

**TOPOGRAFİK HARİTALARIN ÜRETİMİNDE
EŞ YÜKSEKLİK EĞRİLERİN BASİTLEŞTİRİLMESİ VE OTOMASYONU**
(CONTOUR SIMPLIFICATION AND ITS AUTOMATION
IN THE PRODUCTION OF TOPOGRAPHIC MAPS)

Bülent ÇETİNKAYA¹, Gönül TOZ²

¹Harita Genel Komutanlığı, Ankara

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, İstanbul
bulent.cetinkaya@hgk.mil.tr

ÖZET

Çizgi basitleştirme, coğrafi varlıkların farklı ölçeklerdeki gösteriminde vazgeçilmez olan kartografik işlemlerden birisidir. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemelere paralel olarak, birçok çizgi basitleştirme algoritmaları geliştirilmiştir. Coğrafi detaylara uygulanacak çizgi basitleştirme algoritmalarının seçiminde ya da geliştirilmesinde, söz konusu coğrafi varlıkların karakteristikleri dikkate alınmalıdır. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi, topografik harita üretim sürecinde ve özellikle turetme topografik haritaların genelleştirme yöntemi ile üretiminde, önemli ve vazgeçilmez işlem adımlarından birini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, topografik haritaların üretiminde eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi ele alınmış ve otomasyonuna yönelik yöntem ve yaklaşımlar sunulmuştur. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesinde amaç, sadece çizgilerdeki küçük kıvrımların giderilmesi ve çizginin hedef ölçekte en az nokta ile temsil edilmesi olmamalıdır. Basitleştirilmiş eş yükseklik eğrileri, söz konusu araziye ve karakteristiğini hedef ölçekte en iyi şekilde ifade etmelidir. Hedef ölçekte önemli olan arazi karakteristikleri, basitleştirilmiş eş yükseklik eğrilerinde korunmuş olmalıdır. Basitleştirilmiş eş yükseklik eğrileri, ayrıca belirli doğruluk ölçütlerini de sağlamalıdır. Eş yükseklik eğrileri, aslında üç boyutlu coğrafi veridir. Eş yükseklik eğrilerinde üçüncü boyut, çizginin şeklinde saklı bulunmaktadır. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesinde gerçekleşen yatay konum değişiklikleri, arazinin durumuna göre ciddi düşey konum değişikliklerine neden olabilmektedir. Bu durum, eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesinde dikkate alınmalıdır.

Anahtar Kelime: Eş yükseklik eğrileri, topografik harita, çizgi basitleştirme, arazi karakteristik hatları, düşey konum doğruluğu.

ABSTRACT

Line simplification is one of the cartographic processes vital for the display of geographic elements at varying scales. Parallel to the developments in computer technologies, lots of line simplification algorithms have been developed. Geographic characteristics of the map objects should be taken into account in the selection or development of appropriate line simplification algorithms to be applied. Contour simplification constitutes an important process in map production systems, especially in the production of derived datasets from master datasets through generalization. In this study, the contour simplification in the production of topographic maps has been analyzed and some methods and approaches have been proposed towards its automation. In contour simplification, aiming cartographically acceptable geometric

shapes or representing geometric shapes with minimum number of points should not only constitute the criteria. Terrain characteristics should be preserved in the simplified contours. Furthermore, the simplified contours should bear some certain spatial accuracy. Contours are indeed 3D geometry shapes. Their third dimension is concealed on their geometry. Horizontal positional changes in contours can cause some errors on their vertical positions. This should be taken into consideration in the simplification processes.

Key Words: Contours, topographic map, line simplification, terrain characteristic lines, vertical positional accuracy.

1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojilerindeki baş döndürücü gelişmeler diğer birçok bilim dalı gibi haritacılık bilimini de etkilemiştir. Klasik harita üretim teknikleri yerini, bilgisayar destekli harita üretim sistemlerine bırakmaktadır. Coğrafi verilere olan gereksinim, her geçen gün artmaktadır. Coğrafi veriler, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) en önemli, en fazla zaman alan ve maliyet gerektiren birleşenini oluşturmaktadır (Longley, vd., 2001). Bu durum, coğrafi veri üreticilerini hızlı, doğru ve ekonomik coğrafi veri üretim arayışlarına itmektedir. Dolayısıyla coğrafi veri üreticileri için, coğrafi veri üretim süreçlerin otomasyonu son derece önemli olmaktadır. Türetme harita ve değişik nitelik ve içerikteki coğrafi veri setlerinin üretimi; doğrudan fotogrametrik ya da yersel ölçüm yöntemleri ile yapılabilir olmasına rağmen, kendisinden daha yüksek geometrik ve semantik çözünürlüğe sahip temel ölçek sayısal harita verisi ve coğrafi veri setlerinden (birincil modeller) model genelleştirme ve/veya kartografik genelleştirme yöntemleri kullanılarak üretilmesi daha akılcı ve tercih edilen yöntem olmaktadır (Hardy, vd., 2003).

Coğrafi verilerin doğruluğu, sayısal verilerin kullanımı ile birlikte daha da önem kazanmıştır. Coğrafi veriler, CBS'leri ile yapılacak analizleri ve sonuçlarını doğrudan etkilemektedirler. Bilgisayar destekli harita üretim tekniklerinin kullanımı ile birlikte, türetme coğrafi veri üretimi için ihtiyaç duyulan otomasyon süreçlerin geliştirilmesinde ve türetilen coğrafi verilerin doğruluklarının belirlenmesinde çeşitli değerlendirme yöntemlerine de gereksinim doğmuştur (Jaakola, 1994; Ruas, 2001).

Çizgi basitleştirme, coğrafi varlıkların farklı ölçeklerdeki gösteriminde vazgeçilmez olan kartografik işlemlerden birisidir (Itzhak, vd., 2005). Çizgi basitleştirmesi, harita üretim sistemlerinde ve özellikle de türetme coğrafi veri setlerin genelleştirme yöntemi ile üretilmesinde önemli bir işlem adımını oluşturmaktadır. Harita genelleştirmesi, aslında veri sıkıştırma işleminden ziyade bilgi özetleme işlemidir. Gerçek genelleştirme işlemi, coğrafi varlığın sadece basit geometrik özelliklerini değil, coğrafi karakteristiklerini de göz önünde bulunduran akıllı bir işlem olmalıdır (Tinghua, 2004).

