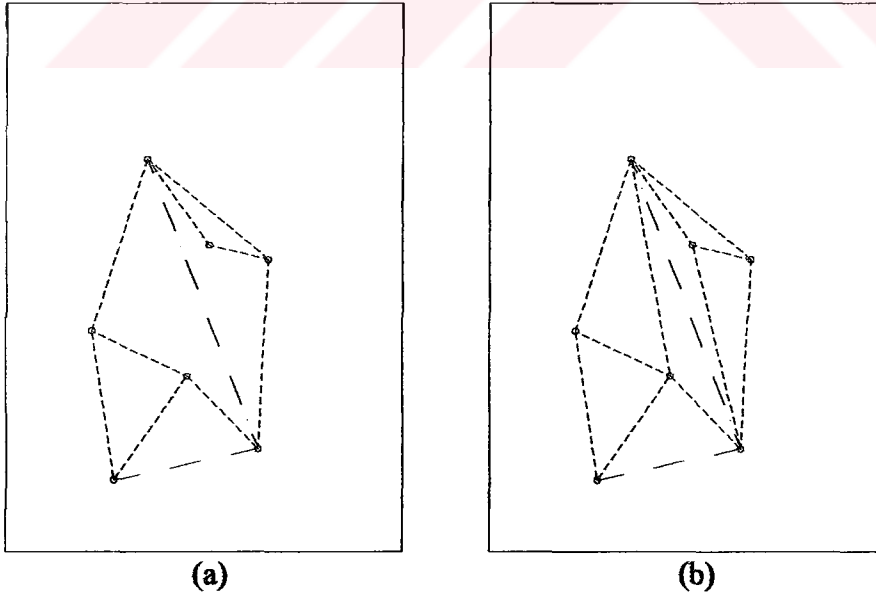
Bu çalışmada zorlanmış Delaunay üçgenlemesi Carnegie Mellon Üniversitesi'nde Jonathan Richard Shewchuk tarafından yazılmış olan *Triangle 1.3* (A Two-Dimensional Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator, Version 1.3) programı ile yapılmıştır. *Triangle 1.3*'ün zorlanmış Delaunay üçgenlemesi için izlediği yol, işlem adımları şeklinde aşağıdaki gibidir (Shewchuk, 1997):

- G 'deki noktalarla sıradan bir üçgenleme yapılır ve bir üçgen ağı elde edilir (Şekil 2.10a).

- G' 'deki doğru parçalarından üçgen ağının altında kalan olup olmadığı araştırılır. Çünkü üçgenleme, G' 'deki doğru parçaları göz önüne alınmadan yalnız G' 'deki noktalarla yapıldığı için doğru parçalarının üçgen ağının altında kalma ya da başka bir ifadeyle birer üçgen kenarı olmama olasılığı her zaman vardır (Şekil 2.10b).



Şekil 2.10: (a) Üçgen ağı (Chew, 1989) (b) Üçgen ağının altında kalan doğru parçası



Şekil 2.11: (a) Doğru parçasının üçgen ağına dahil edilmesi ve meydana gelen poligonlar (b) Poligonların yeniden üçgenlenmesi ile elde edilen sonuç (Chew, 1989)

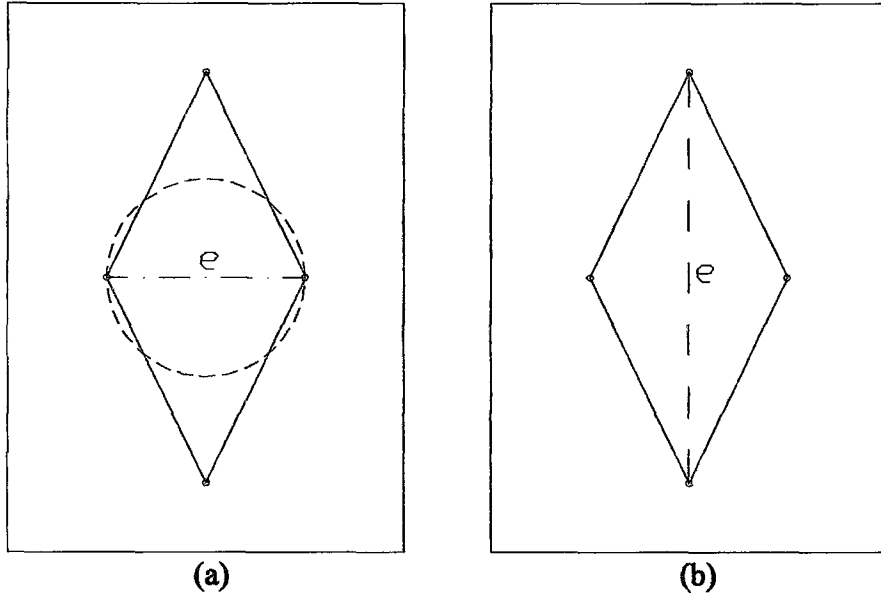
- Üçgen ağının altında kalan doğru parçalarının kestiği üçgen kenarları silinir ve böylece doğru parçaları da üçgen ağına dahil edilmiş olur. Ayrıca dahil edilen her bir doğru parçasının iki tarafında birer poligon meydana gelmiş olur (Şekil 2.11a).
- Poligonlar yeniden üçgenlenir ve böylece G 'deki tüm noktaları ve doğru parçalarını içeren bir üçgen ağı elde edilmiş olur (Şekil 2.11b).
- Doğru parçaları koruma altına alınmak ya da başka bir ifadeyle doğru parçalarında herhangi bir değişiklik yapmamak koşuluyla *fiske* (*flip*) algoritması uygulanır.

Fiske algoritması öncelikle üçgen ağında *lokal Delaunay kenarı* niteliğinde olmayan bir üçgen kenarı olup olmadığını araştırır. Sınır üzerindeki tüm kenarlar lokal Delaunay kenarlarıdır. Sınır üzerinde olmayan herhangi bir e kenarı için lokal Delaunay kenarı olma koşulu, Delaunay kenarı olma koşuluna benzerdir ancak burada yalnız e kenarını içeren ya da ortak kenarı e olan iki üçgen göz önüne alınır.

Örneğin Şekil 2.12, dört noktadan meydana gelen bir veri kümesini üçgenlemenin iki farklı yolunu göstermektedir. Soldaki üçgen ağında e kenarı bir lokal Delaunay kenarıdır. Çünkü e 'nin uç noktalarından geçen çember, e 'nin iki yanında bulunan ve ortak kenarı e olan iki üçgenin üçüncü köşe noktalarını içermemektedir. Sağdaki üçgen ağında ise e kenarı bir lokal Delaunay kenarı değildir. Çünkü e 'nin iki yanında bulunan üçgen köşe noktaları, e 'nin üzerinden (uç noktalarından) bir boş çember geçirme olasılığını ortadan kaldırmaktadır.

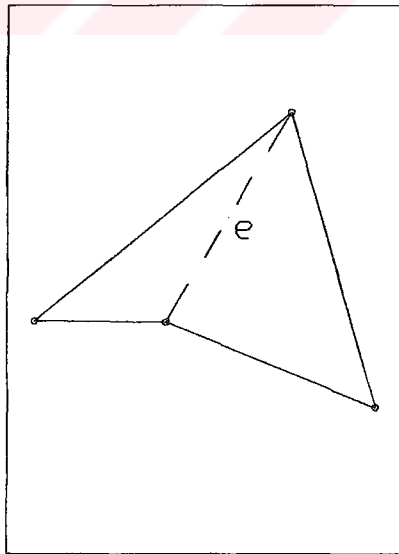
Ayrıca, bir lokal Delaunay kenarı aynı zamanda bir Delaunay kenarı olmayabilir. Örneğin soldaki iki üçgeni, daha büyük bir üçgen ağının bir parçası olarak kabul edelim. Bu durumda belki de çemberin içine bir başka nokta daha girecektir. O zaman e kenarı bir Delaunay kenarı olmayacaktır ama hala bir lokal Delaunay kenarı olacaktır.

Fiske algoritması, lokal Delaunay kenarı niteliğinde olmayan bir kenar bulduğunda onu **fiskeler**. Bir kenarın fiskelenmesi, o kenarın silinmesi ve böylece o kenarı paylaşan iki üçgenin birleşerek bir dörtgen meydana getirmesi ve dörtgenin diğer köşegeninin üçgen ağına dahil edilmesi anlamına gelir.



Şekil 2.12: Dört noktadan meydana gelen bir kümeye ilişkin iki farklı üçgenleme. Soldaki e kenarı bir lokal Delaunay kenarı iken sağdaki değildir (Shewchuk, 1997)

Sonuç olarak fiskeleme yapıldığında örneğin Şekil 2.12'nin solundaki üçgen ağı, sağındaki üçgen ağına dönüşebilir ya da tersi olabilir. Ancak her kenar fiskelenemez. Çünkü Şekil 2.13'de görüldüğü gibi kenarın silinmesiyle meydana gelecek dörtgen dış bükey olmayabilir.



Şekil 2.13: Dörtgenin dış bükey olmaması durumuna bir örnek (Shewchuk, 1997)

Zorlanmış Delaunay üçgenlemesinin diğer bazı özellikleri ise şunlardır:

- Eğer bir üçgen ağındaki üçgenlerin tümü birer zorlanmış Delaunay üçgeni ise o zaman üçgen ağındaki kenarların (üçgen kenarlarının) tümü de zorlanmış Delaunay kenarıdır ve bunun tersi de geçerlidir.
- Eğer bir üçgen ağındaki normal kenarların tümü (G 'deki doğru parçalarının haricindeki üçgen kenarlarının tümü) lokal Delaunay kenarı niteliğinde ise o zaman üçgen ağındaki her bir üçgen kenarı bir zorlanmış Delaunay kenarıdır.
- Eğer G 'de hiç doğru parçası yoksa o zaman zorlanmış Delaunay üçgenlemesi ile elde edilecek sonuç, (zorlanmamış) Delaunay üçgenlemesi ile elde edilecek sonuç ile aynıdır (Chew, 1989).

Triangle 1.3 programının girdi dosyası bir dizi nokta, bu noktaların bir kısmını ya da tamamını birbirine bağlayan bir dizi doğru parçası ve bazı ek bilgilerden meydana gelir. Uzantısı *.poly* olan bir girdi dosyasının formatı aşağıdaki gibidir.

Birinci kısım:

Birinci satır: <# noktalar><boyut (2 olmalı)><#öznitelikler><# sınır işaretleri (0 ya da 1)>

Sonraki satırlar: <nokta #><x><y>[öznitelik][sınır işareti]

İkinci kısım:

Birinci satır: <# doğru parçaları><# sınır işaretleri (0 ya da 1)>

Sonraki satırlar: <doğru parçası #><uç nokta><uç nokta> [sınır işareti]

Üçüncü kısım:

Birinci satır: <# delikler>

Sonraki satırlar: <delik #><x><y>

Dördüncü kısım:

İsteğe bağlı birinci satır: <# bölgesel öznitelikler ve/veya alan zorlamaları>

İsteğe bağlı sonraki satırlar: <zorlama #><x><y><öznitelik><maksimum alan>

Birinci kısım noktaları listeler. Noktalar baştan itibaren 1'den başlanarak ardışık olarak numaralandırılır. Noktalar x ve y koordinat değerleri ile iki boyutlu olarak belirtilir. Öznitelikler noktaların fiziksel niceliklerini (örneğin kütle ya da öziletkenlik) gösteren

sayılardır ve **eğer varsa** belirtilirler. Bu çalışmada böylesi öznitelikler söz konusu olmadığından hazırlanan veri dosyasında bunlara yer verilmedi. Sınır işaretleri ise bir noktanın, noktaları sınırlayan dış bükey poligon üzerinde olup olmadığını belirtir. Sınır işaretleri sınır noktası olmayanlar için 0 ya da sınır noktası olanlar için 1 olabilir.

İkinci kısım doğru parçalarını listeler. Her bir doğru parçası iki uç noktası ile belirtilir. Uç noktalar koordinat değerleri ile değil yukarıdaki listede verilen nokta numaraları ile belirtilir. Bu nedenle uç noktalar, mutlaka nokta listesinde yer alan noktalar olmalıdır. Bu çalışmada noktaları sınırlayan dış bükey poligonun kenarları, sınır kenarları (1) olarak alınmıştır.

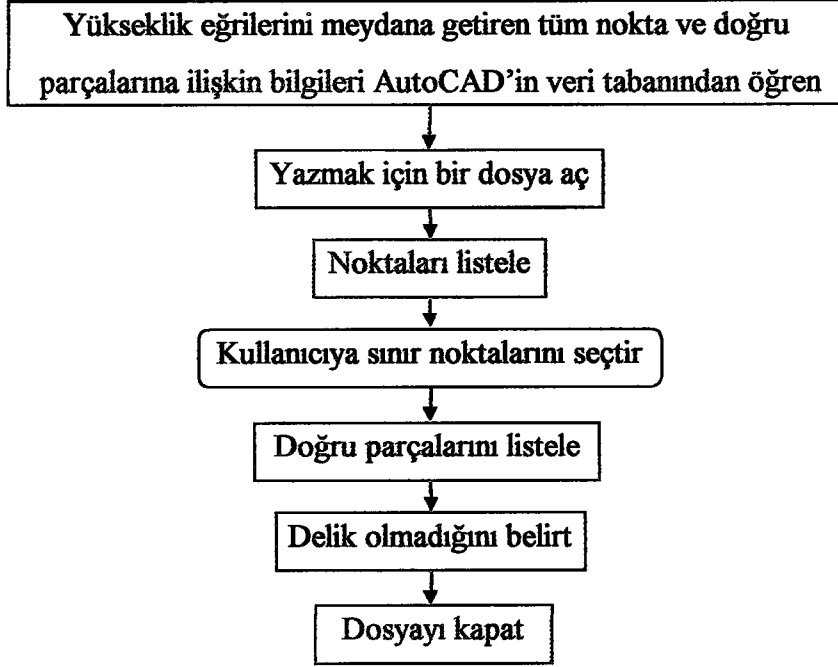
Üçüncü kısım üçgenlemedeki delikleri listeler. Burada *delik* ile kastedilen üçgenleme yapılması istenmeyen yerdir. Böylesi yerler kapalı poligonlar şeklinde dosyanın bu kısmında belirtilir. Ancak bu çalışmada delik söz konusu değildir.

İsteğe bağlı dördüncü kısımda bir bölgedeki tüm üçgenlere tahsis edilecek bölgesel öznitelikler ve maksimum üçgen alanı konusundaki bölgesel zorlamalar listelenir. Bu çalışmada böylesi öznitelikler ve zorlamalar da söz konusu değildir.

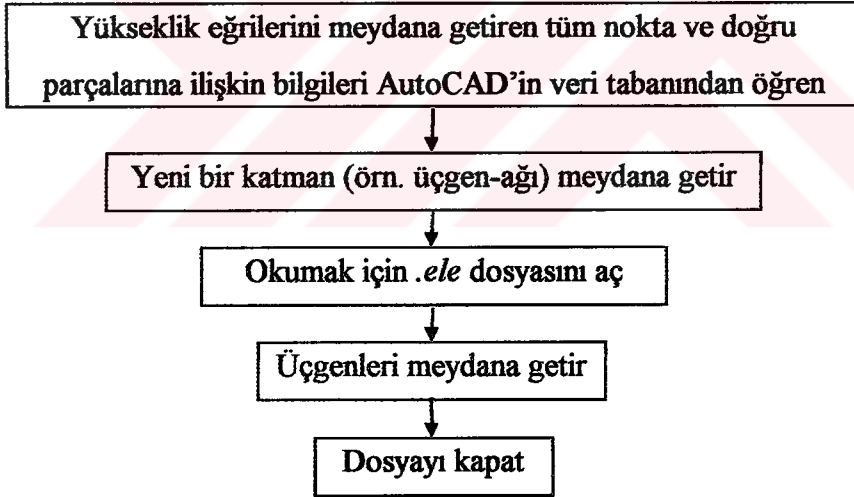
İdeal bir *.poly* dosyası birbirini kesmeyen ya da uç noktaları dışında başka bir noktaya sahip olmayan doğru parçalarından meydana gelir.

Ek 5’de *Triangle 1.3*’ün bu çalışmadaki girdi dosyası *tez.poly* verilmiştir. Bu dosyanın yazılan kaynak kod *tpoly* ile nasıl hazırlandığı Şekil 2.14’teki akış diyagramında görülmektedir. *Triangle 1.3*, bu şekilde hazırlanmış bir girdi dosyasını ele alır ve üçgenleme yapar. Zorlanmış Delaunay üçgenlemesine göre meydana getirilen üçgenler, uzantısı *.ele* olan bir dosyaya (çıktı dosyasına) yazılır. Üçgenler köşe noktalarının numaraları ile belirtilir.

Bu çalışmada, üçgenleme sonucunun görünür hale getirilmesi başka bir ifadeyle, *Triangle 1.3* tarafından meydana getirilen üçgenlerin AutoCAD’in veri tabanına aktarılması, yazılan kaynak kod *tucgagi* ile Şekil 2.15’deki akış diyagramında görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir.

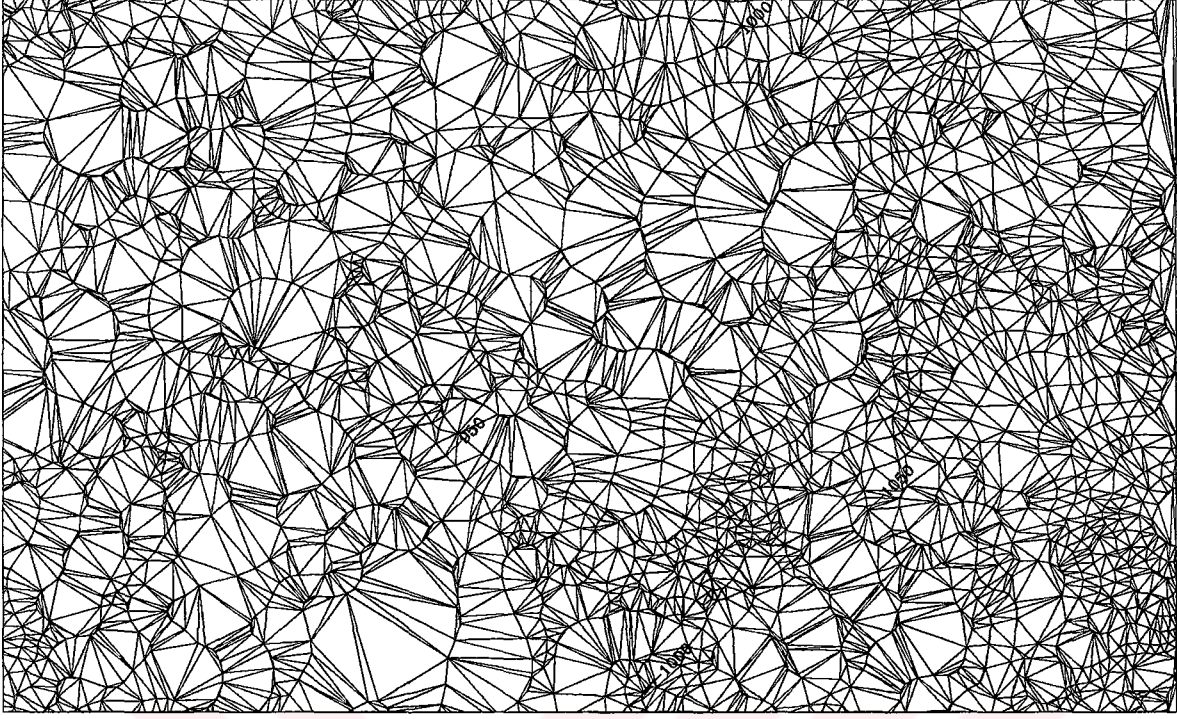


Şekil 2.14: *Triangle 1.3*'ün girdi dosyasının hazırlanması için geliştirilen algoritmanın akış diyagramı



Şekil 2.15: *Triangle 1.3*'ün çıktı dosyasındaki üçgenlerin AutoCAD'ın veri tabanına aktarılması için geliştirilen algoritmanın akış diyagramı

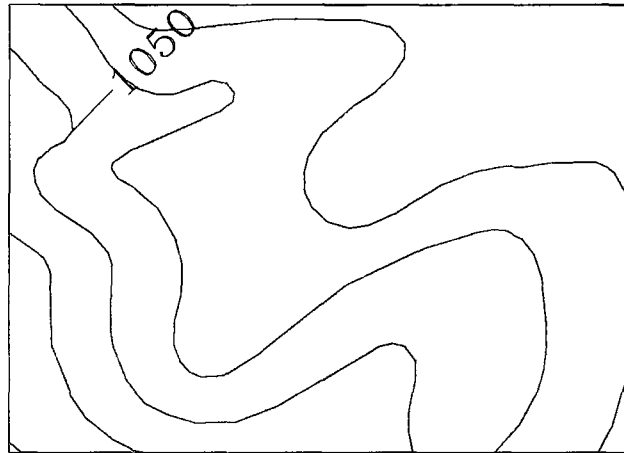
Bu şekilde yapılan zorlanmış Delaunay üçgenlemesi ile meydana gelen üçgen ağının birinci veri kümesine karşılık gelen kısmı Şekil 2.16'da görünmektedir.



Şekil 2.16: Üçgen ağı (Ölçek: 1 / 25 000)

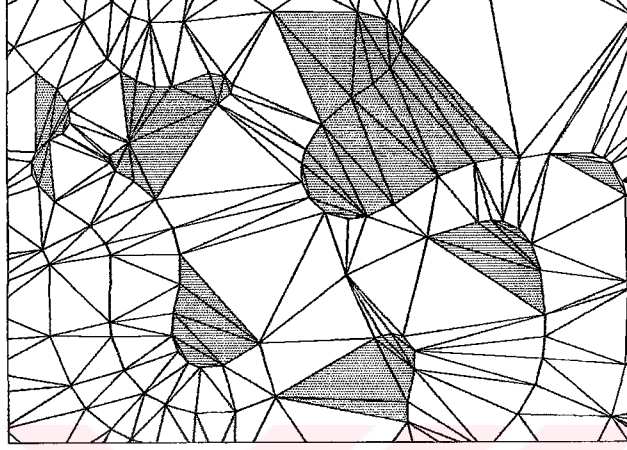
2.2.2 Karakteristik çizgilerin yerlerinin belirlenmesi

Yukarıdaki gibi bir üçgen ağında *yatay üçgenler* ortaya çıkmaktadır. Üç köşesinin yüksekliği de aynı olan üçgen olarak tanımlanan bir *yatay üçgen*, üçgenlemenin hatalı ya da yetersiz olmasından kaynaklanıyor gibi görünse de önemli ipuçları içermektedir.



Şekil 2.17: Yükseklik eğrileri

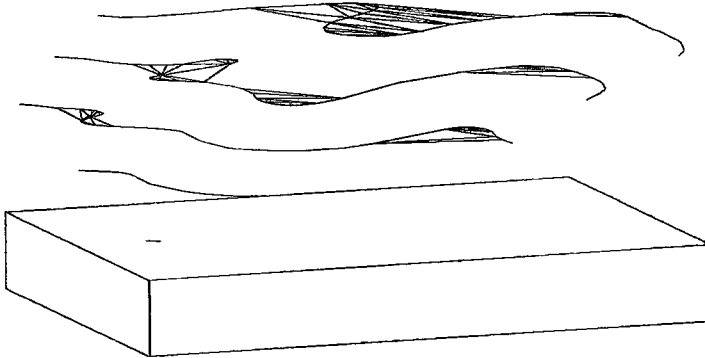
Yatay üçgenler, karakteristik çizgilerin büyük olasılıkla mevcut olduğu yerlerde ortaya çıkmaktadır (Aumann vd., 1991). Başka bir ifadeyle, arazinin karakteristik yapısının değiştiği yerlerde böylesi yatay üçgenler ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.18, 2.20 ve 2.21).



