



TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

www.toprak.org.tr



Farklı kaynaklardan üretilmiş sayısal yükseklik modelleri kullanılarak oyuntu erozyonunun bazı topoğrafik karakteristiklerinin belirlenmesi

Mirwais Azami ¹, Recep Gündoğan ², Tuğrul Yakupoğlu ^{3,*}

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kahramanmaraş

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa

³ Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Yozgat

Özet

Topoğrafya toprak erozyonu süreçlerinde temel rol oynar. Topoğrafik karakteristiklerin elde edilmesinde arazi ölçümleri esastır fakat bu yöntem çok zaman alıcı ve maliyetlidir. Oysaki topoğrafik karakteristikler sayısal yükseklik modellerinden kolayca üretilebilir fakat sayısal yükseklik modellerinin kalitesi büyük önem taşır. Bu çalışmada Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Topçu deresi mikrohavzasında, yükseklik, eğim, bakı, bileşik topoğrafik indeks gibi topoğrafik karakteristiklerin üretilmesi için ASTER-GDEM, SRTM ve eş yükseltlerden üretilen sayısal yükseklik modellerinin kalitesi incelenmiştir. Ayrıca oyuntu başlangıç noktaları bu modeller kullanılarak tahminlenmeye çalışılmıştır. Sayısal yükseklik modellerinin kalitesini belirlemek için sayısal yükseklik modellerinin yükseklik değerleri, GPS ile ölçülen yer kontrol noktaları ile karşılaştırılmıştır. Eş yükseklik eğrileri, SRTM ve ASTER-GDEM verilerinden üretilen modellerin doğruluğunu test etmede RMSE terimi kullanılmıştır. Adı geçen her bir modelin RMSE değerleri sırasıyla 3.5, 4.6 ve 14.6 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar eş yükselti eğrilerinden üretilen sayısal yükseklik modellerinin erozyon çalışmalarında kullanılacak topoğrafik karakteristiklerin elde edilmesinde diğer kaynaklara göre daha başarılı olduğunu göstermiştir. Uydu görüntüleri kullanılarak oluşturulan sayısal yükseklik modellerinden oyuntu başlangıç noktalarının tespiti mümkün olmamıştır. Bu durum çalışılan alanın görece küçük olmasına atfedilmiştir. Özellikle daha hassas sayısal yükseklik modellerine gerek duyulan ve geniş alanlarda yürütülecek oyuntu erozyonu çalışmalarında, SRTM verilerinden sayısal yükseklik modellerini üretmek amacıyla yararlanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Bileşik topoğrafik indeks, erozyon, sayısal yükseklik modeli, topoğrafya.

Determination of some topographical characteristics of gully erosion by using digital elevation models obtained from different sources

Abstract

Topography plays basic role in soil erosion processes. Topographic characteristics can be easily generated from digital models but quality is very important. In this research we investigated the quality of digital elevation models which obtained from ASTER GDM, SRTM and contours to produce topographical characteristics such as elevation, slope, aspect, and compound topographical index in micro catchment of Topçu creek in Mediterranean region of Turkey. In addition, tried to estimate gully risk points by using these models. To determine quality of digital elevation models, the altitude values of digital models were compared with the ground control points by GPS. Computed the RMSE to test the accuracy of digital elevation models derived from topographic map, SRTM and ASTER-GDEM. The RMSE values were 3.5, 4.6 and 14.6 meter for digital elevation models of counter based, SRTM and ASTER-GDEM, respectively. The results showed that digital elevation model from contours was more successful than SRTM and ASTER-GDEM ones to produce topographical characteristics for soil erosion studies. On the other hand, estimating of gully risk points by using digital elevation models generated from satellite data was not possible. Especially in the study of gully erosion studies, which require more sensitive digital elevation models, and will be carried out in large areas, SRTM data can be used to generate digital height models.

Keywords: Compound topographical index, digital elevation model, topography.