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, birçok çizgi basitleştirme algoritmaları geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmaların birçoğu genel amaçlı olup, birbirlerine yakın ya da farklı sonuçlar verebilmektedir. Bazı basitleştirme

algoritmaları, çizgi detaylarını en az nokta ile temsil etmede çok iyi sonuçlar verirken diğer bir kısım algoritmalar ise, orijinal çizginin genel şeklini daha iyi temsil etmekte ve kartografik kalite bakımından daha iyi bir görünüm sergilemektedir (ESRI, 2007). Çizgilerin basitleştirilmesi işleminde, çizgilerin temsil ettiği coğrafi varlıkların karakteristik özelliklerine uygun çizgi basitleştirme algoritmaları kullanılmalıdır.

Çizgi basitleştirme işlemi, eş yükseklik eğrilerin farklı ölçeklerde gösteriminde de gerekli olan önemli işlem adımlarından birini oluşturmaktadır. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi işleminde, söz konusu arazinin karakteristikleri dikkate alınmalı ve basitleştirilen eş yükseklik eğrilerinde korunmalıdır. Basitleştirilen eş yükseklik eğrileri ayrıca, belirli doğruluk ölçütlerini de sağlamalıdır. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi işlemi, daha küçük ölçek ve/veya içeriğe sahip türetme coğrafi veri ve haritaların genelleştirme yöntemi ile temel ölçek coğrafi verilerden üretiminde daha da önemli ve kaçınılmaz olmaktadır. Klasik harita üretim sisteminde eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi, eş yükseklik eğrilerin ölçeklenerek üzerine kopyalandığı harita altlıklarında çeşitli kazıma uçları kullanılarak yapılan yeniden tersim ile sadece uzman kartograflar tarafından gerçekleştirilmektedir (HGK, 1964; HGK, 1999). Klasik harita üretim tekniklerinden bilgisayar destekli harita üretim sistemlerine geçişte problem olan söz konusu eş yükseklik eğrileri basitleştirme işleminin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi ve otomasyonu, bilgisayar destekli harita üretim sistemlerinin etkinliği açısından son derece önemli olmaktadır (Stoter, 2005).

Bu çalışmada, topografik haritaların üretiminde eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi ve otomasyonu ele alınmış ve uygulamaya yönelik yöntem ve yaklaşımlar sunulmuştur. Uygulamada 1:25.000 ölçekli Standart Topografik (ST) haritaların üretiminde doğrudan kullanılan KARTO25 vektör verileri kullanılmış ve 1:100.000 ölçekli ST haritaların üretimi için gerekli olan eş yükseklik eğrilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi teorik ve uygulamaya yönelik olarak anlatılmaktadır. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesinde belirli geometrik doğruluk ölçütlerin sağlanması, çalışmanın üçüncü bölümde vurgulanmaktadır. Sonuç ve öneriler ise çalışmanın son bölümünde sunulmaktadır.

2. EŞ YÜKSEKLİK EĞRİLERİN BASİTLEŞTİRİLMESİ

Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi, tipik bir arazi yüzeyi genelleştirme işlemidir. Özel bir çizgi gösterimi olarak eş yükseklik eğrileri; vadi ağların dağılımı, sırt hatların dağılımı ve jeomorfolojik durum gibi bir seri arazi karakteristiklerini içermektedir. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesinde kabul edilebilir bir sonuç, ancak yukarıda belirtilen özelliklerin kartograf tarafından doğru olarak değerlendirebildiği durumda alınabilir. Her bir eş yükseklik eğrisinin sadece uzunluk, eğrilik, köşeli ve açılı olma durumu gibi geometrik ölçülerden oluşan tek bir çizgi olarak değerlendirildiği durumda, basitleştirme sonucu, arazinin yüzey karakteristik ve dağılımını doğru olarak göstermekten uzaklaşabilir. Arazi genelleştirmesinde gerçek işlem gören nesne, bir anlamda eş yükseklik eğrilerin kendileri olmayıp, eş yükseklik eğrilerinin ihtiva ettiği su toplama ve dağıtma çizgilerinin oluşturduğu ağlardır. Eş yükseklik eğrileri genelleştirmesi, drenaj sistemindeki önemsiz olan su toplama ve dağıtma

çizgilerin tespit edilmesi ve bunların ilişkili olduğu komşu eş yükseklik eğrileri serilerindeki eş yükseklik eğrisi kıvrımların elimine edilmesidir (Tinghua, 2004).

Yukarıda bahsedilen yaklaşım, iki ana işlem adımını gerektirmektedir. Bunlardan birincisi, eş yükseklik eğrilerinden drenaj sisteminin çıkartılması, analiz edilmesi ve önemsiz olanların belirlenmesidir. Diğer işlem adımı ise, çıkartılan su toplama ve dağıtma çizgileri ile bunlara ait eş yükseklik eğrileri kıvrım grupları arasında ilişkilerin kurulması ve bunlardan önemsizlere ait olan kıvrım gruplarında belirli ölçütten küçük olan kıvrımların elimine edilmesidir. Dolayısıyla eş yükseklik eğrileri genelleştirmesi, coğrafi ve geometrik olmak üzere iki bakışı içermektedir. Bunlardan birincisi, arazi karakteristiklerin, drenaj yapısı analizi ile önemliliğinin belirlenmesine odaklanmaktadır. İkincisi ise, çizginin basitleştirmesine yönelik çalışmaları kapsamaktadır (Tinghua, 2004).