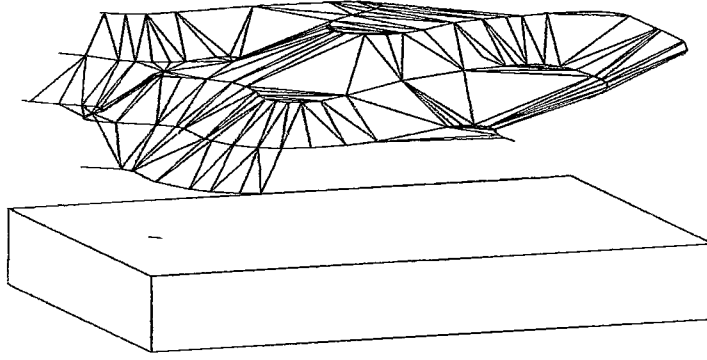
Şekil 2.18: Yatay üçgenler



Şekil 2.19: Yükseklik eğrilerinin bir açıdan üç boyutlu görünümü



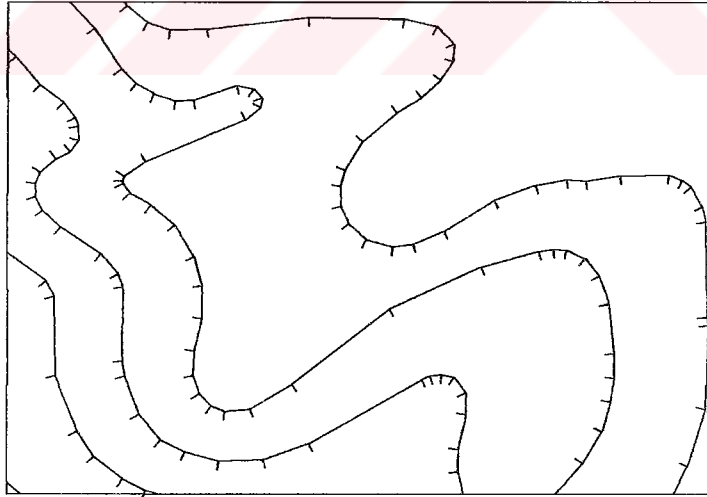
Şekil 2.20: Yükseklik eğrileri ve yatay üçgenlerin bir açıdan üç boyutlu görünümü



Şekil 2.21: Üçgen ağının bir açıdan üç boyutlu görünümü

2.2.3 Karakteristik çizgilerin türlerinin belirlenmesi

Türetilcek karakteristik çizgilerin türleri, yükseklik eğrisi noktalarındaki en büyük eğim vektörleri yardımıyla belirlenmektedir. **Bir yükseklik eğrisi noktasındaki en büyük eğim vektörü, açıortay birim vektör olarak kabul edilmektedir (Aumann vd., 1991).** Burada kastedilen açıortay, ortak uç noktası aynı zamanda en büyük eğim vektörü hesap edilecek yükseklik eğrisi noktası olan, ardışık iki doğru parçası (yükseklik eğrisini meydana getiren ardışık doğru parçalarından ikisi) arasındaki açıortaydır.



Şekil 2.22: Yükseklik eğrisi noktalarındaki en büyük eğim vektörleri

Açıortayların, yükseklik eğrilerinin yükselen taraflarında mı yoksa alçalan taraflarında mı hesap edileceğine önceden karar verilir ve tüm açıortaylar aynı tarafta hesap edilir. Buna göre örneğin, tüm açıortaylar yükseklik eğrilerinin alçalan taraflarında hesap edilmişse ve

karakteristik çizgi türetilcek bir yerdeki açıortaylar birbirlerini gösteriyorlarsa o yerde türetilcek karakteristik çizgi, su toplama çizgisidir. Bu durumun tersi ise su dağıtma çizgileri için geçerlidir. Şekil 2.22’de örnek yükseklik eğrisi noktalarındaki en büyük eğim vektörleri görünmektedir.

2.3 İzleme İşlemi

İzleme işlemi bir örnek ile şöyle açıklanabilir. Yer yüzünde yüksek bir yerden aşağı doğru bir bilyenin yuvarlanmaya bırakılacağını varsayalım. Eğer arazi düz ise bilye yuvarlanmaya başlayacağı noktadan itibaren aynı doğrultu boyunca yol alacaktır. Eğer arazi düz değilse arazi eğiminin değişimine bağlı olarak bilye de doğrultusunu değiştirecek ve değişik doğrultular boyunca yol alacaktır. Hem birinci durumdaki doğrultunun hem de ikinci durumdaki doğrultuların ortak bir özelliği vardır. Bunlar en büyük eğim doğrultularıdır. Başka bir ifadeyle böyle yüksekten alçağa doğru yuvarlanmaya bırakılan bir bilye daima en büyük eğim doğrultularını izleyerek yol alır. Alınan bu yolun Kartografya terminolojisindeki karşılığı *en büyük eğim çizgisidir* ve bu yolun yükseklik eğrilerine dayanan üçgen ağında hesap edilmesi *izleme işlemi* olarak isimlendirilir.

Bu bağlamda, en büyük eğim çizgilerinin iki önemli özelliği şunlardır:

- Bir en büyük eğim çizgisi arazinin bütününde izlenebilir.
- İstenen sayıda ve sıklıkta en büyük eğim çizgisi izlenebilir.

İzleme işlemi ile arazinin bütününde ve yeteri sıklıkta en büyük eğim çizgisi hesap edilirse sonuçta aşağıdaki durumlar tespit edilebilir:

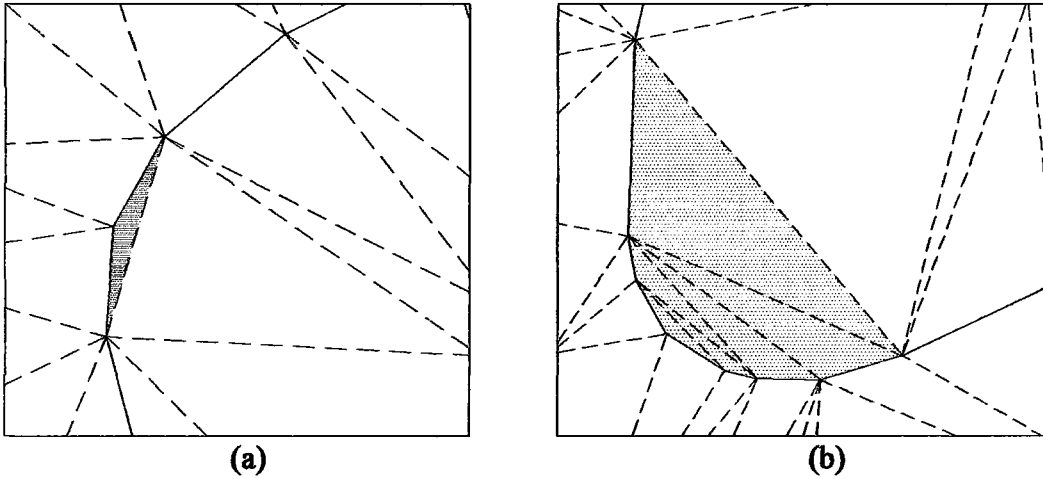
- Bazı en büyük eğim çizgileri arazinin bazı yerlerinde bir araya gelmekte ve bir süre beraber yol aldıktan sonra tekrar ayrılmaktadır (Şekil 1.1).
- En büyük eğim çizgilerinin bir araya geldikleri yerlerin büyük çoğunluğu üçgen ağındaki yatay üçgenlerdir. Başka bir ifadeyle, en büyük eğim çizgileri genellikle yatay üçgenler boyunca beraber yol almaktadır.

- En büyük eğim çizgilerinin bir araya gelerek beraber aldıkları yollar genellikle arazinin karakteristik çizgileri ile çakışmaktadır (Şekil 1.1).

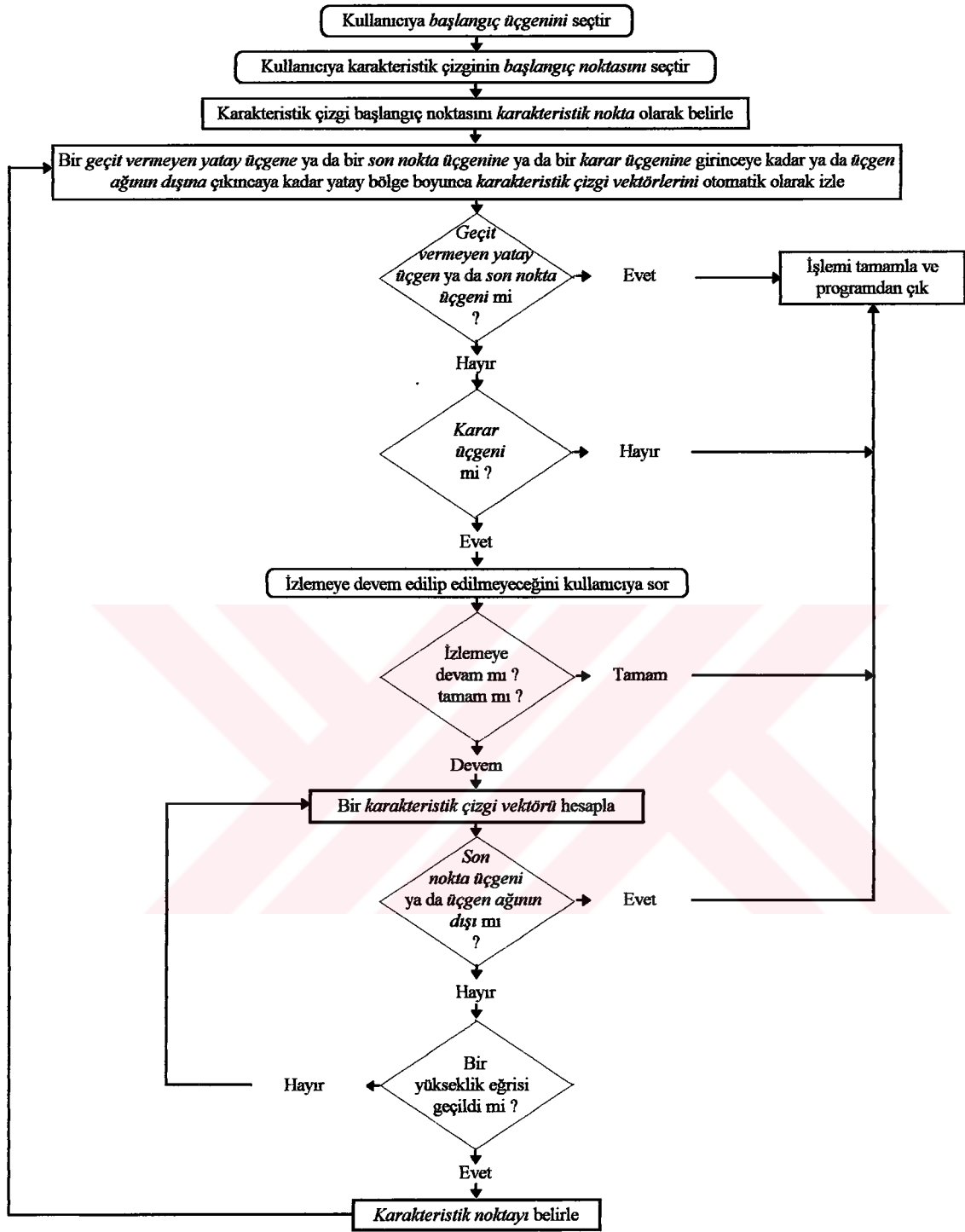
Görüldüğü gibi karakteristik çizgiler, yerleri büyük çoğunlukla belli olan *özel* en büyük eğim çizgileridir. Bu nedenle karakteristik çizgileri türetmek için yukarıdaki gibi arazinin bütününde ve çok sayıda en büyük eğim çizgisi izlemeye gerek yoktur. Doğrudan doğruya karakteristik çizgiler de izlenebilir. Bu işlem geliştirilen algoritmaya (Şekil 2.24) göre aşağıdaki gibi yapılır.

Bir karakteristik çizgi izleme işlemi kullanıcı tarafından bir *başlangıç üçgeninin* seçilmesi ile başlar. Bu ilk adım karakteristik çizginin gerçek uzunluğunda ve bir bütün olarak türetilmesi açısından son derece önemlidir. Doğru seçimin yapılabilmesi kullanıcının ilk bakışta dağınık ve karmaşık gibi görünen yatay üçgenleri iyi algılamasına; yatay üçgenlerin meydana getirdikleri *yatay ve kritik bölgeleri* görebilmesine bağlıdır.

Bir *yatay bölge* komşusu olmayan bir yatay üçgenden (Şekil 2.23a) ya da ortak kenarları yükseklik eğrisi üzerinde bulunmayan bir dizi komşu yatay üçgenden (Şekil 2.23b) meydana gelir.

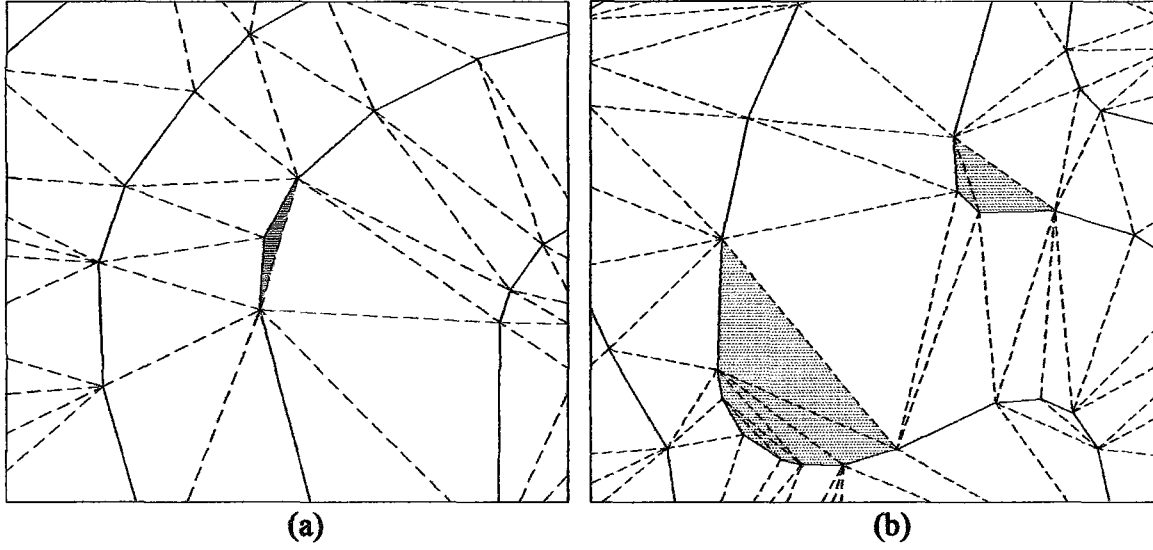


Şekil 2.23: (a) Komşusu olmayan bir yatay üçgenden meydana gelen yatay bölge (b) Ortak kenarları yükseklik eğrisi üzerinde bulunmayan bir dizi komşu yatay üçgenden meydana gelen yatay bölge



Şekil 2.24.: İzleme algoritmasının akış diyagramı

Bir *kritik bölge* ise bir yatay bölgeden (Şekil 2.25a) ya da ardışık bir dizi yatay bölgeden (Şekil 2.25b) meydana gelir.



Şekil 2.25: (a) Bir yatay bölgeden meydana gelen kritik bölge (b) Ardışık iki yatay bölgeden meydana gelen kritik bölge

İki yatay bölgenin ardışık olması, yatay bölgeler arasındaki yükseklik farkının yatay bölgelerin üzerlerinde yer aldıkları yükseklik eğrileri arasındaki yükseklik farkına eşit olmasıdır. Başka bir ifadeyle, üzerlerinde yatay üçgenler bulunan iki yükseklik eğrisi arasında üzerinde yatay üçgen bulunmayan bir yükseklik eğrisinin bulunmamasıdır.

Kısacası, türetilecek karakteristik çizgi eğer bir su toplama çizgisi ise kritik bölgenin en yüksek yatay bölgesinde, eğer bir su dağıtma çizgisi ise kritik bölgenin en alçak yatay bölgesinde yer alan bir *özel* yatay üçgen başlangıç üçgeni olarak seçilir. Başlangıç üçgeninin özelliği, üç köşe noktasından birinin, yatay bölge tarafındaki (karakteristik çizgiyi izleme yönündeki) komşu (en yakın) yükseklik eğrisine en uzak mesafede bulunuyor olmasıdır. Bir köşe noktasının komşu yükseklik eğrisine olan mesafesi, noktadan geçen en büyük eğim çizgisinin bu aradaki uzunluğudur. Bu çalışmada her bir karakteristik çizginin başlangıç üçgeni deneme yoluyla belirlenmiştir. Su toplama çizgisi için başlangıç üçgeninin en yüksek yatay bölgede seçilmesinin nedeni, izleme işleminin su toplama çizgisi için yukarıdaki bilgi örneğinde olduğu gibi yukarıdan aşağıya doğru gerçekleştiriliyor olmasıdır. Bunun tersi de su dağıtma çizgileri için geçerlidir.

Başlangıç üçgeni seçildikten sonra yine kullanıcı tarafından karakteristik çizginin başlangıç noktası seçilir. Bu nokta başlangıç üçgeninin komşu yükseklik eğrisine en uzak mesafede

bulunan noktasıdır. Çünkü karakteristik çizgi, kritik bölgedeki en az eğimli ve en uzun en büyük eğim çizgisi olmalıdır (Aumann ve Ebner, 1992b).

Seçilen karakteristik çizgi başlangıç noktası aynı zamanda birinci *karakteristik nokta* olarak belirlenir. **Karakteristik noktalar**, genelleştirme sırasında elimine edilmeyecek yükseklik eğrisi noktalarına verilen isimdir. Karakteristik nokta, “korunacak-noktalar” isimli katmana yerleştirilir ve yeni bir obje olarak AutoCAD’in veri tabanındaki yerini alır.

Daha sonra başlangıç noktasından itibaren yatay bölge boyunca bir *geçit vermeyen yatay üçgene* ya da bir *son nokta üçgenine* ya da bir *karar üçgenine* girinceye kadar ya da üçgen ağının dışına çıkıncaya kadar büyüklükleri bir birim ve doğrultuları en büyük eğim doğrultusu olan bir dizi vektör ardışık olarak hesap edilir. Bu vektörler *karakteristik çizgi vektörleri* olarak isimlendirilebilir. Tanımdan da anlaşılacağı gibi bir karakteristik çizgi vektörünün hesabında bilinmeyen yalnız vektörün doğrultusudur. Başlangıç noktası olarak (eğer birinci karakteristik çizgi vektörü hesap edilmiyorsa) en son hesaplanan karakteristik çizgi vektörünün son noktası alınır. Birinci karakteristik çizgi vektörünün başlangıç noktası doğal olarak karakteristik çizginin başlangıç noktasıdır ve tüm vektörlerin büyüklükleri bir birimdir. Bir birim büyüklüğün değeri,

$$SL = 0.1 \times MP \quad (2.2)$$

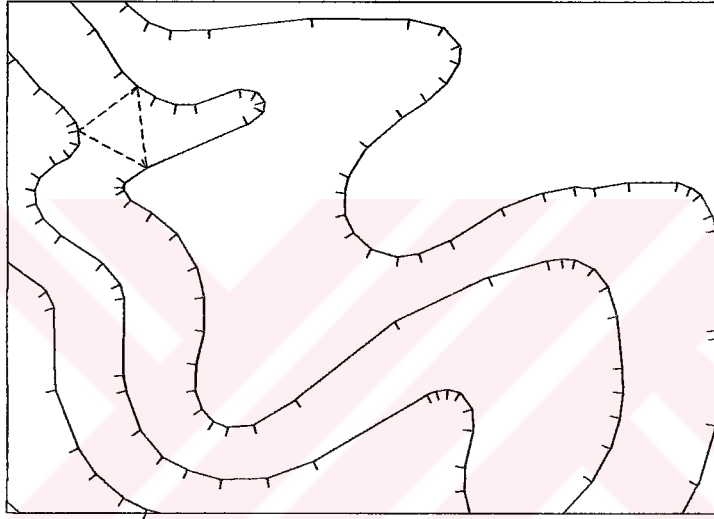
bağıntısı ile hesap edilir. Burada *MP*, yükseklik eğrilerini meydana getiren doğru parçalarının uzunluklarının ortalamasıdır (Aumann, 1994).

Bir karakteristik çizgi vektörünün doğrultusu (başlangıç noktasındaki en büyük eğim doğrultusu) aşağıdaki işlem adımlarından sonra hesap edilir:

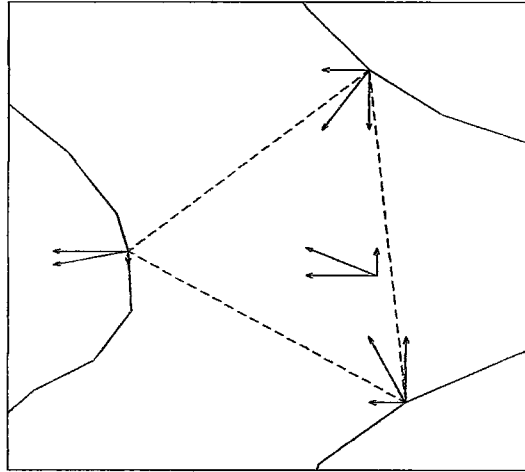
1. Karakteristik çizgi vektörünün başlangıç noktasını içeren üçgenin köşe noktalarındaki en büyük eğim vektörlerinin doğrultularının (köşe noktalarındaki en büyük eğim doğrultularının) ve bileşenlerinin (x ve y) hesabı.

2. Üçgen köşe noktalarındaki en büyük eğim vektörlerinin x ve y bileşenlerinden ayrı ayrı lineer enterpolasyonla karakteristik çizgi vektörünün x ve y bileşenlerinin ve doğrultusunun hesabı.

Karakteristik çizgi vektörünün başlangıç noktasını içeren üçgenin köşe noktalarındaki en büyük eğim vektörlerinin doğrultuları (köşe noktalarındaki en büyük eğim doğrultuları) üçgen köşe noktaları ile özdeş olan yükseklik eğrisi noktalarındaki açıortaylardır. Şekil 2.26 ve 2.27’de örnekleri görünmektedir.



Şekil 2.26: Yükseklik eğrisi noktalarındaki açıortay birim vektörleri (en büyük eğim vektörleri)



Şekil 2.27: Bir karakteristik çizgi vektörünün başlangıç noktasındaki ve başlangıç noktasını içeren üçgenin köşe noktalarındaki en büyük eğim vektörleri ve x ve y bileşenleri

Açıortaylar ve bileşenleri (x ve y) yükseklik eğrisi noktalarının koordinatlarından temel jeodezik hesaplarla kolayca hesap edilebilir.