© 2017 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Yozgat

Tel.: 0(354) 242 10 28

e-ISSN: 2146-8141

E-posta: tugrulyakupoglu@hotmail.com

Giriş

Topoğrafya, yeryüzüne ait birçok ekoloji, hidroloji, tarım, iklim bilimi, jeoloji, toprak bilimi, jeomorfoloji gibi temel ve uygulamalı bilim dalları için temel verileri sağlayan bir bileşendir (Kodge ve Hiremath, 2011). Topoğrafya hidroloji, erozyon, su toplama, morfoloji, sedimatasyon süreçlerini etkileyen temel faktörlerden biri olup bu olayların anlaşılmasın da önemli rol oynar (Mitasova ve ark., 2005). Aynı zamanda toprak oluşturan faktörlerden biri olan topoğrafya toprakların nem ve sıcaklık rejimlerini (Bohner ve Antoni, 2009), bitki örtüsünün alansal dağılımı (Franklin, 1995) ve yüzey akış ve sedimet taşınımını (Speight, 1980; Morgan, 1996) kontrol ederek doğrudan ve dolaylı olarak toprak oluşumunu etkiler.

Topoğrafik haritalar 1990'lardan önce, sayısal topoğrafi bilgilerinin ana kaynağı olmuştur. Topoğrafik niteliklerin mekansal dağılımı genellikle bu süreçlerin mekansal değişkenliğinin dolaylı ölçüsü olarak morfometrik değişkenleri hesaplamak için jeomorfometri teknikleri kullanılarak analiz edilmiş (örneğin, eğim, bakı, drenaj yoğunluğu, yatay eğrilik vb.) ve morfometrik haritalar üretilmiştir. Topoğrafik bilgi, CBS ve uzaktan algılama uygulamalarının kullanıldığı özellikle çevre modelleme, dağlık bölgelerde kaynak yönetimi veya arazi kullanım sınıflandırmaları gibi sayısal yükseklik modellerinin (SYM) güvenilir ve doğru sonuçlarının gerek duyulduğu sahalar için önemli bir rol oynamaktadır (Zomer ve ark., 2002). Birçok coğrafi bilgi sistemleri, su kaynağı ve biyolojik problemleri analiz için birincil veri olarak topoğrafik bilgileri kullanmaktadır. Yine toprak sınıflandırma sürecinde topoğrafik verilerin eklenmesi önemli ölçüde ayrımı artırabilmektedir.

SYM'ler topoğrafya analizinde kullanılan ana veri kaynağıdır. SYM kavramını 1950'li yıllarda Profesör Miller ortaya atmıştır. Miller'e göre SYM, topoğrafik bir veri tabanıdır (Miller ve Leflamme, 1958). Diğer bir tanıma göre ise SYM, "fiziksel yeryüzünün tüm yapay ve doğal ayrıntılarının sayısal gösterimidir" (Saygılı, 2004).

SYM'ler, hava fotoğrafları, eş yükseklik eğrileri, uydu verileri gibi çeşitli veri kaynaklarından üretilmektedir. (Şahin, 2007; Arslanbek, 2009). Başlangıçta SYM kaynağı olarak hava fotoğrafları ve yer ölçümlerinden fotogrametrik veya takeometrik yöntemler yaygın olarak kullanılırken bugün SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ASTER, IKONOS, LANDSAT, SPOT ile Stereo uydu görüntülerinden RADAR, SAR verileri gibi uydu verileri ile de sayısal yükseklik modelleri üretilmektedir (Yastıklı ve Jacobsen, 2002; Ayhan ve ark., 2007; Yastıklı ve Esirtgen, 2011). SRTM, ABD Ulusal Coğrafi İstihbarat Kurumu (NGIA), Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı (NASA), Alman ve İtalyan Uzay ajansları arasındaki ortak bir projedir. SRTM verileri, bir uzay mekiğine yerleştirilen radar algılayıcıları ile elde edilmiş sayısal yükseklik verilerinden oluşmaktadır (JPL, 2008). Bu projenin amacı dünya yüzeyinin % 80'inin (60° Kuzey ve 50° Güney enlemleri arasındaki bütün alan) çok geniş alanları için düşük maliyetli, SYM'sini oluşturmaktır.

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) GDEM, NASA ve Japonya Ulusal Teknoloji Birimi tarafından uydular kullanılarak ücretsiz yüksek çözünürlüklü SYM üretmek amacıyla 1999 yılında kurulan bir ortaklıktır. Daha geniş kapsamlı ve daha iyi zamansal ve mekansal çözünürlüğe (30 m) sahip olan ASTER görüntüsü SYM oluşturulmasında daha çok tercih edilmektedir (Eckert, 2004).