Eş yükseklik eğrilerin genelleştirmesi konusunda birçok araştırmalar yapılmıştır. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi ve yumuşatılmasında aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmalıdır (Çetinkaya, 2006):

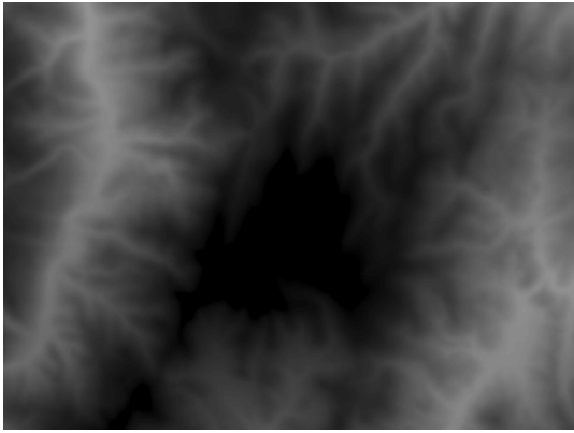
- Eş yükseklik eğrilerinde hedef ölçek için önemli olmayan küçük girinti ve çıkıntılar, basitleştirilmeli ve yumuşatılmalıdır.
- Basitleştirme ve yumuşatma işlemleri sonrası eş yükseklik eğrileri, birbirlerini kesmemelidir.
- Basitleştirme ve yumuşatma işleminde, arazinin karakteristik yapısı dikkate alınmalı ve korunmalıdır. Arazi karakteristik hatları ya da çizgileri olarak adlandırılan su toplama çizgileri (geniş yataklı dere, dere, kuru dere, vb.) ile su dağıtma çizgilerinden (sırt hatlarından) hedef ölçek için önemli olanlar, basitleştirme ve yumuşatma işleminden sonra eş yükseklik eğrilerinde korunmalıdır.
- Eş yükseklik eğrilerin nehir, dere ve kuru dere geçişlerinde basitleştirme öncesinde var olan uyumları ve "V" şeklindeki kıvrımları basitleştirme sonrasında da korunmalıdır.

Arazi karakteristik çizgilerinden su toplama çizgileri, mevcut olan kaynak veritabanından nehir, dere ve kuru dere türü detayların doğrudan seçimi yolu ile elde edilebilir. Türetme coğrafi verilerin üretiminde ise, hedef ölçek için önemli olan su toplama çizgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Bu durumda, arazinin karakteristik çizgilerinden su toplama çizgileri, genelleştirilmiş hidrografya verilerinden doğrudan seçim yolu ile elde edilebilir. Bu durum türetme coğrafi verilerin üretiminde, hidrografya akan sular seçim işleminin eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi işleminden önce yapılmasını gerektirmektedir.

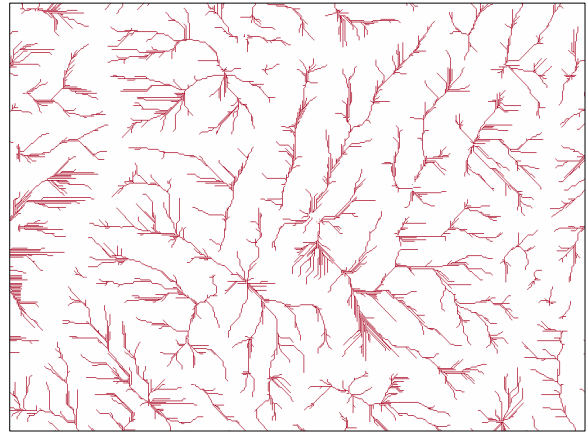
Arazi karakteristik hatlarından su dağıtma çizgileri ise, kaynak veride çoğunlukla doğrudan bulunmamaktadır. Su dağıtma çizgileri verisinin türetilmesi gerekmektedir. Su dağıtma çizgileri, eş yükseklik eğrileri veya Sayısal Yükseklik Arazi Modelleri (SYAM) kullanılarak türetilir. Karakteristik çizgilerin türetilmesine yönelik geliştirilen birçok yöntemler vardır. Karakteristik çizgilerinin eş yükseklik eğrilerinden türetilmesine yönelik çalışmaların bir kısmı Finsterwalder (1986), Inaba vd. (1988), Ebner vd. (1989), Aumann vd. (1991) ve Tang (1992) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Karakteristik çizgilerinin SAYM'leri kullanılarak türetilmesine yönelik çalışmaların bir kısmı ise Mark (1984), Yoeli (1984), Finsterwalder (1986), Douglas (1986), Weibel (1987), Seemullar (1989), Qian vd. (1990), Bennett vd. (1996), Peng vd. (1996), Chang vd. (1998), Gökgöz vd. (2004) ve Çetinkaya vd. (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir.

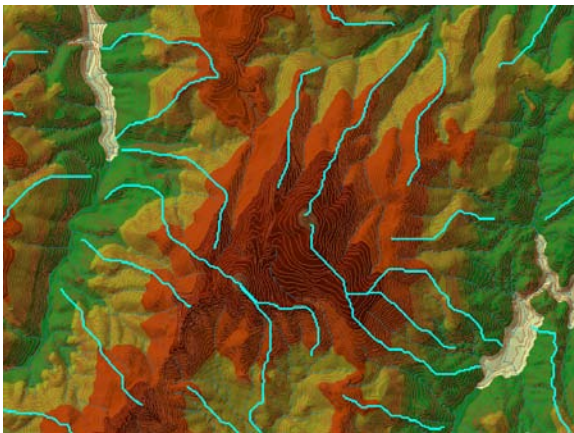
Şekil 1b' de, Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) D8 yöntemi kullanılarak türetilen su dağıtma çizgileri sunulmaktadır. D8 yöntemi, su toplama çizgi ve havzalarının SYM'lerinden otomatik olarak türetilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır (Maidment, 1993; Hogg, vd., 1997). Burada D8 yöntemi, yeryüzüne göre ters simetrik olan SYM'ni kullanılarak sırt hatlarını otomatik şekilde türetebilecek şekilde uyarlanmıştır (Çetinkaya, vd., 2006). Yoğun olarak türetilmiş olan su dağıtma çizgilerinden hedef ölçek için önemli olan ve basitleştirme işleminde kullanılacak olanların seçilmesi gerekmektedir. Seçim sonrası durum Şekil 1c ve 1d' de sunulmaktadır.