Karakteristik çizgi vektörünün x ve y bileşenlerinin karakteristik çizgi vektörünün başlangıç noktasını içeren üçgenin köşe noktalarındaki en büyük eğim vektörlerinin x ve y bileşenlerinden hesabı herhangi bir lineer enterpolasyon yöntemiyle yapılabilir. Bu çalışmada aşağıdaki enterpolasyon bağıntısından yararlanılmıştır.

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (2.3)$$

Genelde bir üçgenin herhangi bir yerinde yer alan bir noktanın yüksekliğini üçgenin köşe noktalarının yüksekliklerinden hesap etmek için kullanılan bu bağıntı aşağıdaki gibi değiştirilmiştir:

$$\begin{bmatrix} x_i & y_i & x_{\vec{v}_i} & 1 \\ x_1 & y_1 & x_{\vec{v}_1} & 1 \\ x_2 & y_2 & x_{\vec{v}_2} & 1 \\ x_3 & y_3 & x_{\vec{v}_3} & 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} x_i & y_i & y_{\vec{v}_i} & 1 \\ x_1 & y_1 & y_{\vec{v}_1} & 1 \\ x_2 & y_2 & y_{\vec{v}_2} & 1 \\ x_3 & y_3 & y_{\vec{v}_3} & 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (2.5)$$

Burada,

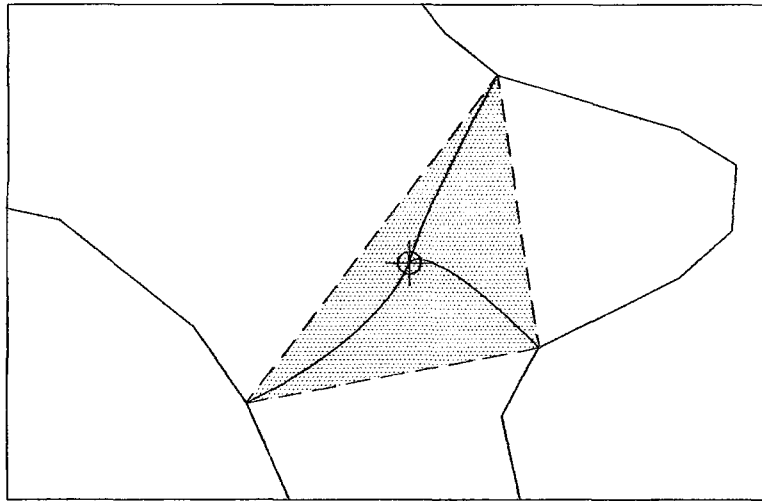
x_i, y_i karakteristik çizginin i . vektörü $\vec{v}_i$ 'nin başlangıç noktasının koordinatları

$x_{\vec{v}_i}, y_{\vec{v}_i}$ karakteristik çizginin i . vektörü $\vec{v}_i$ 'nin x ve y bileşenleri

x_1, y_1	karakteristik çizginin i . vektörü $\vec{v}_i$ 'nin başlangıç noktasını içeren üçgenin birinci köşe noktasının koordinatları
$x_{\vec{v}_1}, y_{\vec{v}_1}$	karakteristik çizginin i . vektörü $\vec{v}_i$ 'nin başlangıç noktasını içeren üçgenin birinci köşesindeki en büyük eğim vektörünün x ve y bileşenleri
x_2, y_2	karakteristik çizginin i . vektörü $\vec{v}_i$ 'nin başlangıç noktasını içeren üçgenin ikinci köşe noktasının koordinatları
$x_{\vec{v}_2}, y_{\vec{v}_2}$	karakteristik çizginin i . vektörü $\vec{v}_i$ 'nin başlangıç noktasını içeren üçgenin ikinci köşesindeki en büyük eğim vektörünün x ve y bileşenleri
x_3, y_3	karakteristik çizginin i . vektörü $\vec{v}_i$ 'nin başlangıç noktasını içeren üçgenin üçüncü köşe noktasının koordinatları
$x_{\vec{v}_3}, y_{\vec{v}_3}$	karakteristik çizginin i . vektörü $\vec{v}_i$ 'nin başlangıç noktasını içeren üçgenin üçüncü köşesindeki en büyük eğim vektörünün x ve y bileşenleri

Karakteristik çizgi vektörünün doğrultusu ise yine temel jeodezik hesaplarla karakteristik çizgi vektörünün x ve y bileşenlerinden kolayca hesap edilebilir.

Karateristik çizgi vektörlerinin ardışık ve otomatik olarak hesaplanması yukarıda ifade edildiği gibi bir geçit vermeyen yatay üçgene ya da bir son nokta üçgenine ya da bir karar üçgenine girinceye kadar ya da üçgen ağının dışına çıkıncaya kadar devam eder.



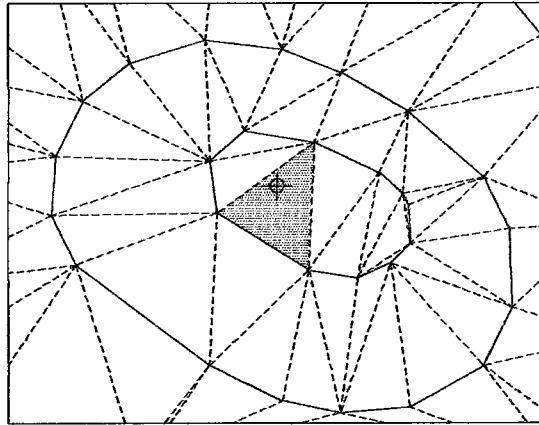
Şekil 2.28: Bir geçit vermeyen yatay üçgen ve denge noktasında birleşen üç en büyük eğim çizgisi

Bir *geçit vermeyen yatay üçgen*, karakteristik çizgi vektörlerinin içinden çıkamadıkları bir yatay üçgendir. Bir geçit vermeyen yatay üçgenin üzerinde ya da içinde izlenen her en büyük eğim vektörü aynı noktada birleşir. Bu noktaya *denge noktası* denilebilir ve bu noktada eğim (her yönde) sıfırdır (Şekil 2.28). Aşağıdaki bağıntılarla her üçgen için (üçgenin köşe noktalarının koordinatları ve köşe noktalarındaki en büyük eğim vektörleri ile) bir denge noktası (x_i, y_i) hesaplanabilir. Ancak her denge noktası anlamlı değildir. Bir denge noktası eğer hesaplandığı üçgenin üzerinde ya da içinde ise anlamlıdır ve o üçgen bir geçit vermeyen yatay üçgendir.

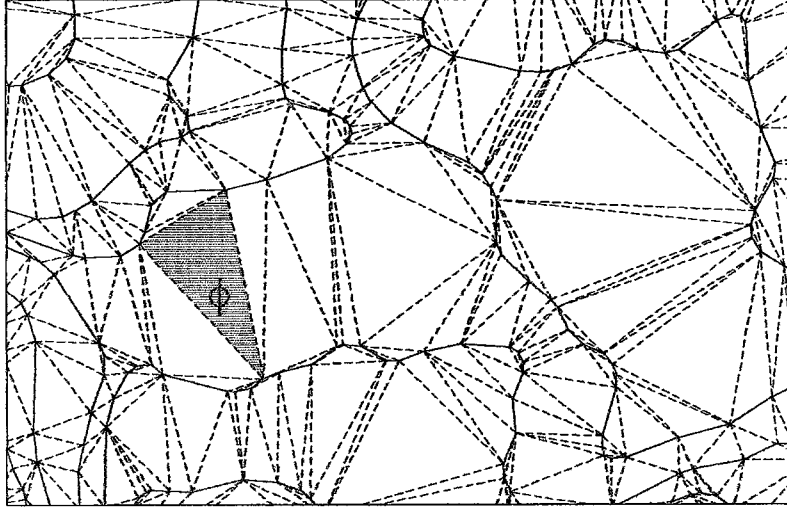
$$\begin{bmatrix} x_i & y_i & 0 & 1 \\ x_1 & y_1 & x_{\vec{v}_1} & 1 \\ x_2 & y_2 & x_{\vec{v}_2} & 1 \\ x_3 & y_3 & x_{\vec{v}_3} & 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} x_i & y_i & 0 & 1 \\ x_1 & y_1 & y_{\vec{v}_1} & 1 \\ x_2 & y_2 & y_{\vec{v}_2} & 1 \\ x_3 & y_3 & y_{\vec{v}_3} & 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (2.7)$$

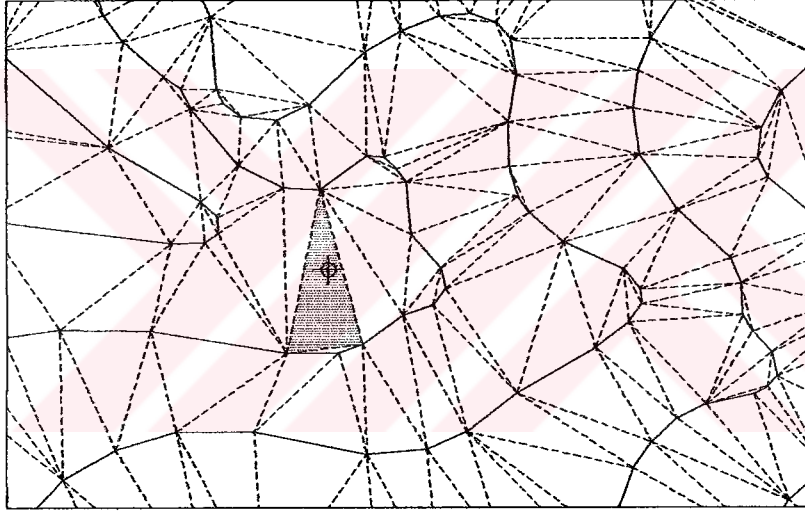
Hesaplanan karakteristik çizgi vektörü bir geçit vermeyen yatay üçgene girdiği zaman izleme işlemi otomatik olarak tamamlanır. Aşağıda geçit vermeyen yatay üçgen örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.29: Bir tepedeki geçit vermeyen yatay üçgen ve içindeki denge noktası



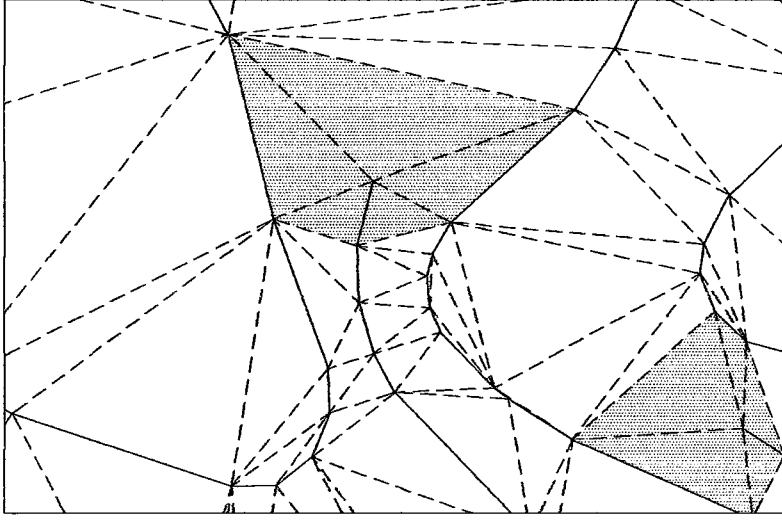
Şekil 2.30: Bir boyundaki geçit vermeyen yatay üçgen ve içindeki denge noktası



Şekil 2.31: Bir yamaçtaki geçit vermeyen yatay üçgen ve içindeki denge noktası

Bir *son nokta üçgeni*, üç köşe noktasından biri, bir açık yükseklik eğrisinin son noktalarından biri olan üçgendir. Hesaplanan karakteristik çizgi vektörü böyle bir üçgene girdiğinde de izleme işlemi otomatik olarak tamamlanır. Çünkü açık yükseklik eğrilerinin son noktalarında en büyük eğim vektörü (açıortay birim vektörü) hesaplamak olanaklı değildir.

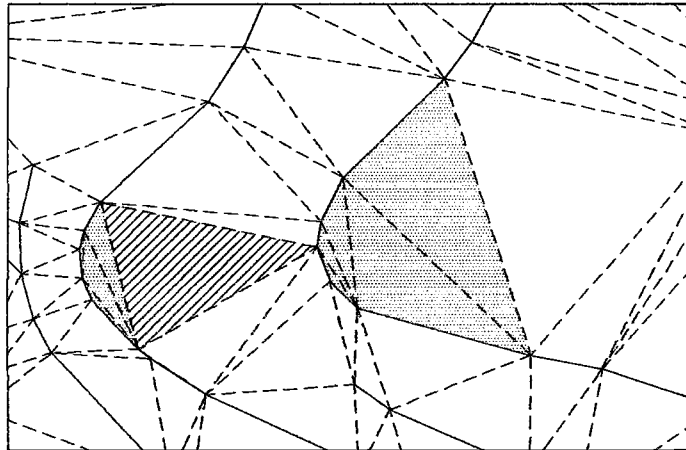
Son nokta üçgenleri üçgen ağının sınırı boyunca ve Şekil 2.32’de görüldüğü gibi yardımcı yükseklik eğrilerinin uç kısımlarında ortaya çıkar.



Şekil 2.32: İki yardımcı yükseklik eğrisinin birer uç kısmında ortaya çıkmış olan son nokta üçgenleri

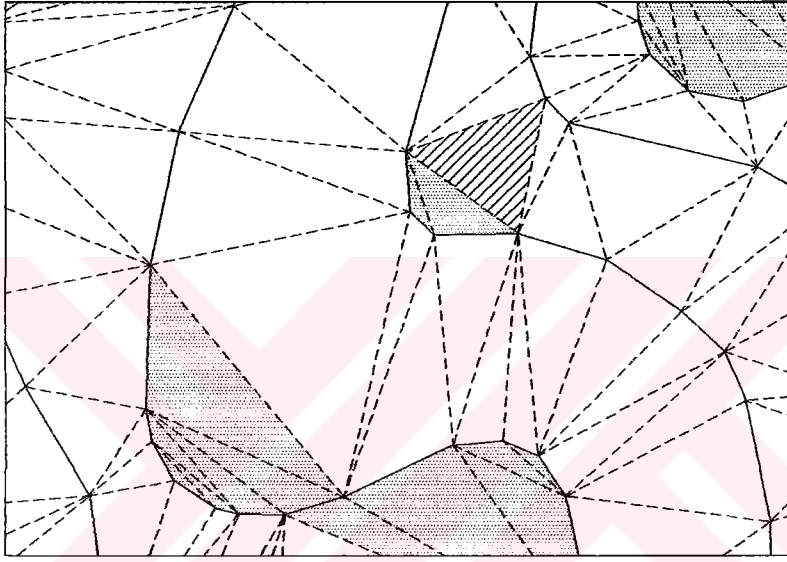
Karar üçgeni ise programın birbirinden ayırt edemediği iki tür üçgenin genel ismidir. Hesaplanan karakteristik çizgi vektörü bir karar üçgenine girdiği zaman program izleme işlemine devam edip edilmeyeceğine kendisi karar veremez ve kullanıcıya başvurur.

Karar üçgenlerinden biri ardışık iki yatay bölgeyi birbirine bağlayan *bağlantı üçgenleridir*. Bir bağlantı üçgeni üç köşesi de yatay bölge sınırlarında yer alan ancak yatay olmayan üçgendir. Şekil 2.33’de bir bağlantı üçgeni görünmektedir. Hesaplanan karakteristik çizgi vektörünün bir bağlantı üçgenine girmesi durumunda kullanıcı izleme işlemine devam edilmesini ister.



Şekil 2.33: Bir bağlantı üçgeni örneği

Diğer karar üçgeni ise *tamamlama üçgeni* olarak isimlendirilebilir ve izleme işleminin tamamlanacağı üçgen olma özelliğine sahiptir. Bir tamamlama üçgeninin yalnız bir kenarı ya da bir köşe noktası bir yatay bölgenin sınırında yer alır. Diğer köşe noktası ya da kenarı yatay bölgeyle ilgisi olmayan bir yükseklik eğrisi üzerinde yer alır. Bu nedenle tamamlama üçgenleri de yatay değildir ve hesaplanan karakteristik çizgi vektörünün bir tamamlama üçgenine girmesi durumunda kullanıcı izleme işleminin tamamlanmasını ister. Şekil 2.34'te bir tamamlama üçgeni görünmektedir.

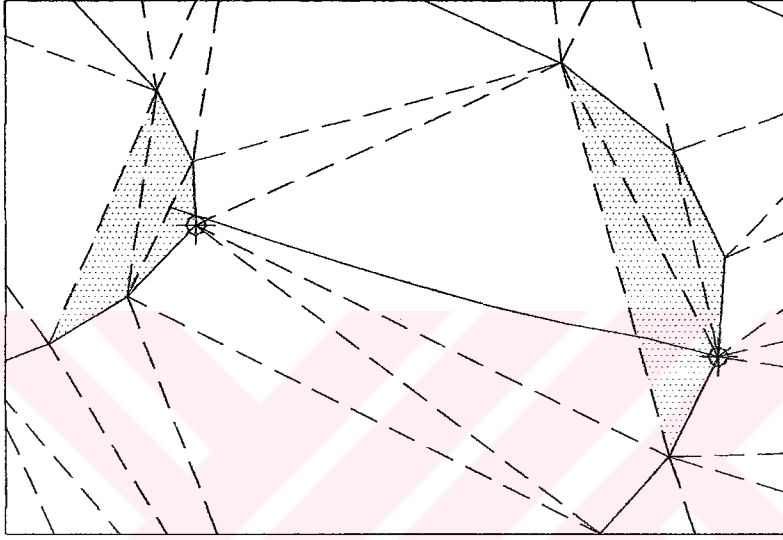


Şekil 2.34: Bir tamamlama üçgeni örneği

Eğer hesaplanan karakteristik çizgi vektörünün son noktası bu dört üçgenin (geçit vermeyen yatay üçgen, son nokta üçgeni, bağlantı üçgeni ve tamamlama üçgeni) hiçbirine girmemişse üçgen ağının dışına çıkmış demektir ve bu durumda da izleme işlemi otomatik olarak tamamlanır.

Akış diyagramında da görüldüğü gibi hesaplanan karakteristik çizgi vektörünün bir bağlantı üçgenine girmesi durumunda kullanıcı izleme işlemine devam edilmesini ister ve böylece en son hesaplanan karakteristik çizgi vektörünün son noktasında bir karakteristik çizgi vektörü hesap edilir. Bu aşamada işlemin otomatik olarak tamamlanmasını gerekli kılacak iki durum söz konusudur: Hasaplanan karakteristik çizgi vektörünün son noktasının bir son nokta üçgenine girmesi ya da üçgen ağının dışına çıkması. Eğer bu iki durum da gerçekleşmemişse

hesaplanan karakteristik çizgi vektörünün bir yükseklik eğrisini geçip geçmediğine bakılır. Geçmemişse izlemeye devam edilir yani, bir sonraki karakteristik çizgi vektörü hesap edilir ve önceki sorgulamalar tekrarlanır. Geçmişse bir karakteristik nokta daha belirlenir. Bu aşamada *karakteristik nokta* olarak Şekil 2.35’de görüldüğü gibi karakteristik çizgi vektörünün yükseklik eğrisini kestiği noktaya yakın olan yükseklik eğrisi noktası alınır.



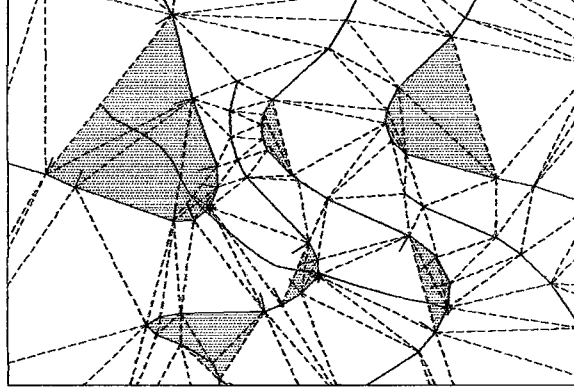
Şekil 2.35: Karakteristik noktalar

Bundan sonra izleme işlemi karakteristik çizgi başlangıç noktasının karakteristik nokta olarak belirlenmesinden sonraki işlemlerin ya da aşamaların tekrarı şeklinde devam eder.

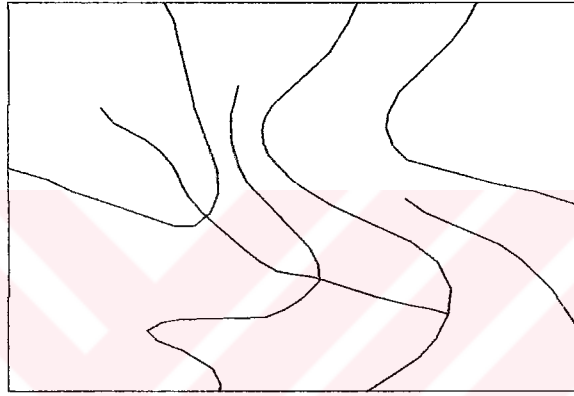
Bir izleme işleminin tamamlanması iki adımda gerçekleşir:

1. Hesaplanan karakteristik çizgi noktalarından (karakteristik çizgi vektörlerinin başlangıç ve son noktalarından) bir polyline meydana getirilir.
2. Bu polyline türüne göre “su-toplama-çizgisi” ya da “su-dağıtma-çizgisi” katmanlarından birine yerleştirilir.

Böylece AutoCAD’in veri tabanına yeni bir obje (polyline) daha ilave edilmiş olur. Aşağıdaki şekillerde bir izleme işleminin sonucu; türetilen bir karakteristik çizgi ve buna bağlı olarak belirlenen karakteristik noktalar görünmektedir.



Şekil 2.36: Bir izleme işleminin sonucu

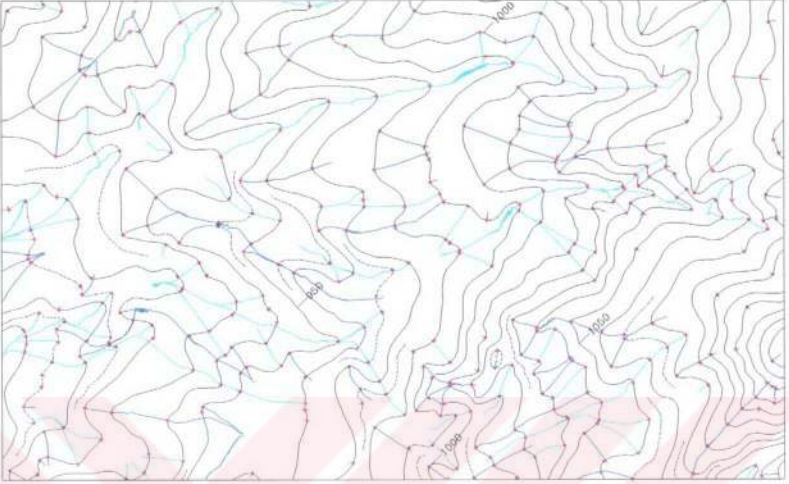


Şekil 2.37: Yükseklik eğrileri ve türetilen karakteristik çizgi (su toplama çizgisi)



Şekil 2.38: Yükseklik eğrileri ve karakteristik noktalar

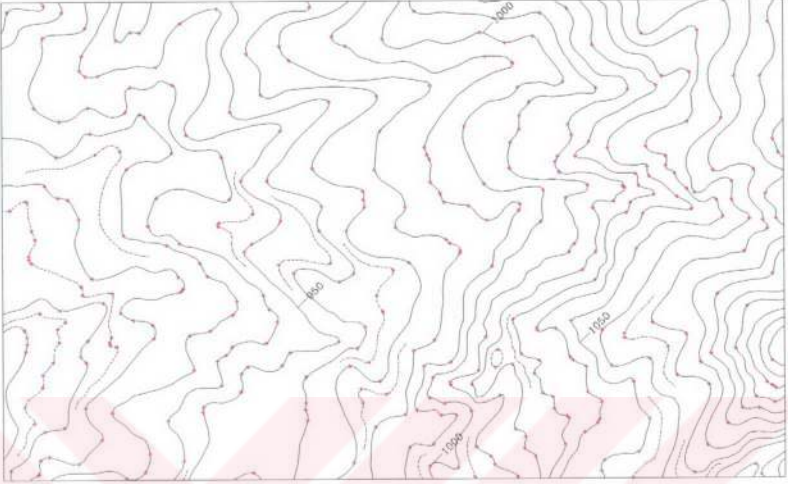
Ayrıca aşağıda Şekil 2.39’da türetilen karakteristik çizgilerden birinci veri kümesi sınırları içinde kalanların birinci veri kümesine ilave edilmesiyle ve karakteristik noktaların belirginleştirilmesiyle elde edilmiş olan *ikinci veri kümesi*, Şekil 2.40, 2.41 ve 2.42’de ise ikinci veri kümesinin varyasyonları görülmektedir.