Topoğrafik faktörler yüzey akışının erozyon gücünü etkilediklerinden oyuntu erozyonu ile topoğrafya arasındaki ilişkiler birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Zevenbergen (1989) oyuntu erozyonu üzerinde etkili olan faktörleri; yüzey akış miktarı, eğim derecesi, eğim şekli, toprak özellikleri ve bitki örtüsü olarak ifade etmektedir. Bu faktörlerden ilk üçünün SYM'ler aracılığı ile üretilbileceği bildirilmiştir (Thorne ve Zevenbergen, 1984).

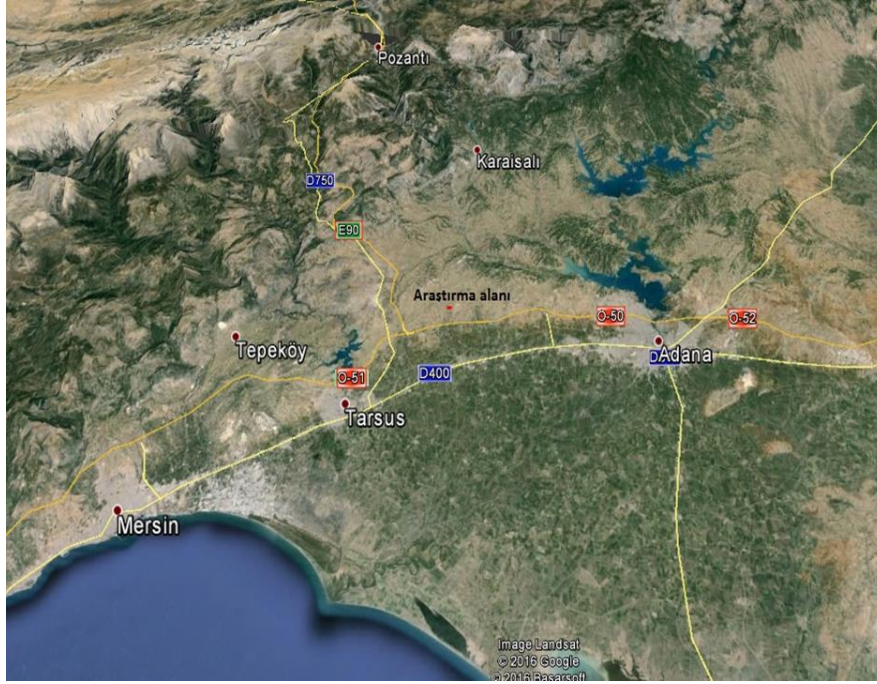
Bu çalışmada eş yükselti eğrileri, ASTER-GDEM ve SRTM görüntüleri kullanarak oluşturulan SYM'ler ile eğim, bakı, yükselti gibi birincil ve bileşik topoğrafik indeks (CTI) gibi ikincil topoğrafik verilerin üretilmesi olanakları araştırılmıştır. Ayrıca üretilen SYM'lerin oyuntu başlangıç noktalarının tespitinde kullanılabilirliği incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Alanının Konumu ile İklim ve Toprak Özellikleri

Bu çalışma Topçu deresi havzasında yürütülmüştür. Adı geçen havza Mersin ili Tarsus ilçesinde yer almakta olup 40 ha alanı kapsamaktadır. Havzanın Google Earth görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Çalışma alanında Akadeniz iklim tipi hakimdir. Bu ikliminin görüldüğü bölgeler içinde en az yağış alan bölgededir. Havzaya en