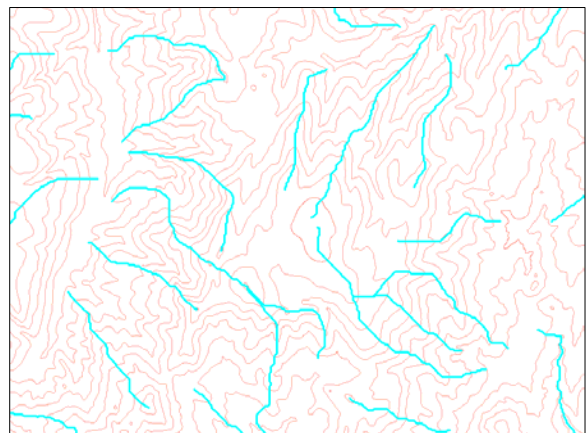
(a)



(b)



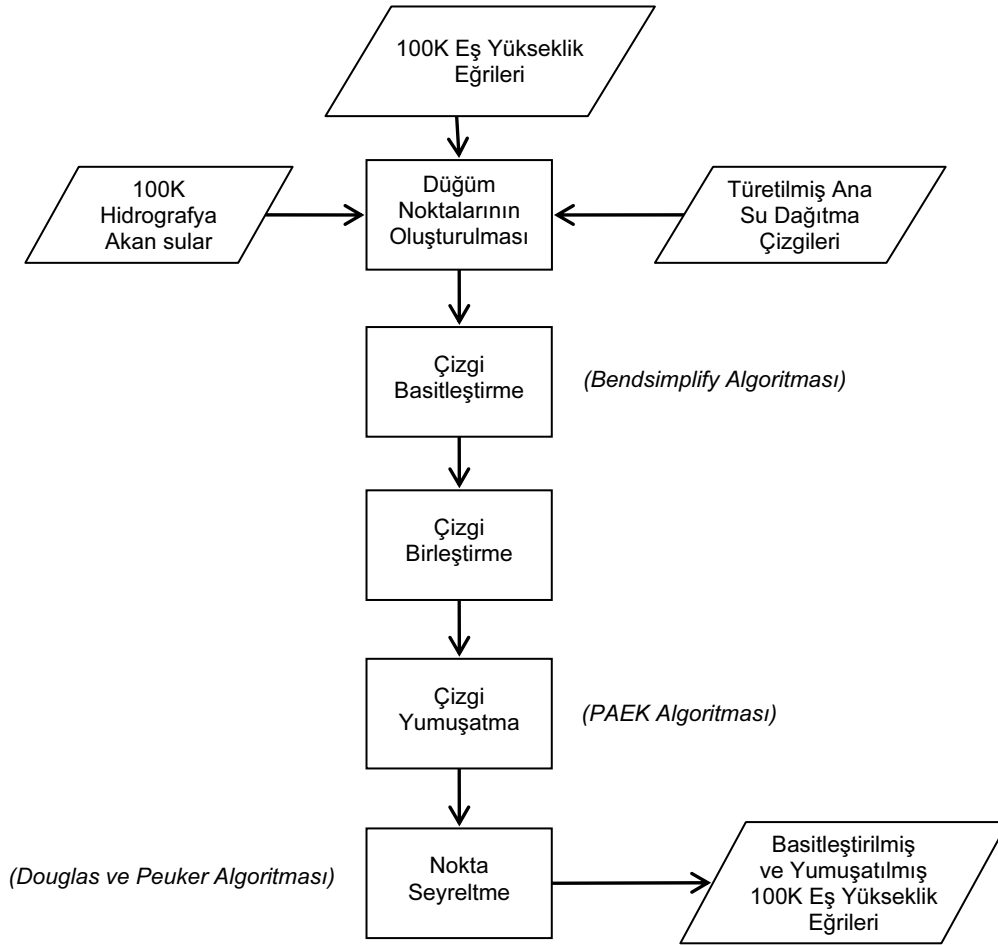
(c)



(ç)

Şekil 1. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi işleminde kullanım amaçlı türetilen ana su dağıtma çizgileri (sırt hatları). a). Sayısal Arazi Modeli, b).Türetilen su dağıtma çizgileri, c). Ana su dağıtma çizgileri (sırt hatları), ç). Ana su dağıtma çizgileri (sırt hatları).

Eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesinde korunması istenen arazi karakteristik hatların belirlenmesinden sonra, çizgi basitleştirme ve yumuşatma işlemi uygulanabilir. Çizgi basitleştirme algoritmaları, çoğunlukla çizgi tabanlı çalışan algoritmalar. Çizgi basitleştirme işleminde, çizgi başlangıç ve bitiş noktalarının yerleri değişmemektedir. Eş yükseklik eğrilerinin karakteristik çizgiler ile kesişim yerlerine, basitleştirme işleminden önce düğüm noktaları atılabilir. Daha sonra yapılacak basitleştirme işleminde çizgilerin başlangıç ve bitiş noktalarının yerleri değişmediğinden, düğüm noktalarının atılması ile oluşturulan karakteristik noktalar korunmuş olmaktadır (Ying, vd., 2003). Bu durum aynı zamanda eş yükseklik eğrilerin, söz konusu kesişim bölgelerindeki V şeklini ve kavisini korumaya katkıda bulunmaktadır. Bu yöntem, bir çok ticari CBS yazılımlarında bulunan ve çizginin genel karakteristiğini çok iyi koruyan algoritmaların, içeriğinin bilinmesine gerek kalmadan eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesinde kullanılmasına imkan vermektedir. Çizgi basitleştirme işleminden sonra, söz konusu kesişim bölgelerinde oluşabilecek keskin dönüşleri elimine etmek amacıyla çizgi birleştirme, ve sonrasında çizgi yumuşatma algoritması uygulanabilir (Şekil 2). Sonuç olarak, eş yükseklik eğrilerin basitleştirme ve yumuşatma işleminde, eş yükseklik eğrileri ile akan sular ve sırt hatları kesişim yerleri ve eş yükseklik eğrilerin söz konusu kesişim bölgelerindeki V şekli ve kavisleri korunmaktadır.