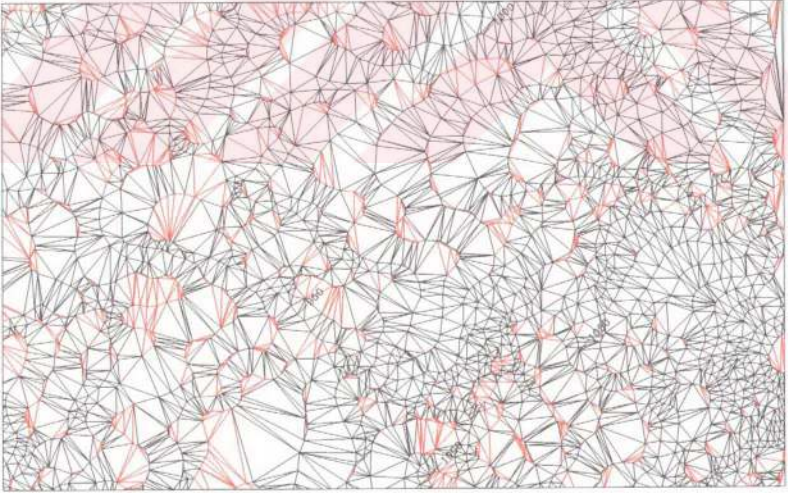
Şekil 2.39: İkinci veri kümesi (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 2.40: İkinci veri kümesindeki yükseklik eğrileri ve karakteristik çizgiler
(Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 2.41: İkinci veri kümesindeki yükseklik eğrileri ve karakteristik noktalar
(Ölçek: 1 / 25 000)



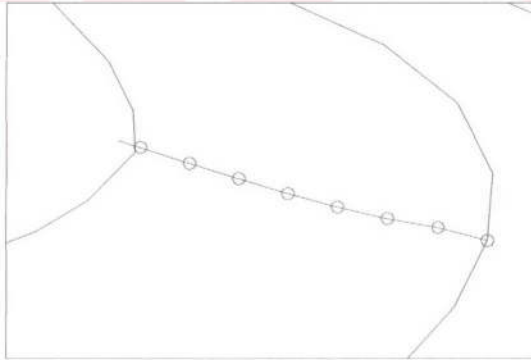
Şekil 2.42: İkinci veri kümesindeki yatay üçgenler (kırmızı) (Ölçek: 1 / 25 000)

2.4 Karakteristik Çizgi Noktalarına Yükseklik Değeri Verilmesi

Bu çalışmada karakteristik çizgi noktalarının yükseklik değerlerine gereksinim duyulmamaktadır. Bu nedenle karakteristik çizgi noktalarına yükseklik değerleri verilmemiştir. Bu durum bu çalışmanın amacı ve hedefleri bakımından bir eksik ya da hata değildir. Ancak, konunun bütünlüğü açısından bu bölümde karakteristik çizgi noktalarına yükseklik değerlerinin verilmesi yöntemlerine de yer verilmiştir.

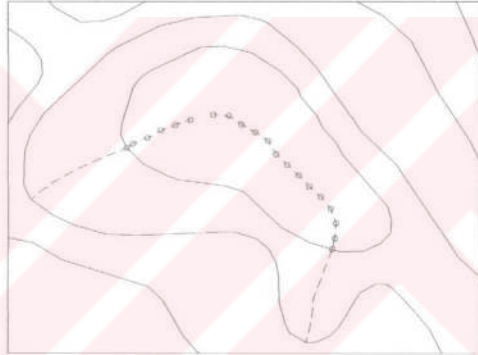
Karakteristik çizgi noktalarına yükseklik değeri verilmesi iki yöntemle yapılabilir: Lineer enterpolasyon ve ekstrapolasyon. Hangi yöntemin nerede ve ne zaman uygulanacağı yüksekliği hesaplanacak karakteristik çizgi noktasının konumuna bağlıdır.

Karakteristik çizgi noktaları Şekil 2.43'de görüldüğü gibi yükseklik değerleri farklı ve ardışık iki yükseklik eğrisi arasında bulunabilir. Bu durumda lineer enterpolasyon yapılabilir. Bunun için gerekli bilgiler şunlardır: Yükseklik eğrileri arasındaki yükseklik farkı, yüksekliği hesaplanacak karakteristik çizgi noktasını yükseklik eğrilerinden birine bağlayan en kısa yolun uzunluğu ve yine yüksekliği hesaplanacak karakteristik çizgi noktasından geçen ve iki yükseklik eğrisini birbirine bağlayan en kısa yolun uzunluğu. Bu bilgilerin hepsi kolayca elde edilebilir. Çünkü burada tanımlanan yollar karakteristik çizgi ile çıkmaktadır.

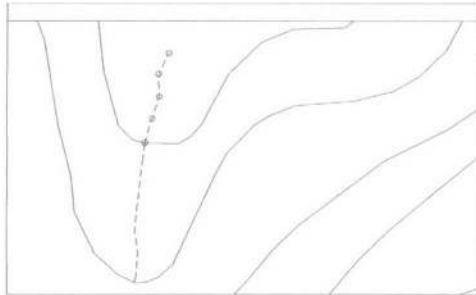


Şekil 2.43: Yükseklik değerleri farklı ve ardışık iki yükseklik eğrisi arasında bulunan karakteristik çizgi noktaları

Lineer ekstrapolasyon yapılabilir durumlar ise karakteristik çizgi noktalarının Şekil 2.44'te görüldüğü gibi bir kapalı yükseklik eğrisinin içinde ya da Şekil 2.45'de görüldüğü gibi üçgen ağının kenarındaki bir açık yükseklik eğrisinin arasında bulunduğu durumlardır. Bu durumları öncekinden ayıran temel özellik yükseklik değeri verilecek noktaların yalnız bir yükseklik eğrisi ile doğrudan ilişkili olmasıdır. Oysa lineer ekstrapolasyon için gerekli bilgiler lineer enterpolasyon için gerekli bilgilerle aynıdır ve bunlar bir yükseklik eğrisinden sağlanamamaktadır. Bu nedenle ikinci yükseklik eğrisi olarak yükseklik eğrisinin diğer tarafındaki ilk yükseklik eğrisi alınır ve yine -eğer varsa- bu iki yükseklik eğrisi arasındaki karakteristik çizgiden yararlanılır.



Şekil 2.44: Bir kapalı yükseklik eğrisinin içinde bulunan karakteristik çizgi noktaları



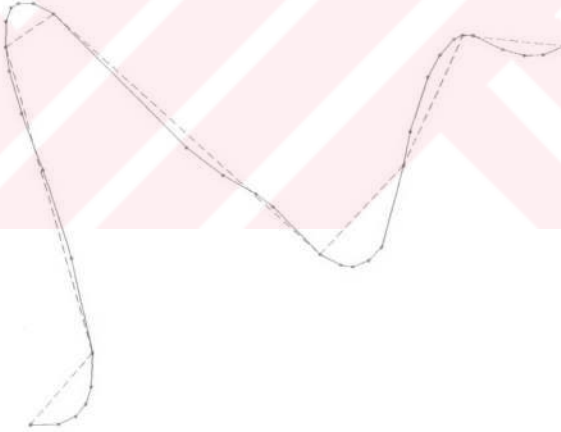
Şekil 2.45: Üçgen ağının kenarındaki bir açık yükseklik eğrisinin arasında bulunan karakteristik çizgi noktaları

3. MEVCUT ÜÇ BASİTLEŞTİRME YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada, yükseklik eğrilerinin Bölüm 1.3'te ifade edilen temel yaklaşıma göre genelleştirilmesinde kullanılan mevcut en yaygın basitleştirme yöntemlerinden üçü (n . nokta yöntemi, eşik mesafesi yöntemi ve eşik açısı yöntemi) ele alınmaktadır.

3.1 n . Nokta Yöntemi

Bu yöntemde yükseklik eğrisinin başlangıç ve son noktası ile birlikte her n . noktası seçilir. Başka bir ifadeyle, yükseklik eğrisinin her n . noktası haricindeki noktaları silinir. Burada n sabit bir tam sayıdır. Şekil 3.1'de bu yöntemle göre (yükseklik eğrisinin her 5. noktası seçilerek) basitleştirilmiş bir yükseklik eğrisi (kesikli çizgi) görülmektedir. Bu oldukça basit ve yaygın olan bir yöntemdir.

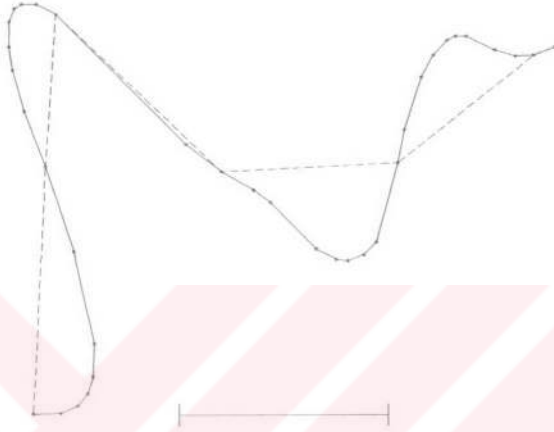


Şekil 3.1: n . nokta yöntemi ile basitleştirme

3.2 Eşik Mesafesi Yöntemi

Bu yöntemde test edilen nokta (seçilip seçilmeyeceğine karar verilecek olan nokta) ile en son seçilen nokta arasındaki mesafe hesaplanır ve önceden belirlenen eşik mesafesi ile

karşılaştırılır. Eğer hesap edilen mesafe eşik mesafesinden küçük ise nokta seçilmez, büyük ise nokta seçilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Eşik mesafesi yöntemi ile basitleştirme

İlk seçilen nokta doğal olarak eğrinin başlangıç noktası ve ilk test edilen nokta eğrinin ikinci noktasıdır.

Test edilen bir noktanın seçilmemesi durumunda bir sonraki nokta test edilir ve eşik mesafesi ile karşılaştırılacak mesafe olarak en son seçilen nokta ile test edilen nokta arasındaki mesafe (doğru parçasının uzunluğu) değil toplam mesafe (en son seçilen noktadan itibaren test edilen noktaya kadar eğri üzerinde alınan yolun uzunluğu ya da doğru parçalarının uzunluklarının toplamı) hesap edilir.

3.3 Eşik Açısı Yöntemi

Bu yöntemde yükseklik eğrisi noktalarında hesap edilecek açılar önceden belirlenen bir eşik açısı ile karşılaştırılır. Bir yükseklik eğrisi noktasındaki açı, o noktayı bir sonraki yükseklik eğrisi noktasına bağlayan doğru parçası ile yine o noktayı iki sonraki yükseklik eğrisi noktasına bağlayan doğru parçası arasındaki açı olarak tanımlanır. Eğer hesaplanan açı eşik

açısından büyük olursa bir sonraki nokta seçilir ve o noktadaki açı hesap edilir. Bunun tersi olarak eğer hesaplanan açı eşik açısından küçük olursa iki sonraki nokta seçilir (başka bir ifadeyle, bir sonraki nokta silinir) ve o noktadaki açı hesap edilir. İşlem eğrinin başlangıç noktasından itibaren son noktaya kadar bu şekilde devam eder.

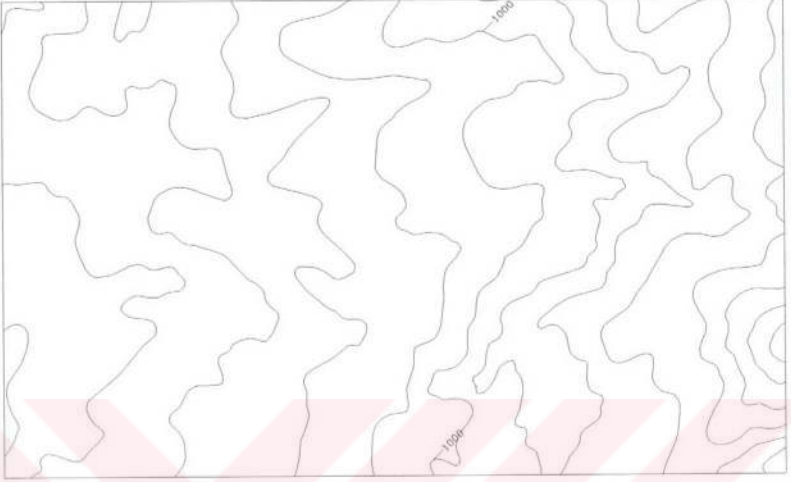


Şekil 3.3: Eşik açısı yöntemi ile basitleştirme

3.4 Uygulama

Hedef haritanın ölçeğine, amacına ve kullanıcı isteklerine bağlı olarak çok çeşitli uygulamalar yapılabilir. Burada, 1 / 50 000 ölçekli bir sayısal yükseklik paftasında yer alacak yükseklik eğrilerinin, 1 / 25 000 ölçekli dört sayısal yükseklik paftasındaki yükseklik eğrilerinden Bölüm 1.3'te ifade edilen temel yaklaşıma göre elde edileceği durumu örneklemek için

- Şekil 2.3'de görünen birinci veri kümesindeki yükseklik eğrilerinden, yüksekliği 20 m ve katları olan yükseklik eğrileri seçilerek birinci *alt* veri kümesi (Şekil 3.4) meydana getirilmiş ve
- birinci *alt* veri kümesindeki yükseklik eğrileri mevcut üç yönteme göre ayrı ayrı basitleştirilmiş ve yumuşatılmıştır.



Şekil 3.4: Birinci *alt* veri kümesi (Ölçek: 1 / 25 000)

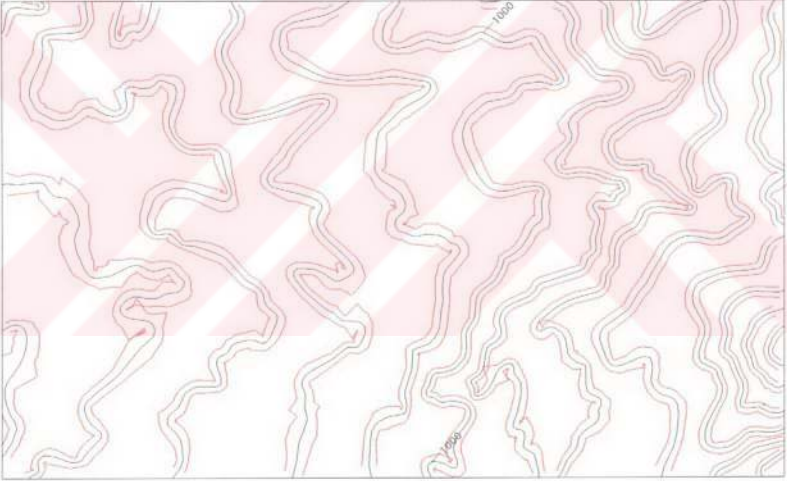
3.4.1 Genelleştirme koşulları

Genelleştirme **optimum düzeyde** gerçekleştirilmiştir. Başka bir ifadeyle yükseklik eğrileri **aşağıdaki koşullar da göz önüne alınarak olabildiğince** genelleştirilmiştir. Buna göre,

1. Genelleştirme Koşulu: Bir yükseklik eğrisi genelleştirildikten (basitleştirildikten ve yumuşatıldıktan) sonra da kendi hata bandı sınırları içinde kalmalı.

Bir yükseklik eğrisine ait hata bandının oluşturulmasında aşağıdaki model uygulanmıştır: Yükseklik eğrisinin iki tarafında, yükseklik eğrisi noktalarına bağlı olarak, hata bandının sınır noktaları belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle, her bir yükseklik eğrisi noktasındaki en büyük eğim doğrultusu ve ortalama konum hatasının sınır değeri yardımıyla hata bandının sınır noktaları hesaplanmıştır. Bir sınır noktası, bağlı olduğu yükseklik eğrisi noktasından -en büyük eğim doğrultusunda- ortalama konum hatasının sınır değeri kadar uzaklıkta bir noktadır. Şekil 3.5'de örnek yükseklik eğrisi noktası *N*'e bağlı olarak hesap edilmiş hata bandı sınır noktaları *S1* ve *S2* görülmektedir.

Ortalama konum hatasının sınır değerinin hesabında kullanılan bağıntı, Koppe'nin $M_i = \pm(A \cot \alpha_o + B)$ bağıntısına dayanmaktadır. Birinci *alt* veri kümesi için kullanılan bu bağıntıdaki katsayılar ABD'nin 1 / 50 000 ölçekli topografik haritalarından deneysel olarak belirlenmiş değerlerdir. Çünkü Türkiye'nin 1 / 50 000 ölçekli topografik haritalarından deneysel olarak belirlenmiş değerler mevcut değildir. Son olarak, yükseklik eğrisinin aynı tarafındaki ardışık sınır noktaları, doğru parçalarının uç noktaları olacak şekilde, birleştirilerek hata bandının sınırları meydana getirilmiştir. Şekil 3.6'da birinci *alt* veri kümesindeki yükseklik eğrileri ve hata bantları 1 / 25 000 ölçeğinde görünmektedir. Hata bantları, yazılan beş kaynak kod (*talcal1*, *talcal2*, *thbant*, *tyuksel1*, *tyuksel2*) ile otomatik olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.6: Birinci *alt* veri kümesindeki yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)

2. Genelleştirme Koşulu: Herhangi iki yükseklik eğrisi arasındaki mesafe, 0.25 *mm*'den daha küçük olmamalı.

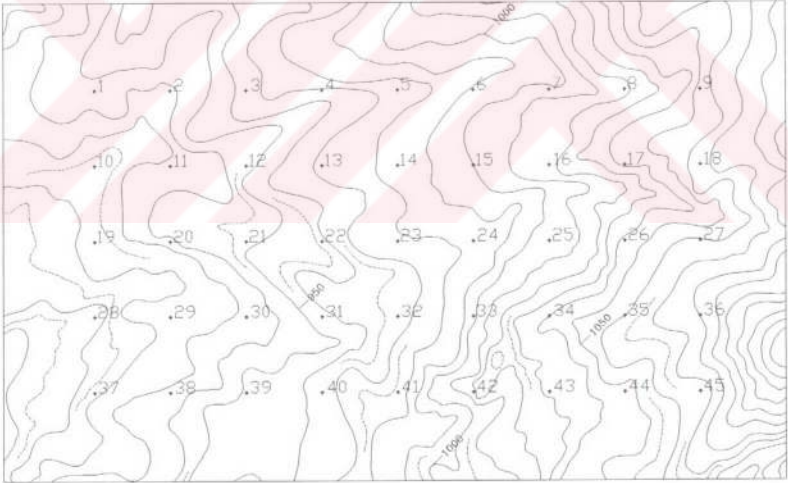
Genelleştirme sonrası, yükseklik eğrileri arasındaki mesafeler, el ile yapılan ölçülerle tespit edilmiştir. Seçilen sınır değeri (0.25 *mm*), grafik en küçük büyüklüklerden iki renkli çizgi

arasındaki mesafeye karşılık gelmektedir. Bu koşul ile, genelleştirme sonrası yükseklik eğrileri arasında ortaya çıkabilecek dokunma, örtüşme ve kesişme gibi problemlerin önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

3. Genelleştirme Koşulu: Genelleştirilmiş -birinci alt veri kümesindeki- yükseklik eğrilerinin ortalama yükseklik hatası, $M_h = \pm(18 + 15 \tan \alpha_o^*) [m]$ bağıntısı ile elde edilecek sınır değerinden daha büyük olmamalı.

Ortalama yükseklik hatalarının ve sınır değerlerinin hesaplanması üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar:

1. Aşama: Kırkbeş **kontrol noktasından** meydana gelen bir karesel ağ oluşturulmuştur (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Kontrol noktaları (Ölçek: 1 / 25 000)

2. Aşama: Orijinal yükseklik eğrileri ile

- her kontrol noktasındaki en büyük eğim çizgisi belirlenmiş,

- lineer enterpolasyon yoluyla her kontrol noktasının kesin yüksekliği $(\bar{h}_i [m], i = 1, 2, \dots, 45)$ hesap edilmiş,
- her kontrol noktasındaki en büyük eğim açısı $(\alpha_i^*, i = 1, 2, \dots, 45)$ belirlenmiş,
- en büyük eğim açılarının aritmetik ortalaması alınarak arazinin ortalama eğim açısı α_o^* hesap edilmiş ve
- $M_h = \pm(1.8 + 15 \tan \alpha_o^*) [m]$ bağıntısı ile birinci *alt* veri kümesindeki yükseklik eğrilerinin ortalama yükseklik hatasının sınır değeri hesap edilmiştir. Bağntı, Koppe'nin $M_h = \pm(A + B \tan \alpha_o)$ bağıntısına dayanmakta ve katsayılar yine ABD için belirlenmiş katsayılardır.

3. *Aşama*: Yapılan her geliştirme sonrası genelleştirilmiş yükseklik eğrileri ile

- her kontrol noktasındaki en büyük eğim çizgisi belirlenmiş,
- her kontrol noktasının yüksekliği $(h_i [m], i = 1, 2, \dots, 45)$ hesap edilmiş,
- hesap edilen yükseklikler kesin yüksekliklerden çıkartılarak kontrol noktalarındaki yükseklik farkları $(dh_i = \bar{h}_i - h_i [m], i = 1, 2, \dots, 45)$ bulunmuş ve
- kontrol noktalarındaki yükseklik farkları ile genelleştirilmiş yükseklik eğrilerinin ortalama yükseklik hatası $m_h = \pm \sqrt{\frac{[dh_i dh_i]}{45}} [m]$ hesap edilmiştir (Selçuk, 1974).

4. *Genelleştirme Koşulu*: Genelleştirilmiş -birinci *alt* veri kümesindeki- yükseklik eğrilerinin ortalama konum hatası, $M_l = \pm(1.8 \cot \alpha_o^* + 15) [m]$ bağıntısı ile elde edilecek sınır değerinden daha büyük olmamalı.

Genelleştirilmiş -birinci *alt* veri kümesindeki- yükseklik eğrilerinin ortalama konum hatası, $m_l = m_h \cot \alpha_o$ bağıntısı ile hesap edilmiştir. Bu bağıntı, ortalama yükseklik hatası ile ortalama konum hatası arasındaki ilişkiyi gösteren $m_h = m_l \tan \alpha_o$ bağıntısından türetilmiştir (Selçuk, 1974).