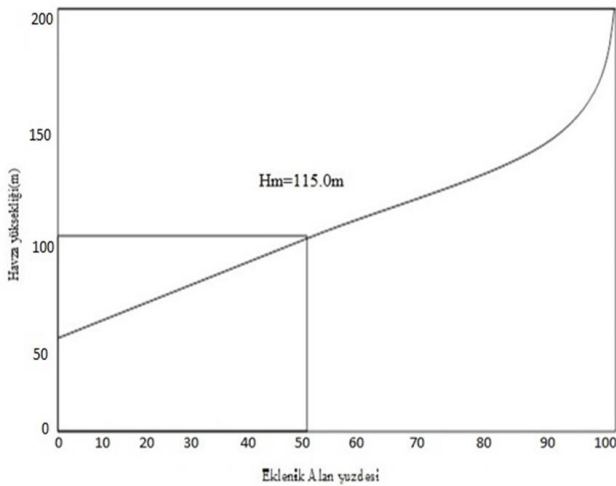
yakın meteoroloji istasyonu Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü'nde olup, bu istasyonun kayıtlarına göre uzun yıllar (1950-2010) ortalaması olarak toplam yıllık yağış 598.6 mm, ortalama yıllık sıcaklık 18 °C, 5 cm derinlikte yıllık ortalama toprak sıcaklığı 20.4 °C'dir. Alan, kuzeyde yüksek dağlarla çevrili olması nedeniyle normalden daha fazla sıcaklığa sahiptir. Thorntwait'e göre çalışma alanı kurak-az nemli, 3. dereceden mesotermal, su fazları çok ve kışın alan denizel iklim tipine girmektedir (Topraksu, 1974; Kuşvuran, 2011). Topçu deresi, kuzey doğudan güney batıya doğru akmakta olup Seyhan büyük su havzasında yer alan Berdan Nehrine ulaşmaktadır. Topçu havzasında Kırmızı Kahverengi Akdeniz ve Kahverengi orman toprakları yer almaktadır. Kahverengi orman toprakları marn ana materyali üzerinde oluşmuşlardır. Orta derin olan bu topraklar siltli kil teksütüre sahiptirler. Profilde ve yüzeyde taşlılık gözükmez. Erozyona hassas topraklardır. Kırmızı kahverengi topraklar havzanın güney kesimlerinde genellikle kalker yer yer konglomera üzerinde oluşmuşlardır. Yüzeyde ve profilde taşlılık görülür. Tekstürleri kumlu killi tındır (Topraksu, 1974).



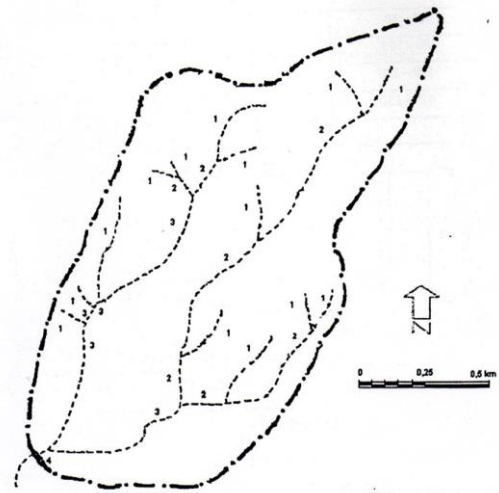
Şekil 1. Çalışma alanının Google-Earth görüntüsü

Havzanın Jeomorfolojik ve Drenaj Karakteristikleri

Çalışma alanının içinde bulunduğu Topçu deresi havzasının çevre uzunluğu 5.25 km, uzunluğu 2.10 km, genişliği 0.80 km, en yüksek noktası 215 m, en düşük noktası 65 m, rölyefi 150 m, yöneyi Kuzeydoğu'dur. Havzanın hipsometrik eğrisi Şekil 2'de drenaj ağı görüntüsü ise Şekil 3'de sunulmuştur (Kuşvuran, 2011).



Şekil 2. Havza hipsometrik (yüksekti) eğrisi (Kuşvuran, 2011)



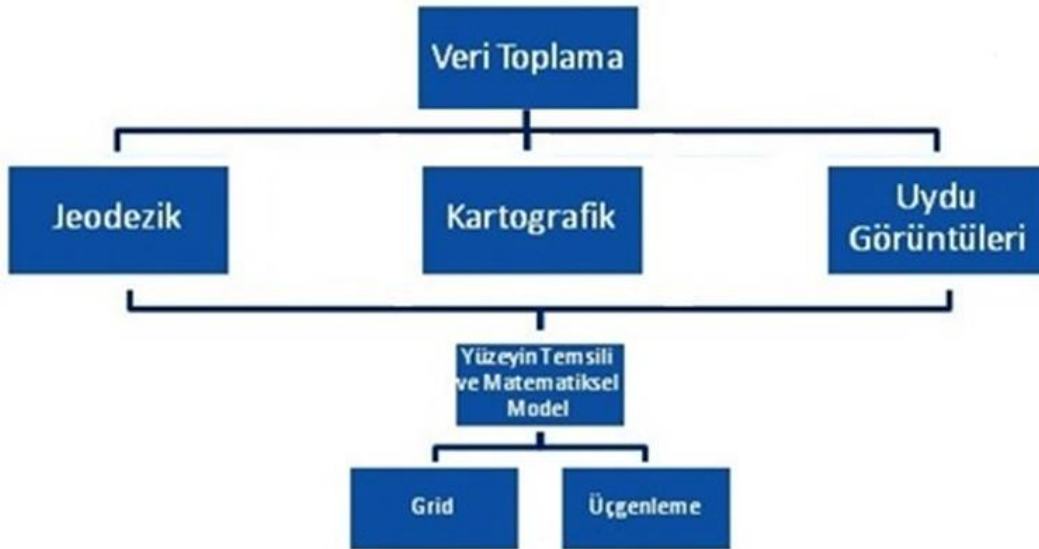
Şekil 3. Topçu deresi havzası drenaj ağı (Kuşvuran, 2011)