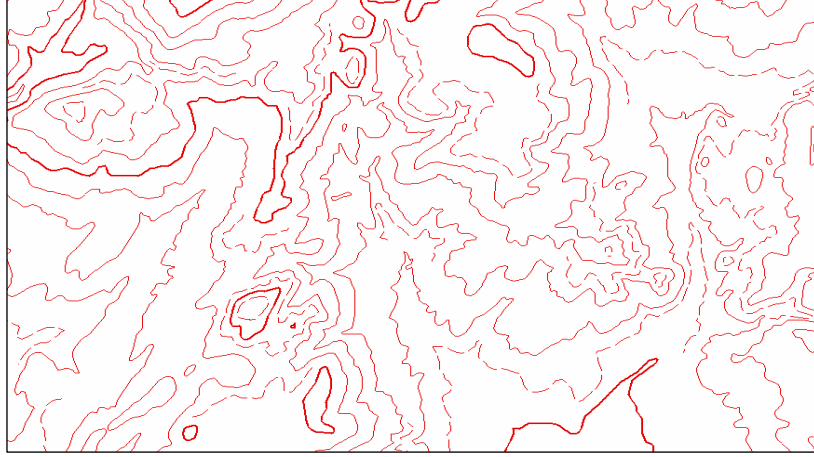


Şekil 2. Eş yükseklik eğrileri basitleştirme ve yumuşatma işlemi

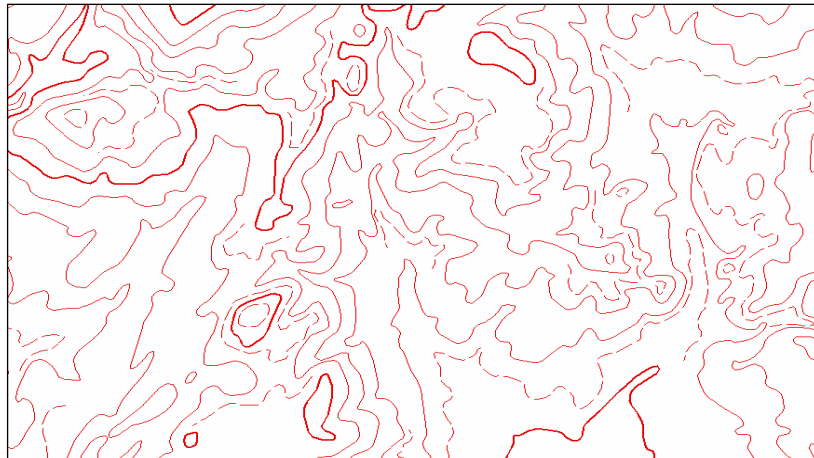
Şekil 2' de gösterilen iş akışı bir uygulama ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamada 1:25.000 ölçekli ST haritaların üretiminde doğrudan kullanılan KARTO25 vektör verisi kullanılmış ve 1:100.000 ölçekli ST harita üretim amaçlı seçilen eş yükseklik eğrilerinde basitleştirme ve yumuşatma işlemi gerçekleştirilmiştir. KARTO25 verisinde (HGK, 2002) bulunan ve basitleştirme işleminde su toplama çizgileri şeklinde işlem gören söz konusu akan sular detayları aşağıda listelenmektedir:

- a. DERE,
- b. DERE_(KURU),
- c. DERE_(KURU)_ONEMLI,
- ç. DERE_ONEMLI,
- d. DERE_GENIS_YATAKLI,
- e. DERE_ISLAH_EDILMIS.

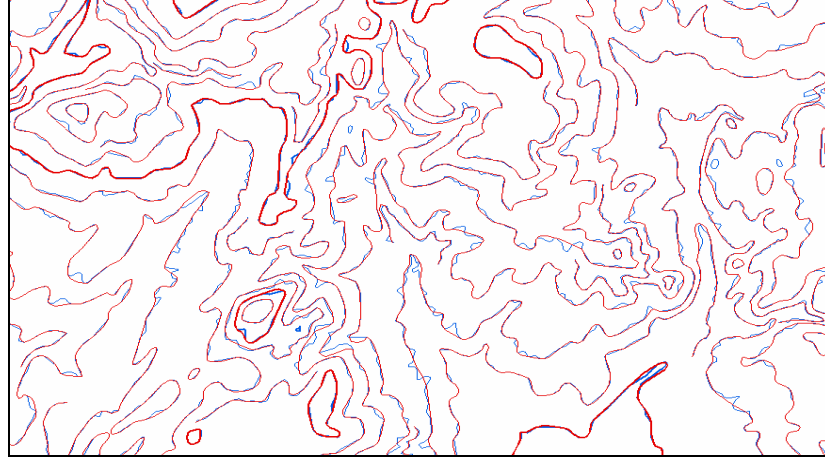
Eş yükseklik eğrilerin basitleştirme ve yumuşatma işlemi öncesi, sonrası ve karşılaştırma durumları Şekil 3, 4 ve 5 'te sırası ile gösterilmektedir.



Şekil 3. Eş yükseklik eğrileri basitleştirme ve yumuşatma öncesi



Şekil 4. Eş yükseklik eğrileri basitleştirme ve yumuşatma sonrası



Şekil 5. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirme ve yumuşatma öncesi ve sonrası durumlarının karşılaştırılması

Douglas ve Peucker (1973) tarafından geliştirilen basitleştirme algoritması, günümüzde halen birçok CBS yazılımlarında kullanılmaktadır. Uygulaması basit olan ve oldukça hızlı çalışan algorithmada; girilen basitleştirme ölçütüne göre, çizgi üzerinde gereksiz olan noktalar etkili bir şekilde azaltılmaktadır. Basitleştirme ölçütü artırıldığında, basitleştirme sonucu oluşan çizgide keskin kırıklıkların mevcudiyeti önemli ölçüde artmakta ve sonuç çizgi estetik görünümünden uzaklaşmaktadır. Douglas ve Pueker (1973) tarafından geliştirilen algoritmanın, veri sıkıştırma ve düşük dereceli basitleştirme işlemlerinde kullanımı oldukça etkindir (ESRI, 2007). Söz konusu bu yöntem, bu çalışmada basitleştirme ve yumuşatma sonucu oluşan çizgilerde nokta seyreltme amacı ile kullanılmıştır (Şekil 2).