Çizelge 3.1'de genelleştirilmiş -birinci *alt* veri kümesindeki - yükseklik eğrileri için ortalama yükseklik hatasının sınır değeri, ortalama konum hatasının sınır değeri ve bunların hesaplanması için gerekli görülmektedir.

Çizelge 3.1: Genelleştirilmiş -birinci *alt* veri kümesindeki- yükseklik eğrileri için ortalama yükseklik ve konum hatasının sınır değeri

	$y[m]$	$x[m]$	α°	$\bar{h}[m]$		$y[m]$	$x[m]$	α°	$\bar{h}[m]$
1	491600.000	4423959.000	3.73845	946.009	24	493475.000	4423200.000	2.95724	984.118
2	491975.000	4423959.000	2.71002	938.665	25	493850.000	4423200.000	3.17066	1004.9
3	492350.000	4423959.000	4.5735	964.166	26	494225.000	4423200.000	5.69886	1041.71
4	492725.000	4423959.000	9.46667	968.513	27	494600.000	4423200.000	5.08991	1060.6
5	493100.000	4423959.000	2.0832	973.724	28	491600.000	4422825.000	1.26106	908.22
6	493475.000	4423959.000	4.94071	991.44	29	491975.000	4422825.000	2.39615	924.196
7	493850.000	4423959.000	9.26158	1003.13	30	492350.000	4422825.000	2.68596	932.306
8	494225.000	4423959.000	3.63047	1018.3	31	492725.000	4422825.000	5.62907	956.708
9	494600.000	4423959.000	7.69863	1052.3	32	493100.000	4422825.000	2.1541	967.462
10	491600.000	4423575.000	0.78041	922.964	33	493475.000	4422825.000	9.90086	997.557
11	491975.000	4423575.000	3.59443	932.096	34	493850.000	4422825.000	4.47711	1040.08
12	492350.000	4423575.000	3.78213	947.683	35	494225.000	4422825.000	5.15319	1060.09
13	492725.000	4423575.000	1.86981	971.316	36	494600.000	4422825.000	6.3044	1080.79
14	493100.000	4423575.000	2.13131	984.161	37	491600.000	4422450.000	5.2466	918.058
15	493475.000	4423575.000	3.06551	1000.24	38	491975.000	4422450.000	5.30535	932.701
16	493850.000	4423575.000	3.96686	1017.38	39	492350.000	4422450.000	1.85337	950.692
17	494225.000	4423575.000	3.48562	1040.72	40	492725.000	4422450.000	3.84697	965.494
18	494600.000	4423575.000	5.10687	1065.54	41	493100.000	4422450.000	4.50541	976.708
19	491600.000	4423200.000	1.70659	922.939	42	493475.000	4422450.000	13.5909	1017.4
20	491975.000	4423200.000	10.7846	935.427	43	493850.000	4422450.000	2.49512	1031.2
21	492350.000	4423200.000	2.75761	948.294	44	494225.000	4422450.000	2.94408	1046.53
22	492725.000	4423200.000	6.51437	957.838	45	494600.000	4422450.000	3.05785	1067.19
23	493100.000	4423200.000	4.29844	976.988					
$[\alpha^\circ] = 201.67201$									
$\alpha_o^\circ = 4.48160$									
$M_h = \pm(1.8 + 15 \tan \alpha_o^\circ)[m] = \pm 2.976 \text{ m} \quad (1 / 50 \ 000)$									
$M_l = \pm(1.8 \cot \alpha_o^\circ + 15)[m] = \pm 37.966 \text{ m} \quad (1 / 50 \ 000)$									

Dördüncü koşul bağımsız değildir ve aslında üçüncü koşul sağlandığında kendiliğinden sağlanır. Burada ayrı bir koşul olarak ele alınmasının nedeni, bu çalışmada ortalama hata konusunda bir eksiklik olduğu kanısı oluşturmamaktır. Çünkü alışlagelmiş olan, ortalama hatanın, ortalama konum ve yükseklik hatası olarak ayrı ayrı elde edilmesi ve değerlendirilmesidir.

Üçüncü ve dördüncü koşullar için *tspline*, *thata* ve *tohata* kaynak kodları yazılmıştır.

3.4.2 Uygulama ve değerlendirme sonuçları

Uygulama sonuçları ve değerlendirme ölçütlerine ilişkin örnekler aşağıdaki şekil ve çizelgelerde görülmektedir. Her bir uygulama için beş şekil ve iki çizelge verilmiştir.

Şekil 3.8, 3.13 ve 3.18’de geliştirilmiş yükseklik eğrilerinin ilk durumları görülmektedir. Başka bir ifadeyle, basitleştirilmiş yükseklik eğrileri görülmektedir. Bu şekillerdeki yükseklik eğrileri birer *polyline*’dir.

Şekil 3.9, 3.14 ve 3.19’da geliştirilmiş yükseklik eğrilerinin son durumları, yani basitleştirilmiş yükseklik eğrilerinin yumuşatılmış durumları görülmektedir. Yumuşatma işlemi, *spline* geçirme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemin kartografik açıdan en önemli özelliği, *spline*’ların kesinlikle ve tam olarak yükseklik eğrisi noktalarından geçiriliyor olmasıdır. İkinci şekillerdeki yükseklik eğrileri, sonuç ürünlerdir.

Şekil 3.10, 3.15 ve 3.20’de geliştirilmiş yükseklik eğrileri ve hata bantları görülmektedir. Bu şekillerdeki geliştirilmiş yükseklik eğrileri birer *spline*’dir.

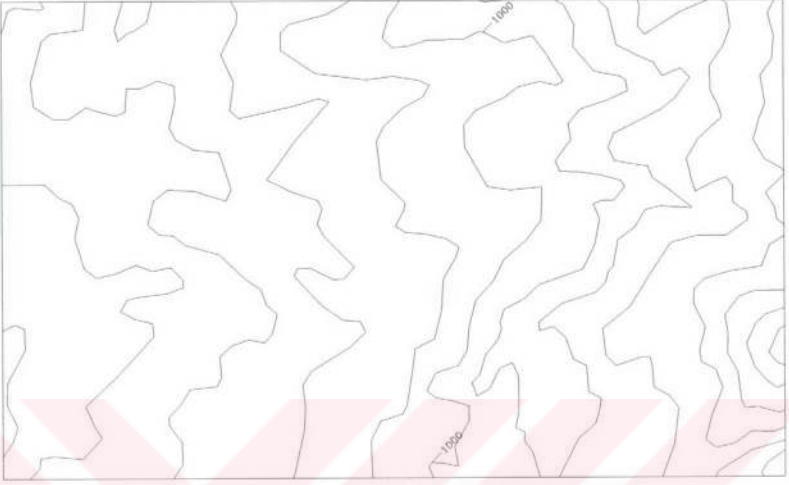
Şekil 3.11, 3.16 ve 3.21’de orijinal yükseklik eğrileri ile basitleştirilmiş yükseklik eğrileri çakışmış halde görülmektedir. Dördüncü şekillerdeki tüm (orijinal ve basitleştirilmiş) yükseklik eğrileri birer *polyline*’dir. Bu şekiller, yükseklik eğrilerinin ne kadar basitleştirildikleri hakkında genel bir fikir vermektedir.

Şekil 3.12, 3.17 ve 3.22’de geliştirilmiş (basitleştirilmiş ve yumuşatılmış) yükseklik eğrileri ile birlikte karakteristik çizgiler ve karakteristik noktalar da gösterilmiştir. Ayrıca **mutlak değerlendirme ölçütü**, yani **yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının korunup korunmadığı** hakkında fikir verebilecek ve örnek olabilecek kısımlar büyültülerek gösterilmiştir.

Bölüm 1.4'te yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarına dair işaretlerin karakteristik çizgiler olduğu ifade edilmişti. Burada ise Bölüm 2'deki açıklamalardan sonra yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarına dair **daha dolaysız ve açık işaretlerin karakteristik noktalar** olduğu ifade edilebilir. Çünkü karakteristik noktalar, karakteristik çizgilere en yakın yükseklik eğrisi noktalarıdır. Karakteristik nokta düşüncesi ya da kavramı, yükseklik eğrilerinin karakteristik noktalarını belirlemek ve genelleştirme sırasında bunları göz önüne almak için geliştirilmiştir.

Çizelge 3.2, 3.4 ve 3.6'da uygulama sonuçlarının, yani genelleştirilmiş yükseklik eğrilerinin ortalama yükseklik hataları, ortalama konum hataları ve bunların hesaplanması için gerekli veriler görünmektedir. Bunlar, değerlendirmede kullanılacak sonuçların, üçüncü ve dördüncü koşulu sağladıklarını, yani ortalama yükseklik ve konum hatalarının kabul edilebilir miktarlarda olduklarını göstermektedir.

Çizelge 3.3, 3.5 ve 3.7 ise **bağıl değerlendirme ölçütü**, yani **nokta sayılarındaki azalma miktarları** ile ilgili bilgiler içermektedir.



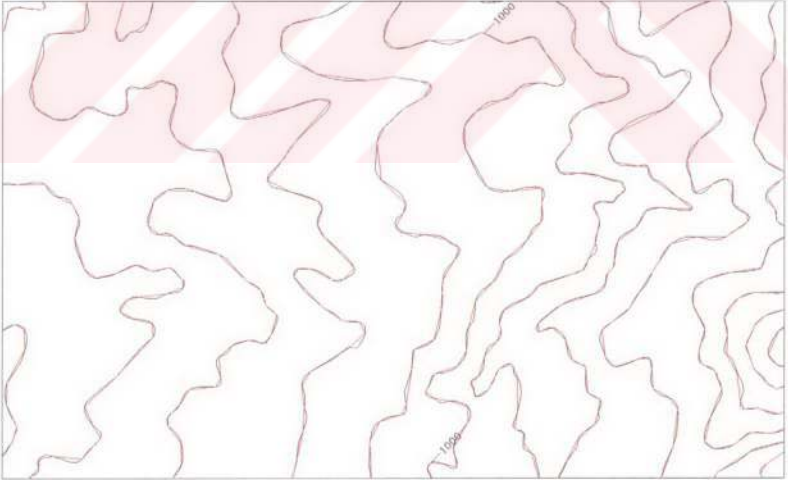
Şekil 3.8: **n. nokta yöntemine** göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



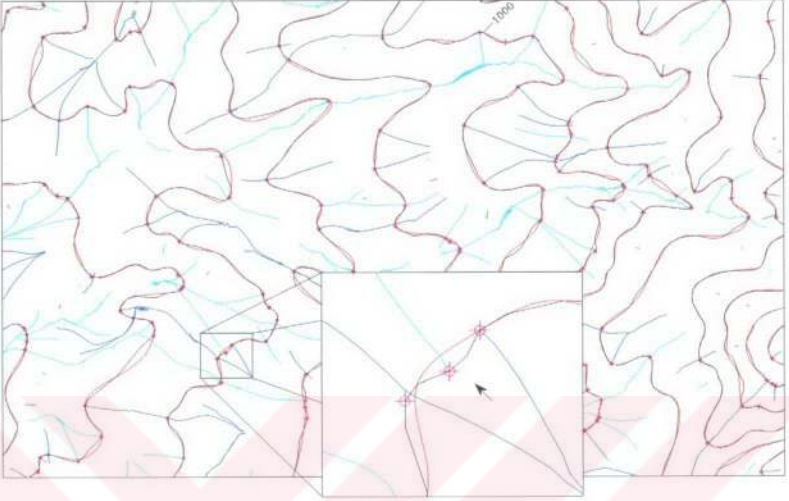
Şekil 3.9: **n. nokta yöntemine** göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 3.10: **n. nokta yöntemine** göre ($n=3$ seçilerek) genelleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 3.11: Orijinal (siyah) ve **n. nokta yöntemine** göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin karşılaştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 3.12: ***n*. nokta yöntemine** göre ($n=3$ seçilerek) geliştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)

Çizelge 3.3: ***n*. nokta yöntemine** göre ($n=3$ seçilerek) geliştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı

Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
<i>n</i> . Nokta	$n=3$	1164	433	731	62.8



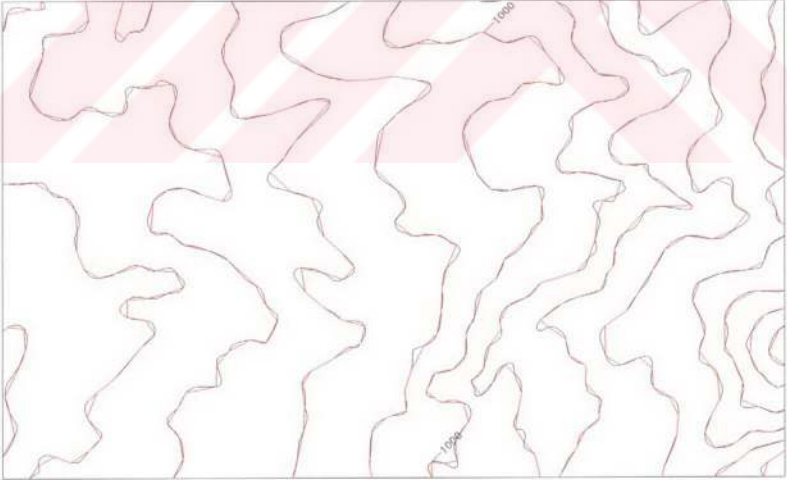
Şekil 3.13: **Eşik mesafesi yöntemine** göre ($d=85$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



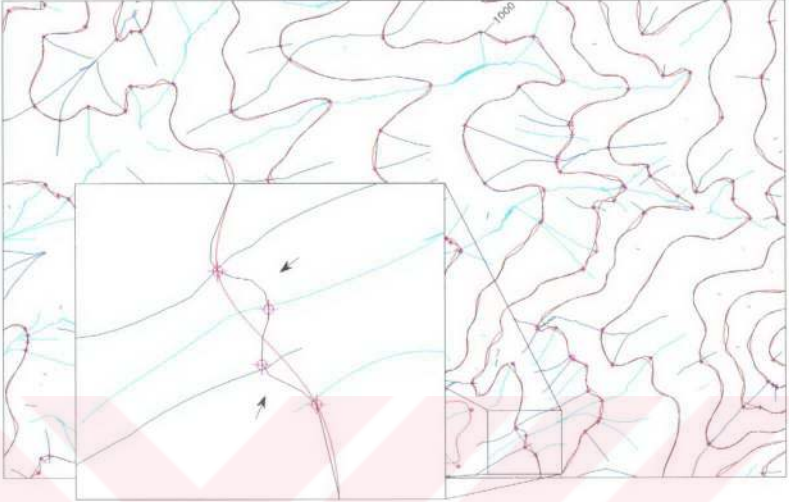
Şekil 3.14: **Eşik mesafesi yöntemine** göre ($d=85$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 3.15: **Eşik mesafesi yöntemine** göre ($d=85$ metre seçilerek) genelleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)



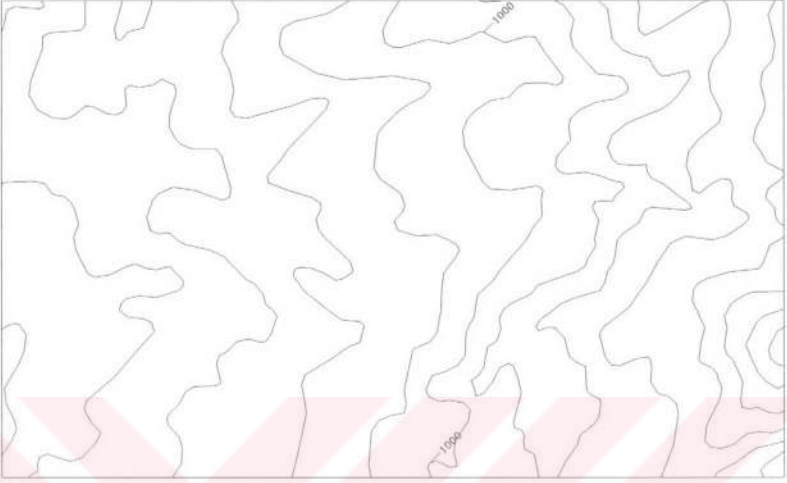
Şekil 3.16: Orijinal (siyah) ve **eşik mesafesi yöntemine** göre ($d=85$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin karşılaştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 3.17: Eşik mesafesi yöntemine göre ($d=85$ metre seçilerek) genelleştirilmiş (birinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)

Çizelge 3.5: Eşik mesafesi yöntemine göre ($d=85$ metre seçilerek) genelleştirilmiş (birinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı

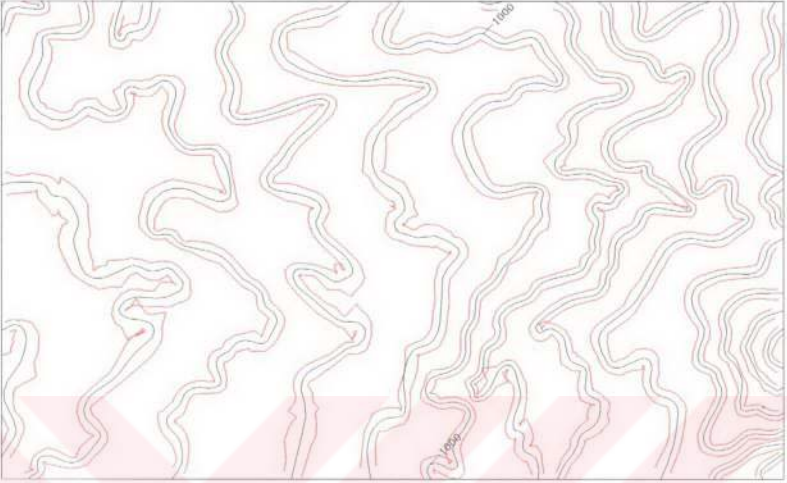
Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
Eşik Mesafesi	$d=85$ metre	1164	413	751	64.5



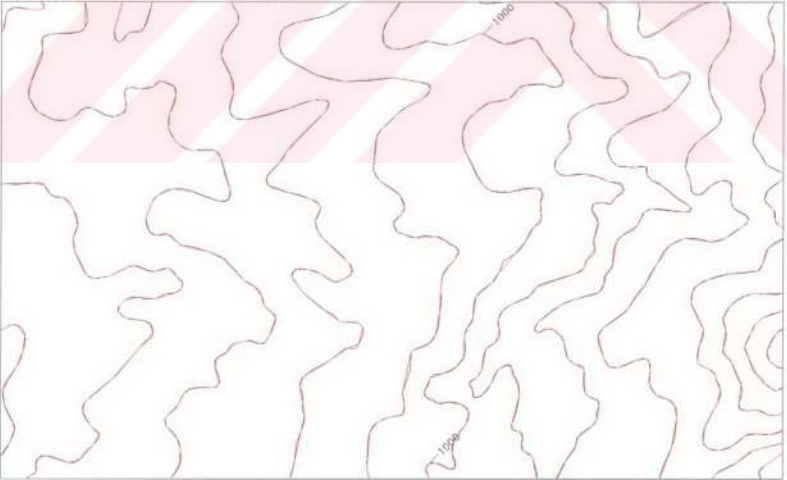
Şekil 3.18: **Eşik açısı yöntemine** göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



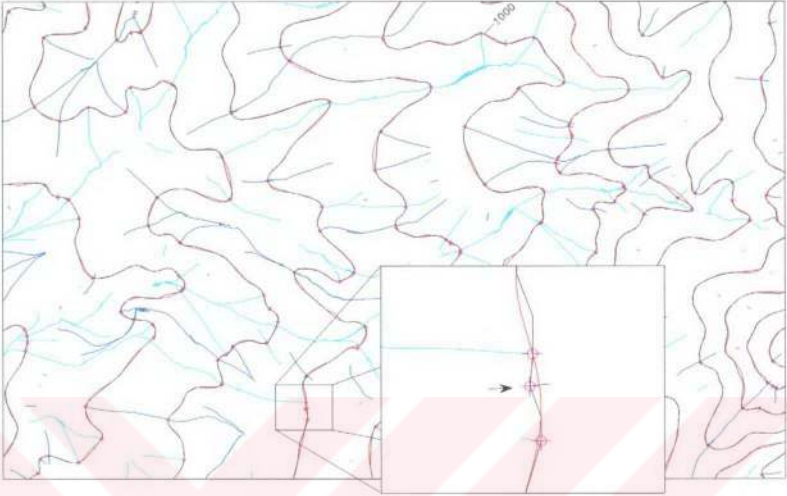
Şekil 3.19: **Eşik açısı yöntemine** göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 3.20: **Eşik açısı yöntemine** göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) genelleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 3.21: Orijinal (siyah) ve **eşik açısı yöntemine** göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (birinci *alt* veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin karşılaştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 3.22: **Eşik açısı yöntemine** göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) genelleştirilmiş (birinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)

Çizelge 3.7: **Eşik açısı yöntemine** göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) genelleştirilmiş (birinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı

Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
Eşik Açısı	$\alpha=360$ derece	1164	607	557	47.9

Birinci uygulama sonunda,

- Şekil 3.12, 3.17 ve 3.22’de verilen örneklerle mevcut üç basitleştirme yönteminin böyle bir uygulamada yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarını az ya da çok korumadığı ya da başka bir ifadeyle elde edilen sonuçların mutlak değerlendirme ölçütüne göre **kötü** ve bu nedenle mevcut üç basitleştirme yönteminin **yetersiz** olduğu ve

- Çizelge 3.3, 3.5 ve 3.7’de verilen nokta sayılarındaki azalma miktarlarına ya da bağlı değerlendirme ölçütüne göre eşik mesafesi yönteminin n . nokta yönteminden, n . nokta yönteminin de eşik açısı yönteminden daha iyi ya da tercih edilebilir nitelikte olduğu

ifade edilebilir.



4. MEVCUT ÜÇ BASİTLEŞTİRME YÖNTEMİNİN YENİDEN DÜZENLENMESİ

Yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının korunması bakımından yetersiz oldukları Bölüm 1.4'te ifade edilen ve Bölüm 3.4.2'de ispat edilen mevcut üç basitleştirme yöntemi, karakteristik noktaları da dikkate alacak ve kesinlikle koruyacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Başka bir ifadeyle, mevcut üç basitleştirme yöntemine **yeni bir basitleştirme ölçütü** (*karakteristik nokta*) ilave edilmiştir. Aşağıda yeniden düzenlenen mevcut üç basitleştirme yöntemi açıklanmakta ve bunlara göre yapılan uygulama sonuçları verilmektedir.

4.1 n . ve Karakteristik Nokta Yöntemi

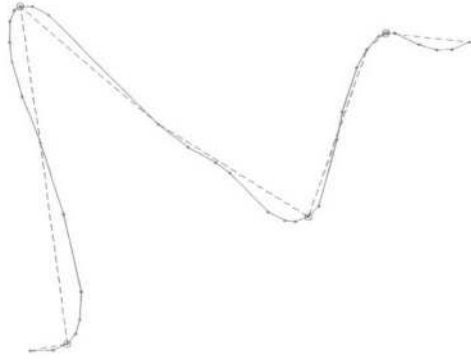
Yükseklik eğrisinin başlangıç ve son noktası, her n . noktası ve tüm karakteristik noktaları seçilir. Kısacası n . nokta yöntemi ile karakteristik nokta yönteminin bileşkesidir.