Sayısal Yükseklik Modellerinin Üretimi

SYM'lerin üretilmesi; verilerin elde edilmesi, işlenmesi ve haritaların üretilmesi olmak üzere üç ana aşamada gerçekleştirilmiştir. SYM üretimi için izlenen akış diyagramı Şekil 4 olarak sunulmuştur. Verilerin elde edilmesi aşamasında, topoğrafik yüzeyin yeterli hassasiyette temsil edilebilmesi için örnekleme veya dayanak noktası adı verilen yeterli sayıda koordinatları bilinen noktalar tespit edilmiştir. Bu noktaların koordinat bilgileri bir kayıt ortamında saklanmıştır. İkinci adımda toplanan bilgilere değişik testler uygulanarak verilerin kontrolü yapılmıştır ve enterpolasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Son adımda ise oluşturulan modelin ürün halinde sunulması gerçekleştirilmiştir.

Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilen topoğrafik haritalardaki 10 m'lik eş yükselti eğrilerinden 10 m çözünürlüklü SYM'ler üretilmiştir. SYM'lerin üretimi ArcGIS 10.3 paket program ortamında gerçekleştirilmiştir (ESRI, 2011).

SYM verileri uygun yazılım desteği ile analitik aletlerden elde edildiği gibi, sayısal görüntü eşleştirme (matching) teknikleri kullanılarak sayısal fotoğrametrik çalışma istasyonlarında da elde edilebilmektedir. Otomatik korelasyon tekniği adı da verilen ve paralaks farklarını belirleyerek sayısal arazi yükseklik modelini elde etme şeklinde kullanılan teknik, görüntü çiftlerinin çakıştırılmasını gerekli kılmaktadır (Saygılı, 2008). Bu çalışmada SRTM ve ASTER-GDEM kaynaklı sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Sözkosu SYM verileri ilgili uydu kaynaklarının WEB sitelerinden indirilmiştir.



Şekil 4. SYM üretimi için akış diyagramı (Saygılı, 2004)

Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluklarının Test Edilmesi ve Birbirleri ile Karşılaştırılması

Farklı kaynaklardan üretilen SYM'leri karşılaştırmak amacıyla havzdaki test alanında hassas jeodezik GPS ile yaklaşık 2 m aralıklarla x, y, z koordinatları ölçülmüştür (Gillin ve ark., 2015). Ölçümler 695 noktada gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktaları Şekil 5'de gösterilmiştir. SYM'lerin doğruluklarının test edilmesinde kareler ortalamasının hatası (RMSE) terimi kullanılmıştır. Kinematik GPS yardımıyla arazide ölçülen yükseklik-koordinat çiftlerinden 22 tanesi rastgele seçilmiş ve bu noktalar üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}$$