Uygulama çalışması kapsamında gerçekleştirilen çizgilerin basitleştirilmesi işleminde, Wang (1996) tarafından geliştirilen kıvrım basitleştirme (Bend Simplify) algoritması kullanılmıştır. Kıvrım basitleştirme algoritmasında ileri düzey teknikler kullanılarak çizgi boyunca olan kıvrımlar tespit edilmekte, kıvrımların karakteristikleri analiz edilmekte ve girilen basitleştirme ölçütüne göre önemsiz olan kıvrımlar elimine edilmektedir. Basitleştirme sonucu oluşan çizgi, orijinal çizginin ana şeklini daha iyi temsil etmekte ve daha iyi bir kartografik sonuç vermektedir (Skopeliti, vd., 2001; ESRI, 2007).

Çizgi basitleştirme işleminden sonra çizgide oluşan kırıklıklar, yumuşatılarak kartografik açıdan daha iyi bir görünümüne sahip çizgi detayları elde edilmelidir. Bu amaçla, uygulama çalışmasında çizgilerin yumuşatılmasında Bodansky (2002) tarafından geliştirilen PAEK (Polynomial Approximation with Exponential Kernel) algoritması kullanılmıştır (Şekil 2).

Basitleştirme ve yumuşatma işlemi sonrası çizgilerin birbirlerini kesmemesi istenmektedir. Tüm detay sınıfındaki eş yükseklik eğrileri için aynı basitleştirme ölçütü kullanılmak istendiğinde, çok yoğun ve girintili çıkıntılı olan eş yükseklik eğrilerinde bu pek mümkün olmamaktadır. Bu durumda eş yükseklik eğrilerin basitleştirme sonrası birbirlerini kesmemesi için basitleştirme ölçütleri küçük tutulmaya

çalışılmakta, bu da basitleştirmenin istenilen düzeyde yapılamamasına neden olabilmektedir.

Burada, uygulanan basitleştirme algoritmasında;

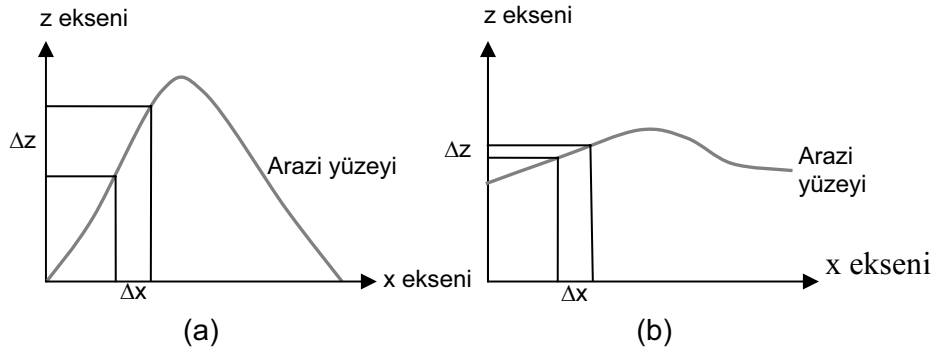
- belirlenen basitleştirme ölçütü, detay sınıfındaki çizgilere sıra ile uygulanmakta,
- çizgilerin birbirlerini kesip kesmedikleri sorgulanmakta,
- ve kesen çizgilerin kesen kısımları için basitleştirme ölçütü düşürülerek, sadece kesen kısımlar için tekrar uygulanmakta,

ve böylelikle, basitleştirme sonrası çizgilerin birbirlerini kesmemeleri sağlanmaktadır (Lee, 2004). Sonuç veride, eş yükseklik eğrisinin farklı kısımlarında farklı basitleştirme ölçütü uygulanmış bir eş yükseklik eğrisi olabilmektedir.

3. EŞ YÜKSEKLİK EĞRİLERİN BASİTLEŞTİRİLMESİNDE GEOMETRİK DOĞRULUK

Sayısal coğrafi verilerin kullanımındaki artış ile birlikte coğrafi verilerin konumsal doğruluğu, basılı haritalardakinden daha da önemli hale gelmiştir. Bu durum, CBS içerisindeki veriyi ve dolayısıyla analiz sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Basitleştirilen eş yükseklik eğrileri, kartografik olarak istenilen şeklin yanında bir takım geometrik doğruluk ölçütlerini de sağlamak durumundadır.

Eş yükseklik eğrileri, nivo yüzeylerinin arazi yüzeyi ile arakesitleridir. Nivo yüzeyleri ise, aynı yükseklikteki arazi noktalarının üzerinde bulunduğu düzlemlerdir. Dolayısıyla eş yükseklik eğrileri, aslında üç boyutlu geometrik şekillerdir. Eş yükseklik eğrilerin üçüncü boyutu, çizgisinin şeklinde saklı bulunmaktadır. Eş yükseklik eğrilerin yatay konumlarında meydana gelen değişiklikler, çizginin şeklinden dolayı düşey konum değişikliklerine neden olmaktadır. Düşey konum değişikliğinin şiddeti, arazinin eğimi ile doğrudan ilişkilidir. Dağlık ve yüksek engebeli bir arazide küçük yatay konum değişiklikleri, ciddi düşey konum değişikliklerine neden olabilmektedir (Şekil 6). Bu durumun tam tersi ise düz ve az engebeli araziler için geçerlidir. Sonuç olarak basitleştirilmiş eş yükseklik eğrileri, belirli yatay konum doğruluklarının yanında belirli düşey konum doğruluklarını da sağlamalıdır.