Şekil 4.1: n . ve karakteristik nokta yöntemi ile basitleştirme

4.2 Eşik Mesafesi ve Karakteristik Nokta Yöntemi

Bu yöntemin Bölüm 3.2'de açıklanan eşik mesafesi yönteminden farkı öncelikle test edilen noktanın (seçilip seçilmeyeceğine karar verilecek olan noktanın) bir karakteristik nokta olup olmadığının araştırılması ve bir karakteristik nokta olması durumunda doğrudan seçilmesidir.



Şekil 4.2: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemi ile basitleştirme

4.3 Eşik Açısı ve Karakteristik Nokta Yöntemi

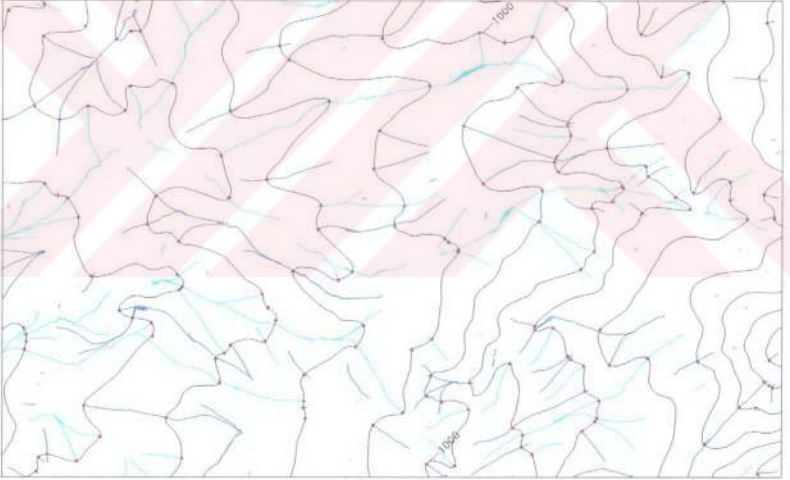
Bu yöntemdeki yaklaşım *eşik mesafesi* ve *karakteristik nokta* yöntemindeki yaklaşımla aynıdır. Başka bir ifadeyle Bölüm 3.3'de açıklanan eşik açısı yönteminden farklı olarak bu yöntemde öncelikle test edilen noktanın (seçilip seçilmeyeceğine karar verilecek olan noktanın) bir karakteristik nokta olup olmadığı araştırılır ve eğer bir karakteristik nokta ise doğrudan seçilir.



Şekil 4.3: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemi ile basitleştirme

4.4 Uygulama

Burada yapılan uygulamalar, hedef haritanın ölçeği, amacı, kullanıcı istekleri, izlenen yol (uygulamaların tasarımı) ve geliştirme koşulları bakımından Bölüm 3.4'deki uygulamalarla özdeşdir. Çünkü burada hedeflenen, yalnız *yeniden düzenlenen* mevcut üç basitleştirme yöntemini değerlendirmek değil, aynı zamanda mevcut üç basitleştirme yöntemi ile karşılaştırmaktır. Burada kullanılan veri kümesi (ikinci *alt* veri kümesi) ise karakteristik çizgiler ve karakteristik noktalar haricinde önceki uygulamada kullanılan veri kümesi (birinci *alt* veri kümesi) ile aynıdır. Başka bir ifadeyle, ikinci *alt* veri kümesinde, Şekil 2.39'da görünen ikinci veri kümesine göre, birinci *alt* veri kümesindeki yükseklik eğrilerinin karakteristik noktaları ve bu karakteristik noktaların ilişkili olduğu karakteristik çizgiler de gösterilmiştir. İkinci *alt* veri kümesi, Şekil 4.4'te görünmektedir.



Şekil 4.4: İkinci *alt* veri kümesi (Ölçek: 1 / 25 000)

4.4.1 Uygulama ve değerlendirme sonuçları

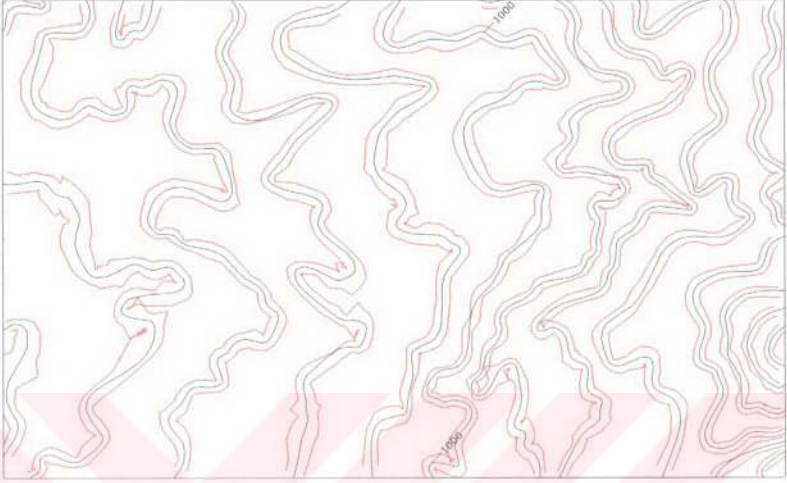
Uygulama ve değerlendirme sonuçları aşağıda görülmektedir. Şekiller ve çizelgeler, Bölüm 3.4.2'dekilerle aynı içerikte ve sırada verilmiştir.



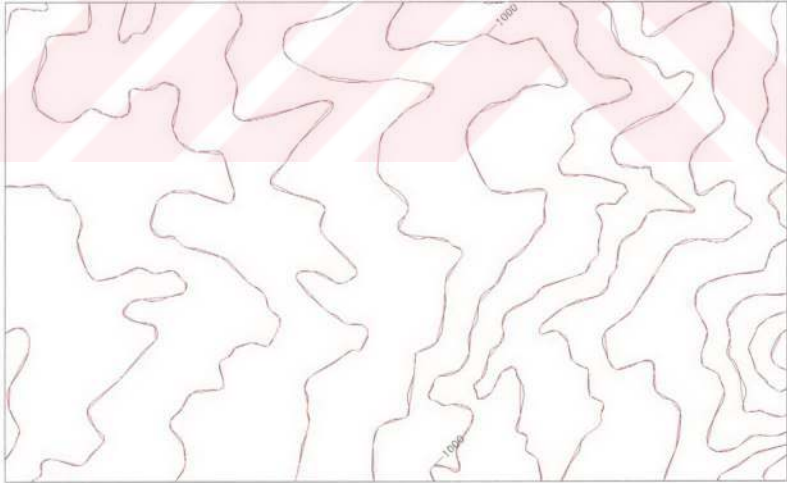
Şekil 4.5: *n.* ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



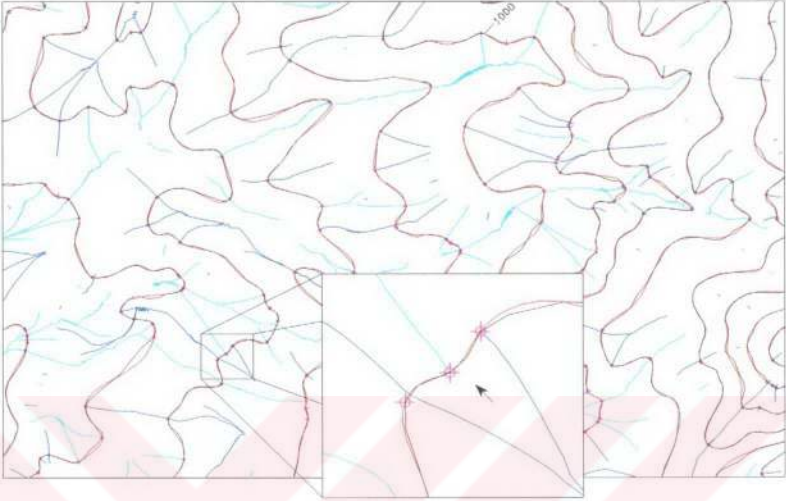
Şekil 4.6: *n.* ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 4.7: *n. ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) genelleştirilmiş (ikinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)*



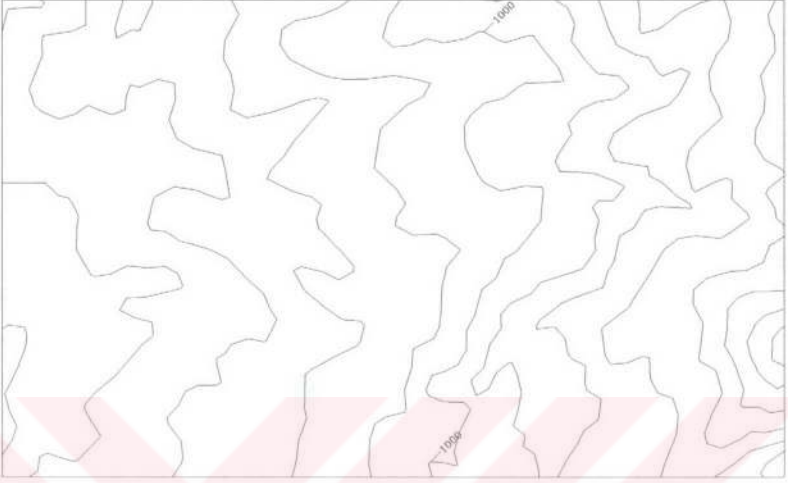
Şekil 4.8: Orijinal (siyah) ve *n. ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci alt veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin karşılaştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)*



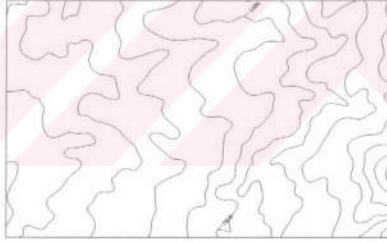
Şekil 4.9: *n. ve karakteristik nokta* yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) genelleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)

Çizelge 4.2: *n. ve karakteristik nokta* yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) genelleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı

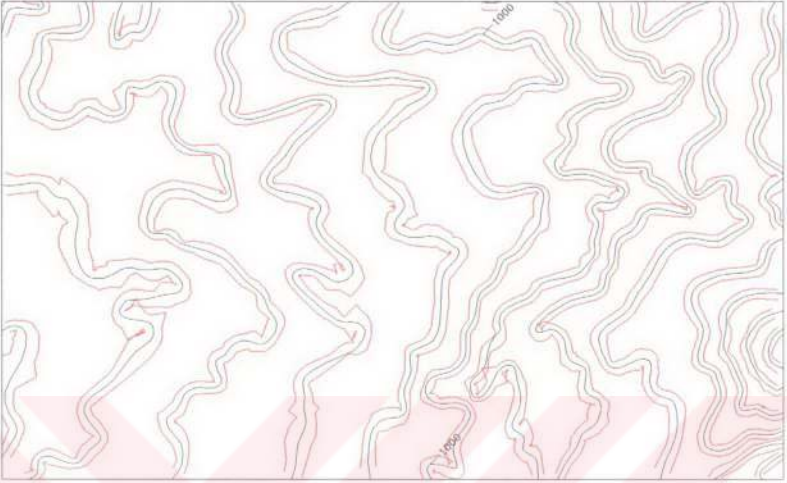
Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
<i>n. ve Kar. Nok.</i>	$n=3$	1164	589	575	49.4



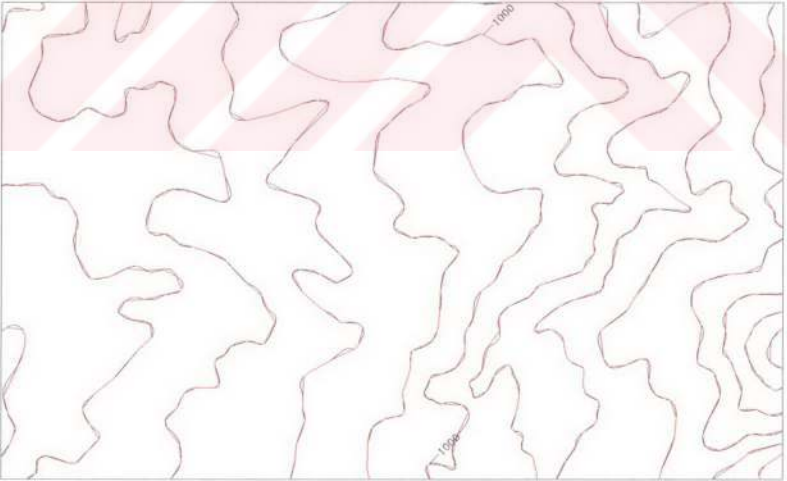
Şekil 4.10: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=70$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



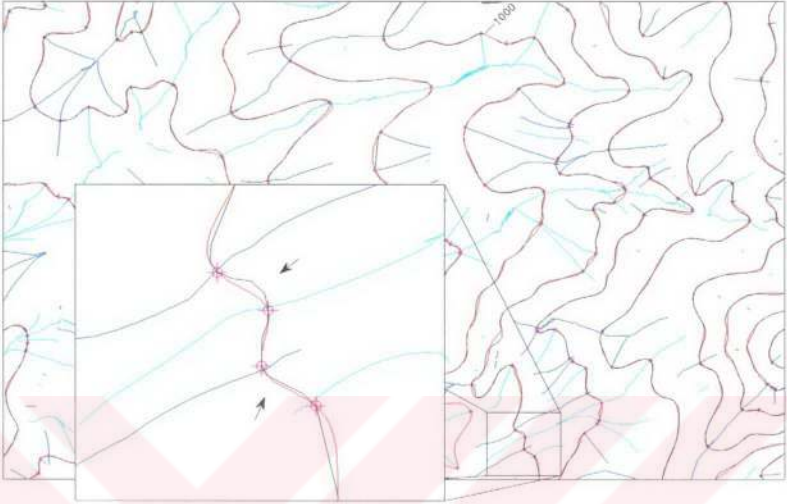
Şekil 4.11: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=70$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 4.12: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=70$ metre seçilerek) genişletilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 4.13: Orijinal (siyah) ve eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=70$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin çakıştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 4.14: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=70$ metre seçilerek) genelleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)

Çizelge 4.4: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=70$ metre seçilerek) genelleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı

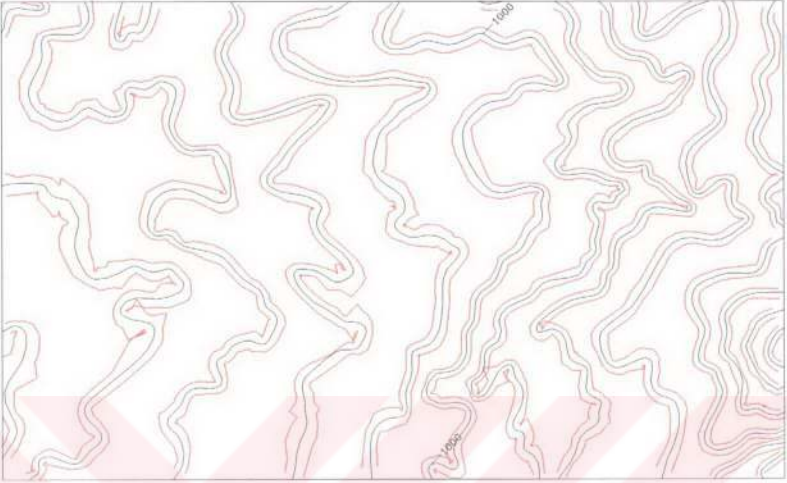
Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
Eşik Mes. ve Kar. Nok.	$d=70$ metre	1164	535	629	54.0



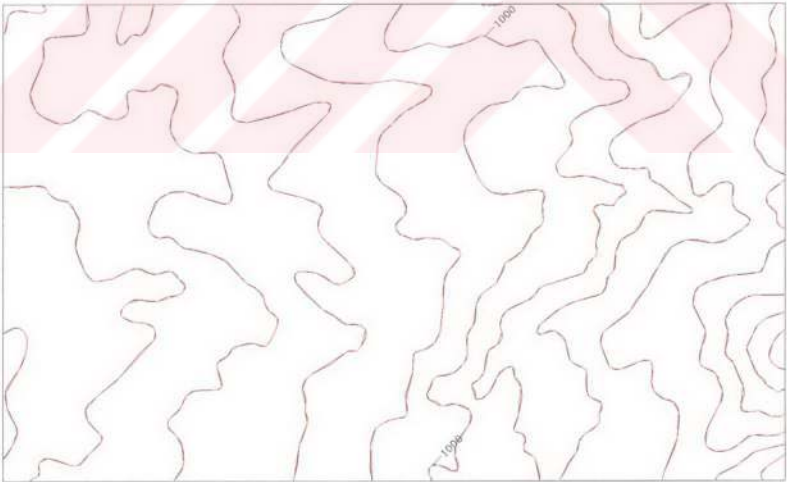
Şekil 4.15: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



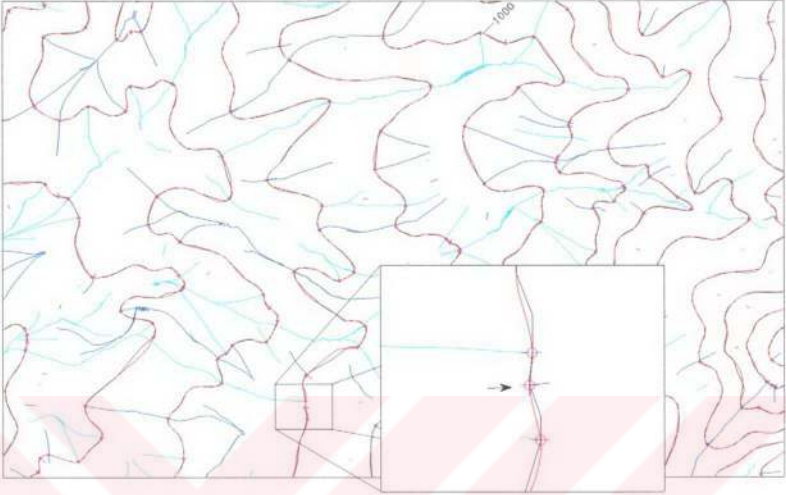
Şekil 4.16: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 4.17: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) genelleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 4.18: Orijinal (siyah) ve eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (ikinci *alt* veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin çakıştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 4.19: **Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre** ($\alpha=360$ derece seçilerek) genelleştirilmiş (ikinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)

Çizelge 4.6: **Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre** ($\alpha=360$ derece seçilerek) genelleştirilmiş (ikinci alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı

Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
Eşik Aç. ve Kar. Nok.	$\alpha=360$ derece	1164	671	493	42.4

Birinci uygulama sonunda,

- Şekil 4.9, 4.14 ve 4.19'da verilen örneklerle **yeniden düzenlenmiş** mevcut üç basitleştirme yönteminin böyle bir uygulamada yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarını kesinlikle koruduğu ya da başka bir ifadeyle elde edilen sonuçların mutlak değerlendirme ölçütüne göre **iyi** ve bu nedenle **yeniden düzenlenmiş** mevcut üç basitleştirme yönteminin **yeterli** olduğu ve

- Çizelge 4.2, 4.4 ve 4.6’da verilen nokta sayılarındaki azalma miktarlarına ya da bağlı değerlendirme ölçütüne göre eşik mesafesi yönteminin n . nokta yönteminden, n . nokta yönteminin de eşik açısı yönteminden daha iyi ya da tercih edilebilir nitelikte olduğu

ifade edilebilir.

4.4.2 Yeniden düzenlenmiş mevcut üç basitleştirme yöntemi ile mevcut üç basitleştirme yönteminin karşılaştırılması

Yeniden düzenlenmiş mevcut üç basitleştirme yöntemi ile mevcut üç basitleştirme yöntemini aynı içeriğe sahip şekillere göre kolayca karşılaştırmak için aşağıdaki çizelge hazırlanmıştır.

Çizelge 4.7: Şekil karşılaştırma çizelgesi

	<i>n. Nok.</i>	<i>n. Nok. ve Kar. Nok</i>	<i>Eşik Mes.</i>	<i>Eşik Mes. ve Kar. Nok.</i>	<i>Eşik Aç.</i>	<i>Eşik Aç. ve Kar. Nok.</i>
<i>Birinci alt</i>	3.8	4.5	3.13	4.10	3.18	4.15
<i>ve</i>	3.9	4.6	3.14	4.11	3.19	4.16
<i>İkinci alt</i>	3.10	4.7	3.15	4.12	3.20	4.17
<i>Veri</i>	3.11	4.8	3.16	4.13	3.21	4.18
<i>Kümesi</i>	3.12	4.9	3.17	4.14	3.22	4.19

Karşılaştırma esas olarak mutlak değerlendirme ölçütüne göre yapılabilir. Mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin olan şekiller 3.12, 4.9, 3.17, 4.14, 3.22 ve 4.19 numaralı şekillerdir. Mutlak değerlendirme ölçütü aynı yerlerde (yükseklik eğrilerinin aynı kısımlarında) örneklenmiştir. Örneğin Şekil 4.9’da büyütülerek gösterilen yer, Şekil 3.12’de büyütülerek gösterilen yer ile aynıdır. Böylece yapılan karşılaştırmalarla, mevcut üç basitleştirme yöntemine göre yapılan genelleştirmelerde az ya da çok korunmadığı tespit edilen yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının, yeniden düzenlenen mevcut üç basitleştirme yöntemine göre yapılan genelleştirmelerde tam olarak korunduğu tespit edilebilir.

5. KARAKTERİSTİK ÇİZGİLERİN UZATILMASI

Yoeli'ye (1984) göre bir su toplama çizgisi, çukur ya da kokurdan şeklindeki araziler haricinde,

- bir başka su toplama çizgisine ulaştığında ya da
- bir göle ya da denize ulaştığında ya da
- haritanın dışına çıktığında

sona erer. Bu düşünceye ya da gerçeğe dayanarak izleme algoritması ile türetilen su toplama çizgilerinden ve tersinirlik özelliğinden dolayı su dağıtma çizgilerinden bu durumlar mevcut olmadığı halde tamamlama üçgenlerine girdikleri için sona erdirilenlerin izlenmeye devam edilebileceği düşünülmüş ve bu amaçla uzatma algoritması geliştirilmiştir.

Şekil 5.1'deki akış diyagramında da görüldüğü gibi uzatma algoritması izleme algoritması ile temelde aynıdır. Bu nedenle bu bölümde geniş açıklamalara yer verilmemiş yalnız uzatma algoritmasının izleme algoritmasından farklılıkları belirtilmiştir.

Farklılıklar, izleme algoritmasının aşağıdaki dört aşamasında söz konusudur.

1. *Başlangıç üçgeninin seçimi:* Başlangıç üçgeni olarak bir kritik bölgenin en son yatay bölgesindeki ve köşe noktalarından birinde bir karakteristik nokta yer alan yatay üçgen ya da üçgenlerden biri seçilir.
2. *Karakteristik çizgi başlangıç noktasının seçimi:* Başlangıç yatay üçgenin köşe noktalarından birinde yer alan karakteristik nokta, karakteristik çizgi başlangıç noktası olarak seçilir.
3. *Bir karar üçgenine girildiği zaman izlemeye devam ediliş edilmeyeceği konusundaki kararının verilmesi:* İzleme işlemindeki tersine bir bağlantı üçgenine girildiğinde “tamam” ve bir tamamlama üçgenine girildiğinde ise “devam” kararı verilir. Çünkü bir

bağlantı üçgenine girilmesi bir sonraki kritik bölgenin birinci yatay bölgesinin sonuna gelindiği anlamına gelir. Başka bir ifadeyle birleştirme işleminin tamamlandığı anlamına gelir. Bunun tersi olarak bir tamamlama üçgenine girilmesi ise henüz bir sonraki kritik bölgeye ve dolayısıyla karakteristik çizgiye ulaşamadığı anlamına gelir.