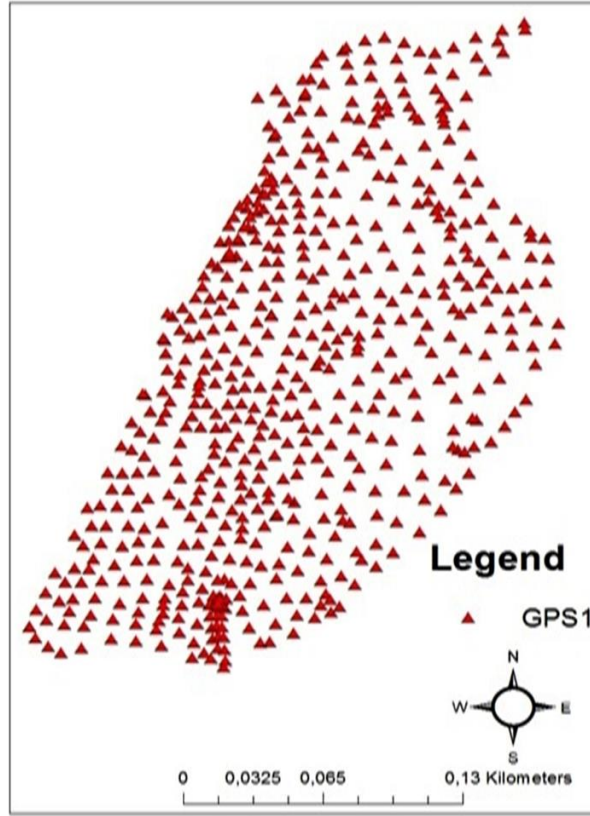
[Eş. 1]

RMSE: Kareler ortalamasının hatası

y_i : Ölçülen değer

(\hat{y}_i) : Tahminlenen değer

N: Örnek sayısı



Şekil 5. Çalışma alanı üzerinde kinematik GPS ile yükseklik ölçümü yapılan noktalar

Sayısal Yükseklik Modellerinden Topoğrafik Karakteristiklerin Üretilmesi

Bu çalışmada, uydu verileri ve topoğrafik haritadan üretilen SYM'ler GPS ölçümleri ile üretilen SYM'ler ile karşılaştırılmış üretilen bütün SYM'lerden topoğrafik karakteristik (eğim dikliği, bakı ve bileşik topoğrafik indeks) haritalarının üretilmesi denenmiştir. Topoğrafik bir yüzeyin yatayla yaptığı açının derece veya yüzde cinsinden ifadesine o yüzeyin eğimi adı verilmektedir (Özdemir, 2002). Bakı, bir arazi yüzeyine teğet geçen düzlemin kuzeyden itibaren yaptığı açı olup eğim yönü olarak olarak düşünülebilir. Düz alanlar eğim yönü olmadığından değeri -1 olarak verilmiştir (ESRI, 2011). Bileşik topoğrafik indeks (CTI) Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır. CBS ortamında CTI haritası oluşturulurken SYM üzerinde sırasıyla "fill" (doldurma), "filter" (filtreleme), "flow direction" (akış yönü) ve "flow accumulation" (akış birikimi) işlemleri gerçekleştirilmiştir. (ESRI, 2011). Muhtemel oyuntu noktalarını tahmin etmek için CTI analizi sonucu elde edilen değerlerde üç farklı değer için eşik analizi yapılmıştır (Parker ve ark., 2010).

$$CTI = A * \tan(\beta)$$

[Eş. 2]