Şekil 6. Eş yükseklik eğrilerindeki yatay konum değişikliklerin düşey konum değişikliklerine etkisi. a). Yüksek engebeli arazi düşey kesiti, b). Az engebeli arazi düşey kesiti

Eş yükseklik eğrilerin belirli bir yatay konum doğruluğunda basitleştirilmesi, basitleştirme algoritmalarında kullanılan giriş uzaklığı, en büyük mesafe ve çember yarıçapı gibi parametreler için uygun ölçütlerin kullanılması ile gerçekleştirilebilir. Bu durum, kırıklık açısı gibi parametreler kullanan bazı basitleştirme algoritmalar için geçerli olmayabilir. Bu tür basitleştirme algoritmalarında ise, eş yükseklik eğrileri için maksimum mesafe ölçütü kullanılarak oluşturulan tampon alanlar (buffer polygons), bu amaçla kullanılabilir. Eş yükseklik eğrileri, bu tampon alanlar içinde olacak şekilde basitleştirilir.

Basitleştirme algoritmalarında kullanılan ve yukarıda bahsedilen basitleştirme ölçütleri ve tampon alanlar, basitleştirme işleminin belirli bir yatay konum doğruluğunda gerçekleşmesini sağlamaktadırlar. Fakat düşey konum doğruluğun istenilen düzeyde gerçekleşmesini sağlamamaktadırlar. SYM ve Düzensiz Üçgen Ağlarından (TIN) türetilen “düşey hata bandı eş yükseklik eğrileri” bu amaç ile kullanılabilir. Hata bandı eş yükseklik eğrileri, hata bantların düşey sınırlarını belirten yükseklikler için türetilir ve eş yükseklik eğrilerin belirli bir düşey konum doğruluğunda basitleştirilmesinde kullanılabilir. Lee (2004) tarafından tanımlanan benzer bir yaklaşım burada uygulanabilir. Eş yükseklik eğrisi öncelikle tanımlanan ölçüt ile basitleştirilir ve basitleştirme sonrası eş yükseklik eğrilerin, hata bandı eş yükseklik eğrileri ile kesişimleri kontrol edilir. Kesişen çizgilerin tespit edildiği durumlarda, eş yükseklik eğrilerin kesişen çizgi parçacıkları belirlenir ve sadece o kesişen eş yükseklik eğrileri çizgi parçacıkları daha küçük basitleştirme ölçütü ile yeniden basitleştirilir.

Sonuç olarak, maksimum yatay konum değişiklikleri seçilen basitleştirme ölçütleri belirli bir değerin altında tutulabilir. Maksimum düşey konum değişikliğinin belirli bir değerin altında tutulması ise, basitleştirilen eş yükseklik eğrilerin, hata bandı eş yükseklik eğrilerini kesmemesi koşulunun sağlanması ile gerçekleştirilir. Ayrıca, düşey konum doğruluk toleransının eş yükseklik eğrisi aralığının yarısından küçük seçilmesi durumunda, basitleştirilen eş yükseklik eğrilerinde birbirini kesmeler gibi topolojik hatalar da ortadan kaldırılmış olur. Bu yaklaşım, tüm çizgi basitleştirme algoritmaları ile birlikte uygulanabilir. Basitleştirme işlemi sonucunda, kartografik olarak istenilen şeklin elde edilmesinin yanında, belirlenen yatay ve düşey konum doğrulukları da sağlanmış olmaktadır.

4. SONUÇ

Türetme coğrafi veri ve haritaların üretilmesinde gerekli olan eş yükseklik eğrileri, kaynak veriden seçim ve/veya türetme yolu ile elde edilebilir (Çetinkaya, 2006). Fakat sadece bu işlem, türetme coğrafi veri ve haritaların üretimi için yeterli olmamakta, eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesi işlemini de gerektirmektedir. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirmesinde amaç, eş yükseklik eğrilerin hedef ölçekte arazi karakteristiğini koruyacak şekilde en az nokta ile temsil edilmesi ve gereksiz olan kıvrımlarının giderilmesidir. Eş yükseklik eğrilerin basitleştirmesi, uygun basitleştirme yöntem, algoritma ve ölçütlerin bir araya getirilmesini ve uygulanmasını gerektirmektedir.

Basitleştirme sonrası eş yükseklik eğrileri, arzu edilen kartografik şeklin yanında belirli bir geometrik doğruluğu da sağlamalıdır. Eş yükseklik eğrilerinde yatay konumsal doğruluk, çoğunlukla seçilen basitleştirme ölçütü ile belirlenmektedir. Eş yükseklik eğrilerin yatay konumlarında meydana gelen değişiklikler, çizginin şeklinden dolayı düşey konum değişikliklerine neden olmaktadır. Dolayısıyla düşey konum değişikliği de, geometrik doğruluğun önemli bir diğer parçasını oluşturmaktadır. Düşey konum doğruluğu, basitleştirilen eş yükseklik eğrilerin, türetilen hata bandı eş yükseklik eğrilerini kesmemesi koşulunun sağlanması ile önceden tanımlanan doğruluğun altında tutulması sağlanabilir.