4. *Geçilen yükseklik eğrisi üzerinde bir yatay bölge olup olmadığının kontrolü:* İzleme işleminde böyle bir kontrole gerek yoktu. Çünkü bir yatay bölge olmak zorundaydı. Oysa burada iki durum da olanaklı. Yatay bölge olması bir karakteristik çizgiye ulaşıldığı ve dolayısıyla birleştirme işleminin sonuna yaklaşıldığı anlamına gelirken yatay bölge olmaması karakteristik çizgiye henüz ulaşılmadığı anlamına gelir.

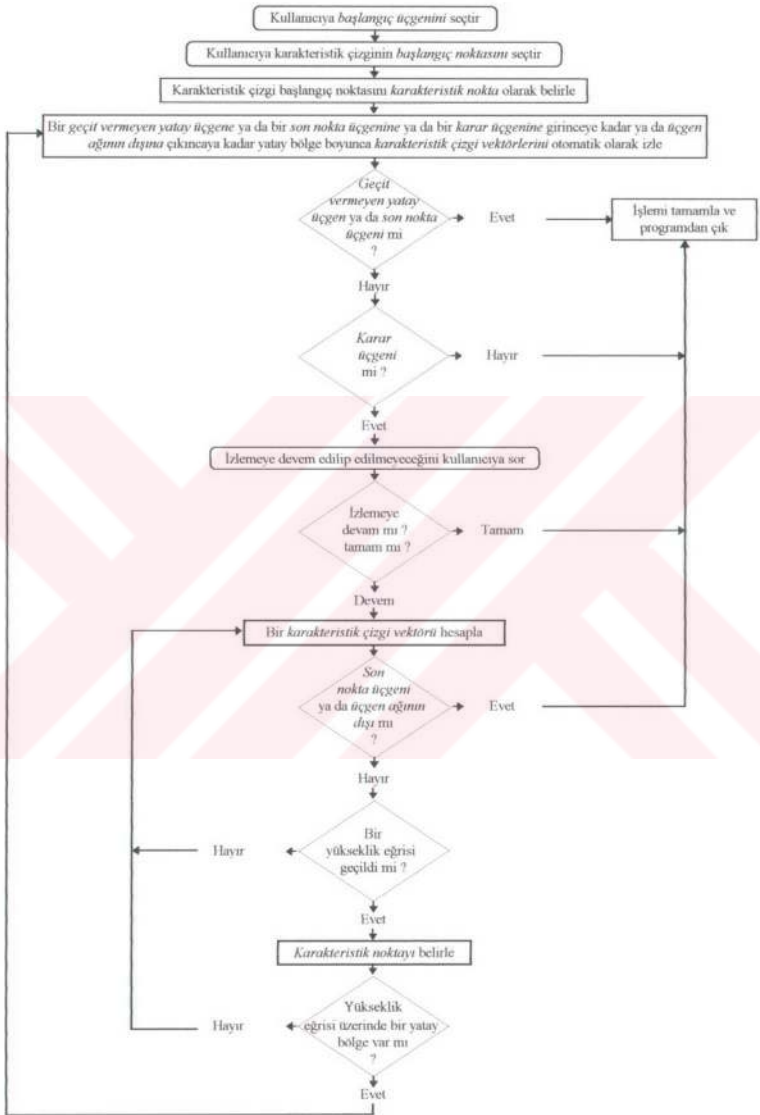
Karakteristik çizgilerin uzatılan kısımları, *ikinci derece karakteristik çizgiler* ve bunlara dayalı olarak belirlenen karakteristik noktalar, *ikinci derece karakteristik noktalar* olarak isimlendirilebilir. Şekil 5.2’de ikinci veri kümesindeki (Şekil 2.39) karakteristik çizgilerin uzatılması ile elde edilen ikinci derece karakteristik çizgiler ve bunlara dayalı olarak belirlenen ikinci derece karakteristik noktalar, esas karakteristik çizgiler ve esas karakteristik noktalar ile birlikte *üçüncü veri kümesi* olarak görünmektedir.

5.1 Uzatılan Karakteristik Çizgilerle Genelleştirme

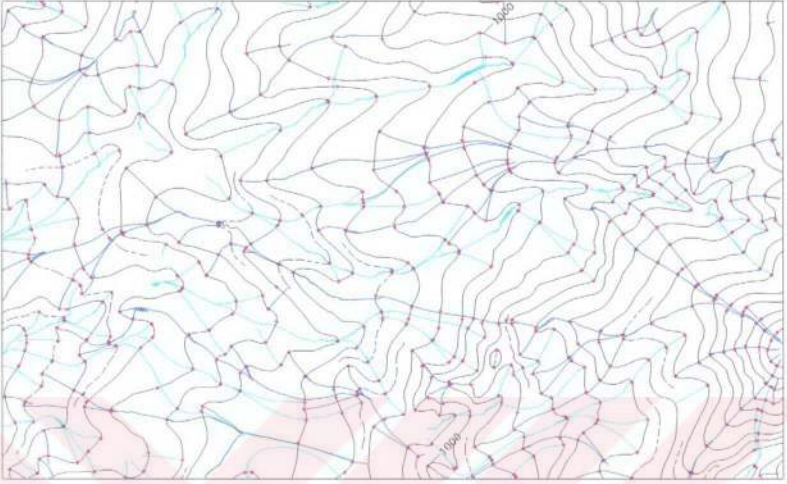
Burada, Bölüm 4.4’deki uygulamalar, Şekil 5.3’te görünen üçüncü *alt* veri kümesi ile gerçekleştirilmiştir. Üçüncü *alt* veri kümesi, ikinci *alt* veri kümesindeki yükseklik eğrilerinin *ikinci derece karakteristik noktalarının* ve bu noktaların ilişkili olduğu *ikinci derece karakteristik çizgilerin* de gösterilmesi şeklinde elde edilmiştir.

5.1.1 Uygulama ve değerlendirme sonuçları

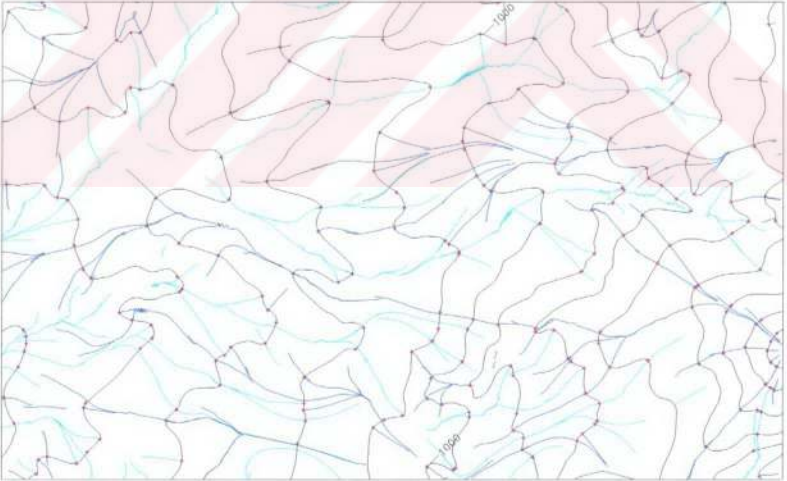
Uygulama ve değerlendirme sonuçları aşağıda görünmektedir. Şekiller ve çizelgeler, Bölüm 3.4.2 ve Bölüm 4.4.1’dekilerle aynı içerikte ve sırada verilmiştir.



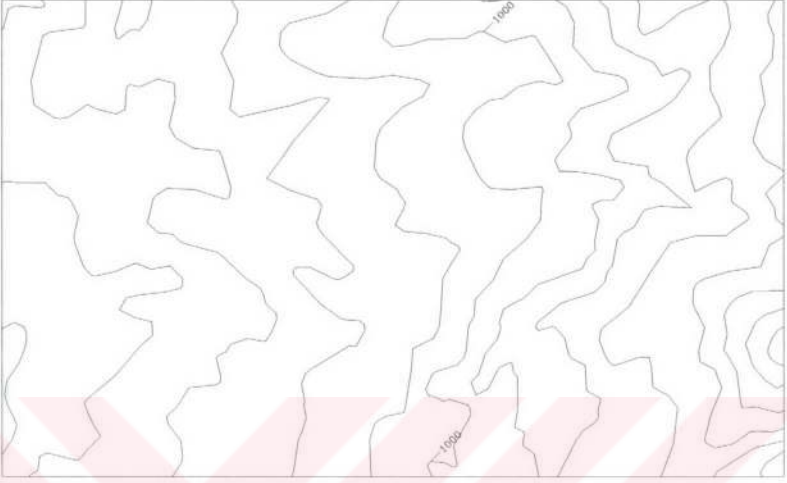
Şekil 5.1: Uzatma algoritmasının akış diyagramı



Şekil 5.2: Üçüncü veri kümesi (Ölçek: 1 / 25 000)



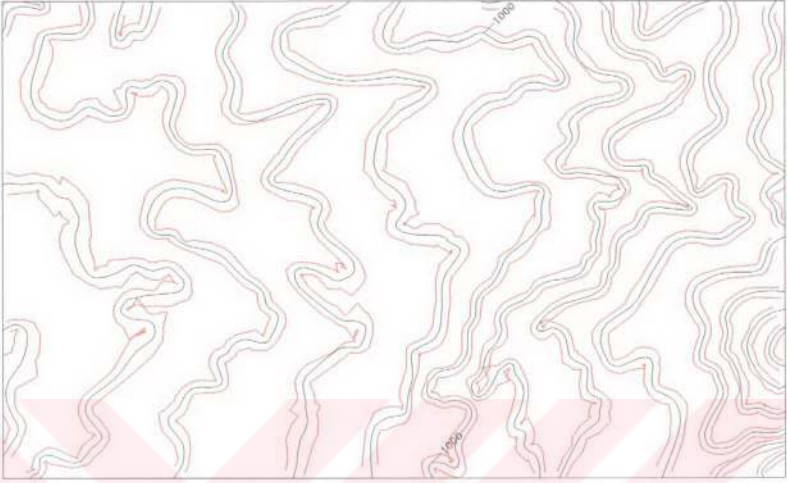
Şekil 5.3: Üçüncü *alt* veri kümesi (Ölçek: 1 / 25 000)



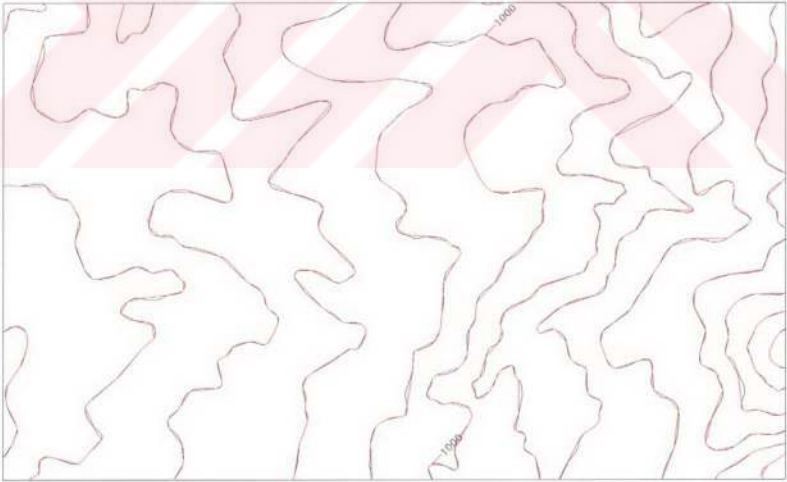
Şekil 5.4: *n*. ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



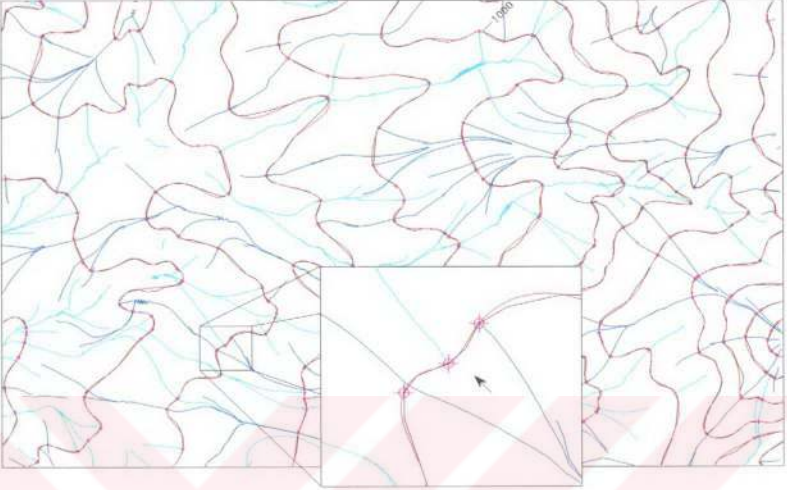
Şekil 5.5: *n*. ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 5.6: n . ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) genelleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)



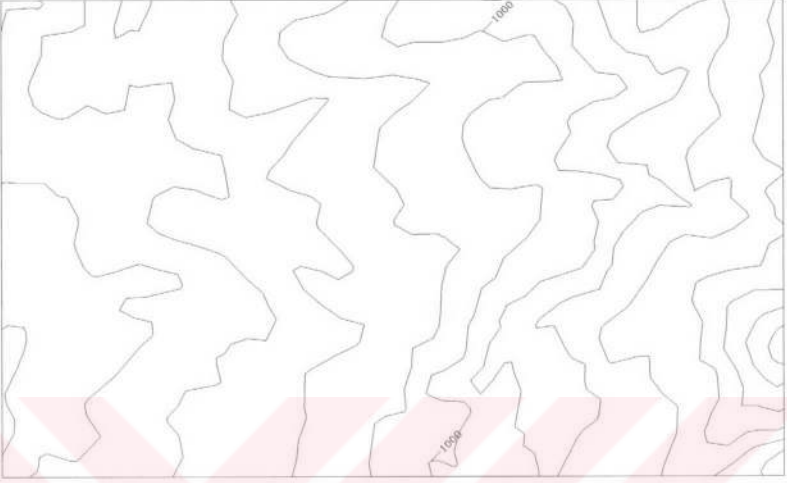
Şekil 5.7: Orijinal (siyah) ve n . ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin karşılaştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 5.8: *n. ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) genelleştirilmiş (üçüncü alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)*

Çizelge 5.2: *n. ve karakteristik nokta yöntemine göre ($n=3$ seçilerek) genelleştirilmiş (üçüncü alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı*

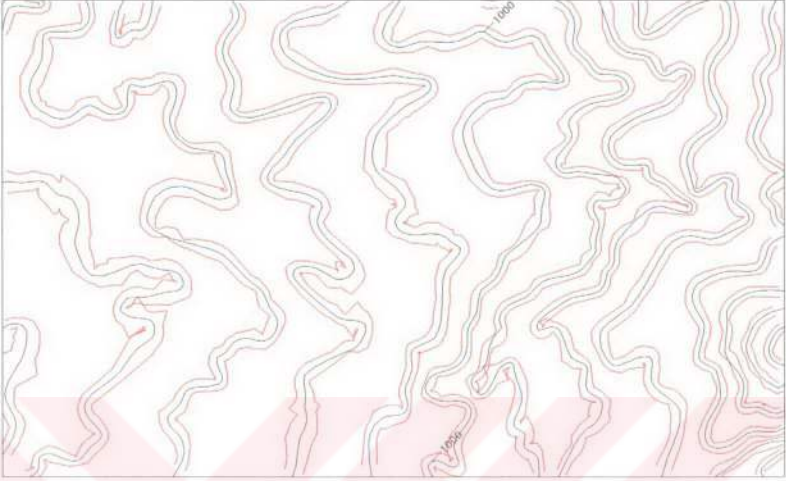
Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
<i>n. ve Kar. Nok.</i>	$n=3$	1164	658	506	43.5



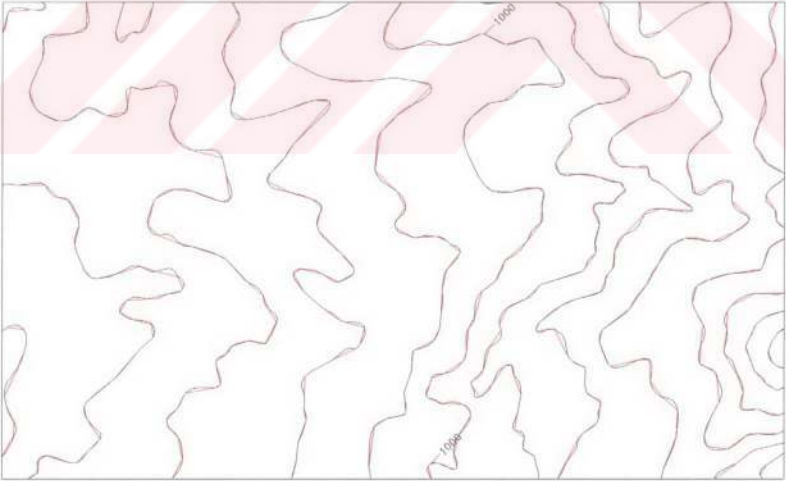
Şekil 5.9: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=85$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



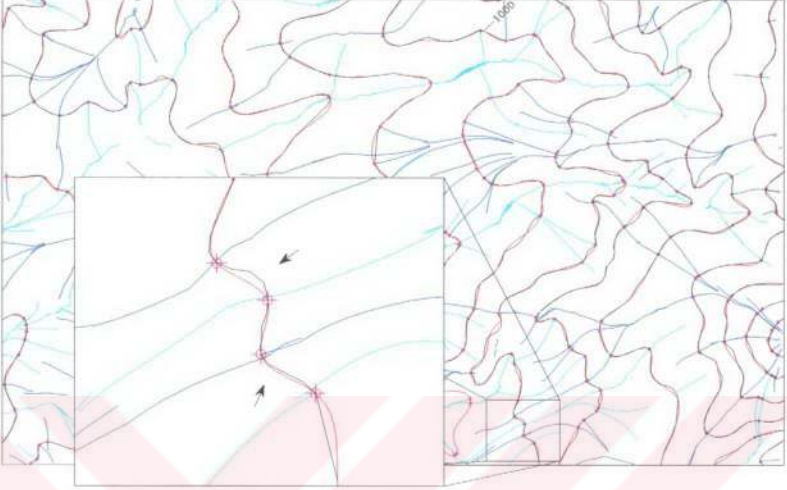
Şekil 5.10: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=85$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 5.11: Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=85$ metre seçilerek) genelleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 5.12: Orijinal (siyah) ve eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine göre ($d=85$ metre seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin çakıştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 5.13: **Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine** göre ($d=85$ metre seçilerek) geliştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)

Çizelge 5.4: **Eşik mesafesi ve karakteristik nokta yöntemine** göre ($d=85$ metre seçilerek) geliştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı

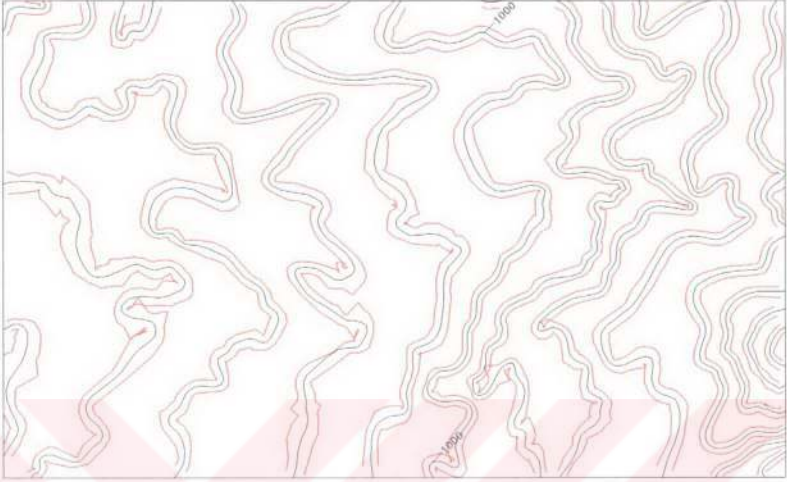
Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
Eşik Mes. ve Kar. Nok.	$d=85$ metre	1164	520	644	55.3



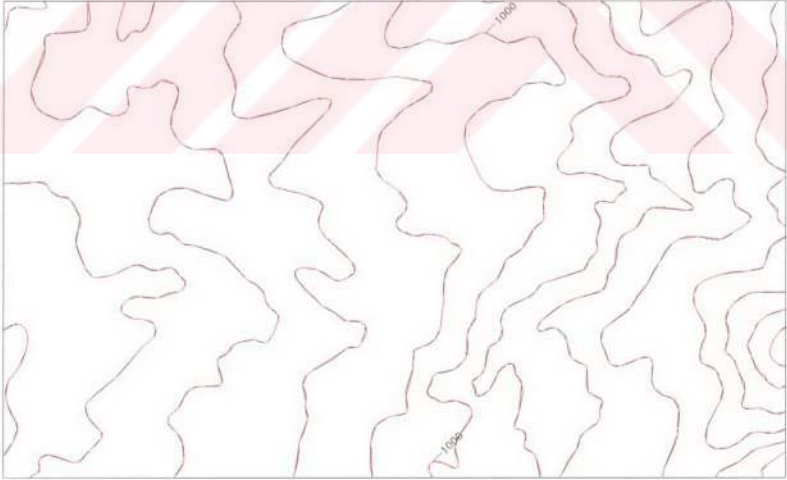
Şekil 5.14: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri (Ölçek: 1 / 25 000)



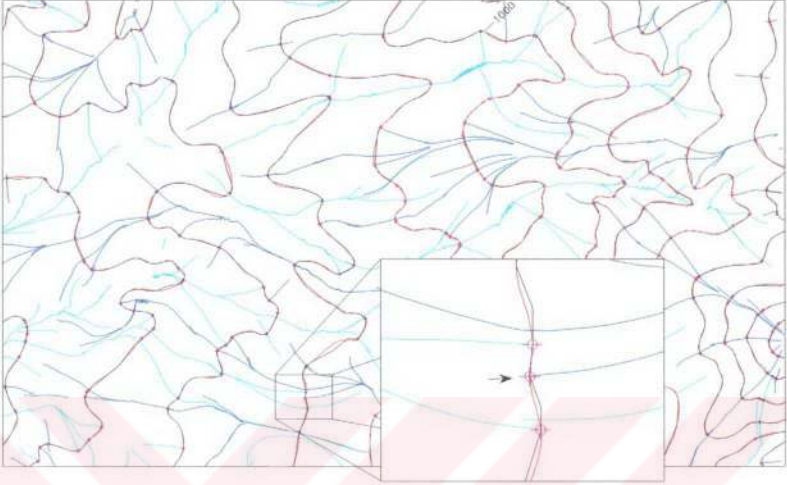
Şekil 5.15: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin yumuşatılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 50 000)



Şekil 5.16: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) genelleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) yükseklik eğrileri ve hata bantları (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 5.17: Orijinal (siyah) ve eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) basitleştirilmiş (üçüncü *alt* veri kümesindeki) (kırmızı) yükseklik eğrilerinin karşılaştırılması ile elde edilen sonuç (Ölçek: 1 / 25 000)



Şekil 5.18: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) geliştirilmiş (üçüncü alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinden mutlak değerlendirme ölçütüne ilişkin örnek (Ölçek: 1 / 25 000)

Çizelge 5.6: Eşik açısı ve karakteristik nokta yöntemine göre ($\alpha=360$ derece seçilerek) geliştirilmiş (üçüncü alt veri kümesindeki) yükseklik eğrilerinin nokta sayısı

Genelleştirme		Yükseklik Eğrilerinin Nokta Sayısı		Nokta Sayısındaki Azalma	
Yöntemi	Ölçütü	Orijinal	Genelleştirilmiş	Miktarı	Yüzdesi
Eşik Aç. ve Kar. Nok.	$\alpha=360$ derece	1164	691	473	40.6

Uzatılan karakteristik çizgilerle yapılan genelleştirmeler sonunda, mutlak değerlendirme ölçütüne göre yapılabilecek değerlendirme, Bölüm 4.4.1'dekinden farklı olmayacaktır. Çünkü burada karakteristik nokta bakımından bir azalma değil, tersine öncelilere bir ilave söz konusudur. Başka bir ifadeyle üçüncü alt veri kümesi ikinci alt veri kümesini kapsadığından üçüncü alt veri kümesiyle elde edilen sonuçlar ikinci alt veri kümesiyle elde edilen sonuçların özelliklerine sahiptir.