A= Toplama havzası

β = Eğim derecesi

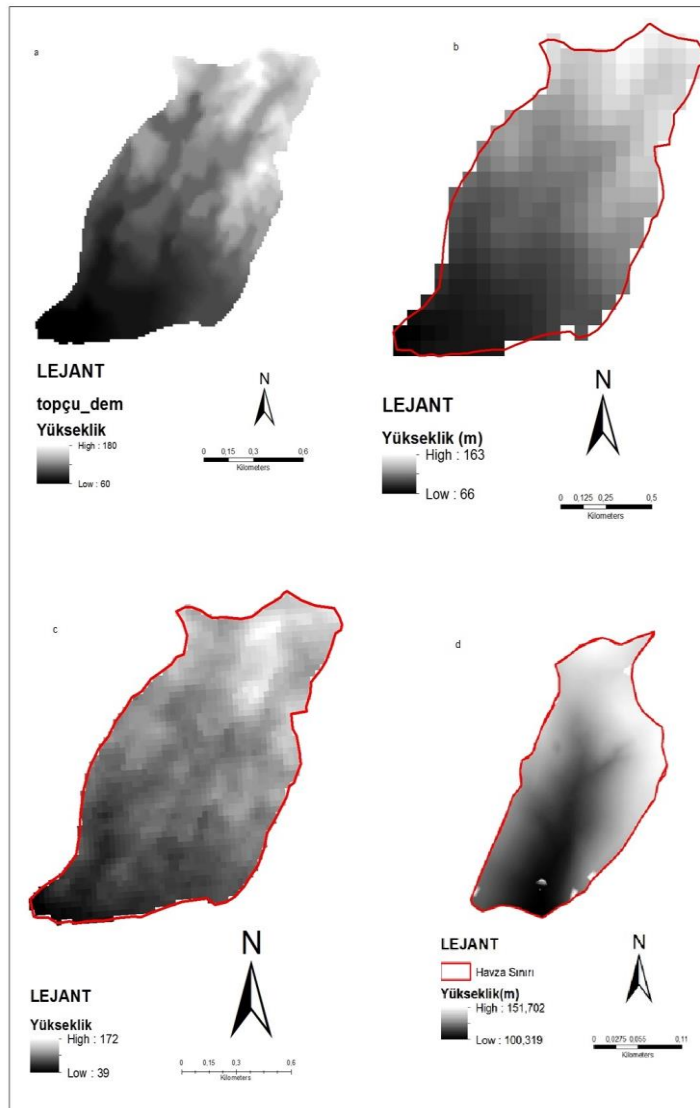
Bulgular ve Tartışma

Farklı Kaynaklardan Üretilen SYM'ler

Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde sayısallaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Analog topoğrafya haritası üzerinde sayısallaştırılan eşyüksekti eğrileri kullanılarak TIN modeli geliştirilmiştir. Oluşturulan TIN modeline göre çalışma alanı yükseklik bakımından 7 sınıfa ayrılmaktadır. Elde edilen sayısal yükseklik modelinin piksel büyüklüğü yaklaşık 14 x 14 m olup yükseklikler 60 ile 180 m arasında değişmektedir. TIN modelinden oluşturulan siyah-beyaz renk seviyesindeki SYM Şekil 6a'da verilmiştir. Sayısal yükseklik modelinde beyaz olan noktalar en yüksek lokasyonları, siyah olan noktalar ise en alçak yerleri temsil etmektedir. Topoğrafik haritalama yani yüzeysel görselleştirme yeryüzünün fiziksel çevresel anlaşılması için çok önemli faktörlerden biridir (Arslanbek, 2009). SYM üretimi için kullanılan yöntemlerden birisi basılı topoğrafik haritalardan eş yükselti eğrilerinin sayısallaştırılmasıdır. Eş yükselti eğrisi üretimi zaman alıcıdır, bununla birlikte topoğrafik haritalar için vazgeçilmez bir detaydır (Saygılı, 2008).

Bu çalışmada kullanılan SRTM verileri 90 m aralıklı veriler olup yükseklik değerleri 66 ile 163 m arasında değişmektedir. Topçu havzasının SRTM'den üretilen SYM'si Şekil 6b'de verilmiştir. CBS yazılımlarının kullanımı ve teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, SRTM uydusunun sağladığı veriler daha düzenli ve etkin şekilde kullanılabilir. Böylece bu uydunun verileri kullanılarak oluşturulan SYM'ler topoğrafik harita revizyonu ile ilgili sorunları önemli ölçüde azaltmaktadır. Diğer taraftan eğim, bakı ve kabartma haritalarının üretiminde maliyet düşmekte ve doğruluk düzeyi yükselmektedir. Bu şekilde daha iyi bir görüntüleme platformu geliştirilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ASTER-GDEM verileri yaklaşık 29 m çözünürlüklü olup havzanın yükseklikleri 39-172 m arasında değişmektedir. ASTER-GDEM verilerinden üretilen SYM Şekil 6c'de verilmiştir. Daha geniş kapsamlı ve daha iyi zamansal ve mekansal çözünürlüğe (30 m) sahip olan ASTER-GDEM görüntüsü sayısal yükseklik modeli oluşturulmasında daha çok tercih edilmektedir (Eckert, 2004).

Arazi ölçümleri sonucu elde edilen yükseklik ve koordinat bilgileri kullanılarak ArcMap 10.3 programında üretilen TIN modeli üzerinden yaklaşık 1.3 x 1.3 m çözünürlüklü SYM üretilmiştir ve oluşturulan model harita Şekil 6d'de verilmiştir. Şekil 6d'deki SYM ye göre test alanındaki en yüksek nokta 151 m ve en düşük nokta ise 100 m'dir. Gillin ve ark. (2015) Lidar verilerini test etmek için Total station 3 m aralıklarla yaptıkları arazi ölçümlerinde 1 m çözünürlüklü SYM üretmişlerdir.