Günümüzde basılı haritaların yanında sayısal coğrafi verilere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu durum coğrafi veri üreticilerini hızlı, doğru ve ekonomik coğrafi veri üretimi arayışlarına itmektedir. Klasik harita üretim teknikleri yerini bilgisayar destekli harita üretim sistemlerine bırakmaktadır. Coğrafi veri üreticiler için harita üretim süreçlerinin otomasyonu son derece önem arz etmektedir. Bu çalışmada, topografik haritaların üretiminde eş yükseklik eğrilerin basitleştirilmesine yönelik teorik ve uygulamaya yönelik bilgiler verilerek otomasyonuna ilişkin süreçler sunulmaktadır. Söz konusu çalışmanın eş yükseklik eğrilerin basitleştirmesinde doğrudan ve dolaylı olarak kullanılabilmesi ve harita üretim süreçlerinin standardizasyon ve otomasyonu çalışmalarına önemli katkılar yapabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aumann, G., Ebner, H., and Tang, L.,** 1991. Automatic Derivation of Skeleton Lines from Digitized Contours, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **46**, 259-68.
- Bennett, D. A. and Armstrong, M. P.,** 1996. An Inductive Knowledge-Based Approach to Terrain Feature Extraction, *Cartography and Geographic Information Systems*, **23**, 3-19.
- Bodansky, E., Gribov, A., Pilouk, M.,** 2002. Smoothing and Compression of Lines Obtained by Raster to Vector Conversion, *Fourth International Workshop on Graphics Recognition Algorithms and Applications*, London, UK, September 7-8.
- Çetinkaya, B.,** 2006. Eş Yükseklik Eğrileri, Akan Sular ve Su İletim Hatları Coğrafi Verilerin Otomasyon Süreçleri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cetinkaya, B., Toz, G., Maras, H.** 2006. Derivation of Ridge Lines using D8 Method for the usage in Contour Simplification, *Fifth International Symposium Turkish-German Joint Days*, Berlin, Germany.
- Chang, Y.C., Song, G.S., Shu, K.H.,** 1998. Automatic Extraction of Ridge and Valley Axes Using the Profile Recognition and Polygon-Breaking Algorithm, *Computers and Geosciences*, **24**, 83-93.
- Douglas, D. H.,** 1986. Experiments to Locate Ridges and Channels to Create a New Type of Digital Elevation Model, *Cartographica*, **23**, 29-61.

- Douglas, D.H., Peucker, T.K.**, 1973. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Line or its Caricature, *The Canadian Cartographer*, **10**, 112-122.
- Ebner, H. and Tang, L.**, 1989. High fidelity digital terrain models from digitized contours, *14th ICA International Cartographic Conference*, Budapest, Hungary, August 17-24.
- ESRI**, 2007. <http://www.esri.com>, <http://arcgisdeveloperonline.esri.com/>, February 2007.
- Finsterwalder, R.**, 1986. Zur Bestimmung von Tal- und Kammlinien, *Zeitschrift für Vermessungswesen*, **111**, 184-89.
- Gökgöz, T., Selçuk, M.**, 2004. A New Approach For The Simplification Of Contours, *Cartographica*, **39**, Winter 2004.
- Hardy, P., Meyer, M.**, 2003. Efficient map production by re-engineering and generalising your data assets, *Cambridge Conference for National Mapping Organisations*, Cambridge, UK., July 21-25.
- HGK**, 1964. Tahvil Talimatı (1:100.000), Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- HGK**, 1999. 1:50.000 Ölçekli Haritaların Tahviline Ait Teknik Talimat, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- HGK**, 2002. 1:25.000, 1:50.000 ve 1:100.000 Ölçekli Kartografik Vektör ve Sayısal Harita Detay Tanımlama ve Özel İşaretler Yönergesi, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Hogg, J., McCormack, J.E., Roberts, S.A., Gahegan, M.N., Hoyle, B.S.**, 1997. Automated derivation of stream-channel networks and selected catchment characteristics from digital elevation models. In: Mather, P.M. (Ed.), *Geographical Information Handling: Research and Applications*. Wiley, Chichester, 211–235.
- Inaba, K., Aumann, G. and Ebner, H.**, 1988. DTM Generation from Digital Contour Data Using Aspect Information, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Kyoto, Japan, **27**, 101-110.
- Itzhak, E., Yoeli, P., Doysther, Y.**, 2005. Analytic Generalization of Topographic Data and Terrain Models, *22nd ICA International Cartographic Conference*, A Coruna, Spain.
- Jaakola, O.**, 1994. Finnish Corine Land Cover - A Feasibility Study of Automatic Generalization and Data Quality Assessment, *Reports of the Finnish Geodetic Institute*, Helsinki.
- Lee, D.**, 2004. Geographic and Cartographic Context in Generalization, *ICA/EuroSDR Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Leicester, UK.
- Longley, P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W.**, 2001. *Geographic Information Systems and Science*, ESRI Press, California, USA.
- Maidment, D.R.**, 1993. GIS and hydrologic modeling. In: Goodchild, M.F., Parks, B.O., Steyaert, L.T. (Eds.), *Environmental Modeling with GIS*. Oxford University Press, New York, 147–167.
- Mark, D. M.**, 1984. Automated Detection of Drainage Networks from Digital Elevation Models, *Cartographica*, **21**, 168-78.

- Qian, J., Ehrlich, R. W. and 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**, 29-45.
- Peng, W., Pilouk, M. and Tempfli, K.**, 1996. Generalizing Relief Representation Using Digitized Contours', *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vienna, **31**, 649-654.
- Ruas, A.**, 2001. Automatic Generalisation Project: Learning process from interactive generalisation, Reported by Anne Ruas, OEEPE, March 2001, Official Publication No 39.
- Seemuller, W.**, 1989. The Extraction of Ordered Vector Drainage Networks from Elevation Data, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, **47**, 45-58.
- Skopeliti, A., Tsoulos L.**, 2001. A knowledge based approach for the generalization of linear features, *20th ICA International Cartographic Conference*, Beijing, China, August 6-10.
- Stoter, J.E.**, 2005. Generalisation within NMA's in the 21st century, *22nd ICA International Cartographic Conference*, A Coruna, Spain, July 9-16.
- Tinghua, A.**, 2004. A Generalization of Contour Line Based on the Extraction and Analysis of Drainage System, *20th ISPRS Congress*, İstanbul, Türkiye.
- Tang, L.**, 1992. Automatic Extraction of Specific Geomorphological Elements from Contours, *Geo Informations Systems*, **5**, 20-27.
- Wang Z.**, 1996. Manual versus Automated Line Generalization, *GIS/LIS 96 Proceedings*, p.94-106.
- Weibel, R.**, 1987. An Adaptive Methodology for Automated Relief Generalization, *Auto-Carto 8 Conference*, Maryland, USA, March 29-April 3, 42-49.
- Ying, S., Li, L., Zhang, Y.**, 2003. Consistent line simplification based on constraint points, *21st ICA International Cartographic Conference*, Durban, South Africa, August 10-16, 246-251.
- Yoeli, P.**, 1984. Error-Bands of Topographical Contours with Computer and Plotter (Program KOPPE), *Geo-Processing*, **2**, 287-97.