Bağıl değerlendirme ölçütüne göre ise sıralama yine değişmemektedir. Buna göre eşik mesafesi yönteminin n . nokta yönteminden, n . nokta yönteminin de eşik açısı yönteminden daha iyi ya da tercih edilebilir nitelikte olduğu ifade edilebilir.

Ayrıca burada veri kümelerindeki karakteristik nokta sayılarının karşılaştırılabilmesi için aşağıdaki çizelge hazırlanmıştır.

Çizelge 5.7: Veri kümelerindeki karakteristik nokta sayıları

<i>Veri Kümesi</i>	<i>Karakteristik Nokta Sayısı</i>
İkinci Veri Kümesi	365
İkinci Alt Veri Kümesi	156
Üçüncü Veri Kümesi	518
Üçüncü Alt Veri Kümesi	225

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Aumann vd. (1991) tarafından üçgen ağındaki yatay üçgenleri ya da başka bir ifadeyle yapay arazi şekillerini ortadan kaldırmak ve böylece arazinin daha doğru bir modelini elde etmek için geliştirilmiş olan **karakteristik çizgileri türetme yöntemi** bu çalışmada yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının ve karakteristik noktalarının tespit edilmesinde bir araç olarak kullanılmıştır.

Arazi şekilleri yükseklik eğrileri ile; arazi şekillerinin karakteristik kısımları ise karakteristik çizgilerle gösterildiğine göre **karakteristik çizgiler, yükseklik eğrilerinin karakteristik kısımlarının işaretleri olarak kabul edilebilir** ve yükseklik eğrilerinin karakteristik noktaları, karakteristik çizgiler yardımıyla belirlenebilir. Buna göre **eğer bir yükseklik eğrisi noktası,**

- aynı zamanda bir karakteristik çizgi noktası ise ya da
- üzerinden karakteristik çizgi geçen bir doğru parçasının (yükseklik eğrilerini meydana getiren doğru parçalarından birinin) karakteristik çizgiye daha yakın olan uç noktası ise

yükseklik eğrisinin karakteristik noktası olarak kabul edilebilir.

Bu bağlamda **mevcut üç basitleştirme yöntemi, yükseklik eğrilerinin karakteristik noktalarının korunması bakımından yetersizdir.** Çünkü bunların hiçbiri ne yükseklik eğrilerinin karakteristik noktalarını belirleyebilecek ne de belirlenen karakteristik noktaları göz önüne alabilecek bir ölçüte sahiptir. Bunların ölçütleri geneldir; yükseklik eğrilerine özgü değildir, kartografik ve jeomorfolojik temellere sahip değildir.

Bir yükseklik eğrisi tek başına arazi şekillerini gösterme bakımından anlamlı ve yeterli değildir. Arazi şekilleri ancak bir dizi yükseklik eğrisi ile gösterilebilir. Başka bir ifadeyle bir yükseklik eğrisi, bir bütünün bir parçasıdır ve bütünü meydana getiren diğer yükseklik eğrilerine bağımlıdır. Bu nedenle yükseklik eğrileri tamamen bağımsız olarak ele alınamazlar.

Ancak, **yükseklik eğrileri, mevcut üç basitleştirme yönteminde, tamamen bağımsız olarak ele alınmaktadır.**

Mevcut üç basitleştirme yöntemine yeni bir ölçüt ilave edilmiştir: Karakteristik nokta. **Bu ölçüt,**

- **yükseklik eğrilerine özgü ve**
- **kartografik ve jeomorfolojik temelleri olan**

tek basitleştirme ölçütüdür. Bu ölçüt yardımıyla, önceden belirlenen karakteristik noktalar genelleştirme sırasında göz önüne alınmakta ve kesinlikle korunmaktadır.

Karakteristik çizgiler, yükseklik eğrileri arasında bağlantı sağlayan köprüler gibi ve karakteristik noktalar, köprülerin ayakları gibi düşünülebilir. Bu bağlamda, yeniden düzenlenen mevcut üç basitleştirme yönteminde, karakteristik noktaların göz önüne alınması ve korunması, yükseklik eğrilerinin karakteristik çizgiler boyunca birlikte ele alınması ve yükseklik eğrileri arasındaki bağlantıların korunması anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle **yükseklik eğrileri, yeniden düzenlenmiş mevcut üç basitleştirme yönteminde, tamamen bağımsız olarak ele alınmamaktadır.**

Karakteristik çizgiler uzatılabilir ve ikinci derece karakteristik çizgiler türetilbilir ve bunlara dayalı olarak ikinci derece karakteristik noktalar belirlenebilir.

İkinci derece karakteristik noktalar da göz önüne alınarak genelleştirme yapıldığında yükseklik eğrilerinin yapısına daha uygun bir genelleştirme yapılmış olur. Çünkü o zaman yükseklik eğrilerinin ikinci derece karakteristik kısımları da korunmuş olur.

Son olarak, karakteristik çizgilerin uzatılmasıyla **ağaç yapısına sahip bir karakteristik çizgi ağının meydana geldiği, bunun ise arazinin iskeletini daha iyi gözler önüne serdiği ifade edilebilir.**

KAYNAKLAR

Assmus, E., (1976), "Extension of Stuttgart Contour Program to Treating Terrain Break-Lines", Proceedings of 13th ISP Congress, Commission III, Helsinki, 1-13.

Aumann, G., Ebner, H. ve Tang, L., (1991), "Automatic Derivation of Skeleton Lines from Digitized Contours", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 46: 259-268.

Aumann, G., Eder, K., Pfannenstein, A. ve Würländer, R., (1992a), "Primary Data Analysis and Preparation for DTM Generation", Proceedings of XVIIth ISPRS Congress, Washington, 850-856.

Aumann, G. ve Ebner, H., (1992b), "Generation of High Fidelity Digital Terrain Models from Contours", Proceedings of XVIIth ISPRS Congress, Commission IV, Washington, 29(B4): 980-985.

Aumann, G., (1994), Aufbau Qualitativ Hochwertiger Digitaler Geländemodelle aus Höhenlinien, Dissertation, Technischen Universität München.

Balodis, M. J., (1988), "Generalization", 71-84, R.W. Anson (Der.), Basic Cartography, Vol. 2, Elsevier App. Sc. Pub. Ltd.

Bennett, D. A. ve Armstrong, M. P., (1996), "An Inductive Knowledge-Based Approach to Terrain Feature Extraction", Cartography and Geographic Information Systems, 23(1): 3-19.

Bjørke, J. T. ve Midtbø, T., (1993), "Generalization of Digital Surface Models", Proceedings of the 16th International Cartographic Conference, Cologne, 363-371.

Bowyer, A., (1981), "Computing Dirichlet Tessellations", The Computer Journal, 24(2): 162-166.

Brassel, K. E. ve Reif, D., (1979), "A Procedure to Generate Thiessen Polygons", Geographical Analysis, 11(3): 289-303.

Brassel, K. E., Heller, M. ve Jones, P. L., (1984), "The Construction of Bisector Skeletons for Polygonal Networks", Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, 117-126.

Breward, R.W., (1972), "A Mathematical Approach to the Storage of Digitized Contours", The Cartographic Journal 9: 82-86.

Chen, Zi-Tan, (1987), "Contour Generalization by a 3-Dimensional Spatial Low-Pass Filtering", Proceedings of GIS'87, Second International Conference on Geographic Information Systems, San Francisco, 1: 375-386.

Chen, Zi-Tan, (1989), "A Spatial Low-Pass Filter Working on Triangular Irregular Network (TIN) and Restricted by Break Lines", Proceedings of Auto-Carto 9, Baltimore, Maryland, 138-145.

Chew, L. P., (1989), "Constrained Delaunay Triangulations", *Algorithmica*, 4: 97-108.

Chrisman, N. R., (1983), "Epsilon Filtering: A Technique for Automated Scale Changing", Technical Papers of 43rd Annual ACSM Meeting, Washington, D.C., Falls Church, 322-331.

Christ, F., (1976), "Fully Automated and Semi-Automated Interactive Generalization, Symbolization and Light Drawing of a Small Scale Topographic Map", *Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Uebersetzung*, 33: 19-36.

Correc, Y. ve Chapuis, E., (1987), "Fast Computation of Delaunay Triangulations", *Advances in Engineering Software*, 9(2): 77-83.

Douglas, D. H., (1986), "Experiments to Locate Ridges and Channels to Create a New Type of Digital Elevation Model", *Cartographica*, 23(4): 29-61.

Dwyer, R. A., (1987), "A Faster Divide-and-Conquer Algorithm for Constructing Delunay Triangulations", *Algorithmica*, 2(2): 137-151.

Ebner, H., Reinhardt, W. ve Hössler, R., (1988), "Generation, Management and Utilization of High Fidelity Digital Terrain Models", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto*, 27(B11): III/556-III/566.

Ebner, H. ve Tang, L., (1989a), "High Fidelity Digital Terrain Models from Digitized Contours", *Proceedings of 14th ICA World Conference, Budapest*, 2 (yalnız özet).

Ebner, H. ve Tang, L., (1989b), "Automatic Derivation of Skeleton Lines from Contours for Digital Terrain Modelling", *Proceedings of 14th ICA World Conference, Budapest*, 113 (yalnız özet).

Ebner, H., (1992), "Digital Terrain Models and Their Applications", *Geo-Information-Systems*, 5(3): 27-30.

Finsterwalder, R., (1986), "Zur Bestimmung von Tal- und Kammlinien", *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 111: 184-189.

Floriani, L. de ve Puppo, E., (1988), "Constrained Delaunay Triangulation for Multiresolution Surface Description", *Proceedings of 9th International Conference on Pattern Recognition, Roma*, 1: 566-569.

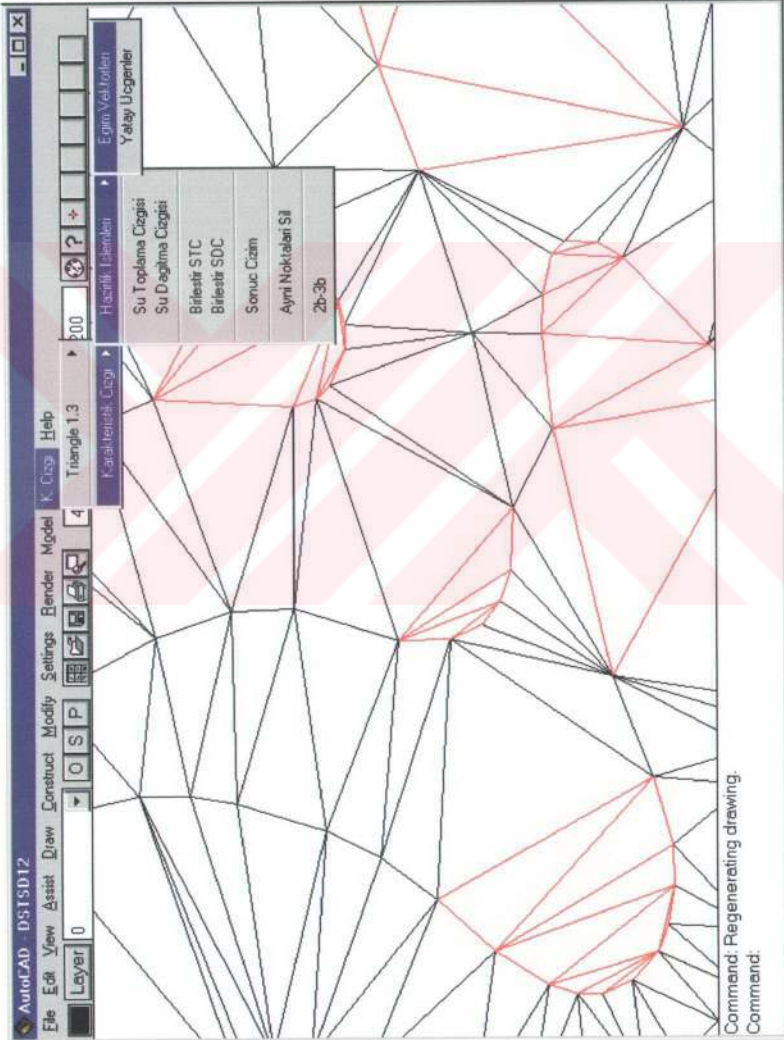
Floriani, L. de ve Puppo, E., (1992), "An On-Line Algorithm for Constrained Delaunay Triangulation", *Graphical Models and Image Processing*, 54(3): 290-300.

- Frederiksen, P. ve Kurt, K., (1986), "On Automatic Generalization of Contour Lines, from Analytical to Digital", Proceedings of ISPRS Symposium, Commission III, Rovaniemi, 1: 260-268.
- Gold, C. M., (1984), "Common-Sense Automated Contouring: Some Generalizations", Cartographica, 21(2/3) 121-129.
- Gökgöz, T., (1997), "Derivation of Characteristic Lines from a Specific Digital Terrain Model", Proceedings of the International GIS/GPS Symposium, 15-19 Sept. 1997, İstanbul.
- HGK, (1964), Tahvil Talimatı, Harita Genel Komutanlığı.
- HGK, (1977), Özel İşaretler Yönergesi, Harita Genel Komutanlığı.
- HGK, (1989), 1 / 25 000 Ölçekli Harita Tersim ve Kontrol Teknik Talimatı, Harita Genel Komutanlığı.
- HGK, (1990), Haritacılık Ders Notları, Harita Genel Komutanlığı.
- Inaba, K., Aumann, G. ve Ebner, H., (1988), "DTM Generation from Digital Contour Data Using Aspect Information", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, Japan, 27(B8): III101-III110.
- Jones, C. B., Bundy, G. ve Ware, J. M., (1995), "Map Generalization with a Triangulated Data Structure", Cartography and Geographic Information Systems, 22(4): 317-331.
- Kao, T., Mount, D. M. ve Saalfeld, A., (1991), "Dynamic Maintenance of Delaunay Triangulations", Technical Papers of Auto-Carto 10, Baltimore, 6: 219-233.
- Keates, J. S., (1989), Cartographic Design and Production, Longman, Harlow.
- Kilpeläinen, T., (1992), "Multiple Representations and Knowledge-Based Generalization of Topographical Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission III, Part B3, Washington, 954 - 964.
- Koçak, E., (1980), Kartografya, KTÜ Yayınları, Trabzon.
- Leberl, F. W., (1986), "ASTRA - A System for Automated Scale Transition", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(2): 251-258.
- Lee, D. T. ve Schachter, B. J., (1980), "Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation", International Journal of Computer and Information Science, 9(3): 219-242.
- Lee, D. T., (1982), "Medial Axis Transformation of a Planar Shape", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-4: 363-369.

- Li, Zhilin, (1988), "An Algorithm for Compressing Digital Contour Data", The Cartographic Journal, 25(2): 143-146.
- Loon, J. C., (1978), Cartographic Generalization of Digital Terrain Models, Dissertation, The Ohio State University.
- Mark, D. M., (1984), "Automated Detection of Drainage Networks from Digital Elevation Models", Cartographica, 21: 168-178.
- Markarovic, B., (1983), "A Test on Compression of Digital Terrain Model Data", ITC-Journal, 2: 133-138.
- Marton, M., (1989), "Certain Problems of Relief Representation by Contours on Small-Scale Maps", Proceedings of 14th ICA World Conference, Budapest, 243-258.
- McCullagh, M. J., (1981), "Creation of Smooth Contours over Irregularly Distributed Data Using Local Surface Patches", Geographical Analysis, 13(1): 51-63.
- McMaster, R. ve Shea, K. S., (1992), Generalization in Digital Cartography, Association of American Geographers, Washington.
- Montanari, Ugo., (1969), "Continuous Skeletons from Digitized Images", Journal of the Association for Computing Machinery, 16(4): 534-549.
- Muller, J. C., (1990), "Rule Based Generalization: Potentials and Impediments", Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, 1: 317-334.
- Ogniewicz, R. ve Ilg, M., (1990), "Skeletons with Euclidean Metric and Correct Topology and Their Application in Object Recognition and Document Analysis", Proceedings of 4th International Symposium on Spatial Data Handling, Zürich, 1: 15-24.
- Özgen, G., Ögün, Ü. ve Yalın, D., (1988), Harita Çizimi Bilgisi, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Pannekoek, A. J., (1962), "Generalization of Coastlines and Contours", International Yearbook of Cartography, 2: 55-74.
- Qian, J., Ehrlich, R. W. ve Campbell, J. B., (1990), "DNESYS - An Expert System for Automatic Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28(1): 29-45.
- Robinson, A., Sale, R. ve Morrison, J., (1978), Elements of Cartography, Jhon Wiley & Sons, New York.
- Roy, H., (1996), Essential AutoLISP, Springer-Verlag, New York.

- Schut, G. H., (1976), "Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models", The Canadian Surveyor, 30(5): 389-412.
- Seemuller, W.W., (1989), "The Extraction of Ordered Vector Drainage Networks from Elevation Data", Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 47: 45-58.
- Selçuk, M., (1974), Yükseklik Eğrilerinin Hassasiyeti, Yeterlik Çalışması, İDMMA Harita Kadastro Bölümü (yayımlanmamış).
- Shewchuk, J. R., "Triangle: Engineering a 2D Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator", <http://www.cs.cmu.edu/~quake/triangle.html>.
- Shewchuk, J. R., (1997), Delaunay Refinement Mesh Generation, Dissertation, Carnegie Mellon University.
- Tang, L., (1992), "Automatic Extraction of Specific Geomorphological Elements from Contours", Geo-Information-Systems, 5(3): 20-27.
- Weibel, R., (1986), "Automated Cartographic Generalization", 20-35, R. Sieber ve K. E. Brassel, (Derl.), A Selected Bibliography on Spatial Data Handling: Data Structures, Generalization and Three-Dimensional Mapping, Geoprocessing Series 6, Geographisches Institut der Universität Zürich.
- Weibel, R., (1987), "An Adaptive Methodology for Automated Relief Generalization", Proceedings of Auto-Carto 8, Baltimore, Maryland, 42-49.
- Weibel, R., (1989), "Design and Implementation of a Strategy for Adaptive Computer-Assisted Terrain Generalization", Proceedings of the 14th International Cartographic Association Conference, 17-24 Aug. 1989, Budapest, Hungary, 51-63.
- Weibel, R., (1992), "Models and Experiments for Adaptive Computer-Assisted Terrain Generalization", Cartography and Geographic Information Systems, 19(3): 133 - 153.
- Wolf, G. W., (1984), "A Mathematical Model of Map Generalization", Geo-Processing, 2: 271-286.
- Yoeli, P., (1984a), "Error-Bands of Topographical Contours with Computer and Plotter (Program KOPPE)", Geo-Processing, 2: 287-297.
- Yoeli, P., (1984b), "Computer-Assisted Determination of the Valley and Ridge Lines of Digital Terrain Models", International Yearbook of Cartography, 24: 197-206.

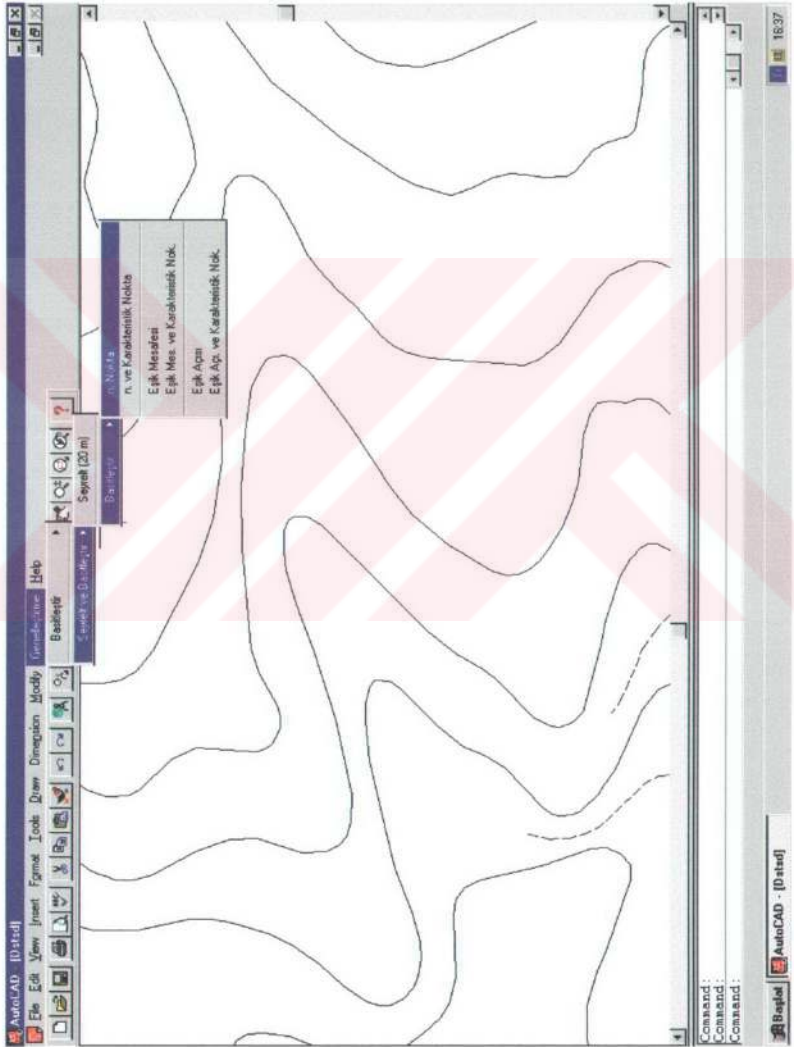
Ek 2 AutoCAD R12 Ekran Görüntüsü 2 (K. Çizgi Menüü)



Ek 3 AutoCAD R14 Ekran Görüntüsü 1 (Genelleştirme Menüsü)



Ek 4 AutoCAD R14 Ekran Görüntüsü 2 (*Genelleştirme* Menüsü)



Ek 6 Yazılan Kaynak Kodları İçeren Bir Disket

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	21.5.1970	
Doğum yeri	Osmancık / ÇORUM	
Lise	1981-1987	Osmancık Lisesi
Lisans	1987-1991	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1991-1994	İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı
Doktora	1994-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı
Çalıştığı kurumlar	1993-Devam ediyor	YTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi
	1.7.1996-31.12.1996	Bonn Üniversitesi Kartografya ve Topografya Enstitüsü DAAD Bursiyeri