Şekil 6. Farklı kaynaklardan üretilen SYM'ler (a: Eş yükselti eğrilerinden üretilen SYM, b: SRTM verilerinden üretilen SYM; c: ASTER-GDEM verilerinden üretilen SYM, d: Yer ölçümleri kullanılarak üretilen SYM)

Havzanın sayısal yükseklik modellerinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla yer ölçümlerinin gerçekleştirildiği noktalardan 22 tanesi rastgele seçilmiş ve yükseklikler karşılaştırılmıştır. Farklı kaynaklardan üretilen SYM'ler ile gerçek arazi ölçümleri kullanılarak üretilen SYM'lerin karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı kaynaklardan üretilen SYM'lerin arazi ölçümünden üretilen SYM ile karşılaştırılması

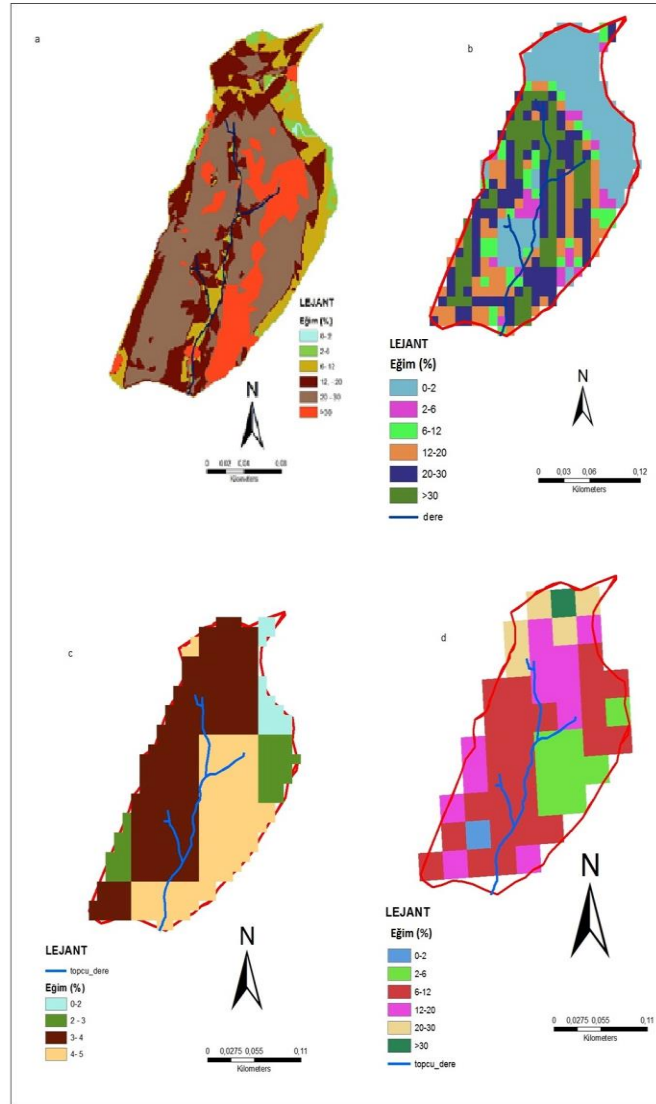
No	Yükseklik (m)			Yükseklik (m)			Yükseklik (m)			
	GPS	TOPO_SYM	Fark	Farkın karesi	SRTM_SYM	Fark	Farkın karesi	ASTER_SYM	Fark	Farkın karesi
1	115	117	-2	4	109	6	36	93	22	484
2	115	117	-2	4	109	6	36	93	22	484
3	121.9	120	1.9	3.61	116	5.9	34.81	107	14.9	222.01
4	126	130	-4	16	119	7	49	105	21	441
5	129	130	-1	1	123	6	36	110	19	361
6	120.45	120	0.45	0.2025	109	11.45	131.1025	99	21.45	460.1025
7	115	113.4	1.6	2.56	109	6	36	101	14	196
8	102.6	104	-1.4	1.96	107	-4.4	19.36	97	5.6	31.36
9	102.6	104	-1.4	1.96	107	-4.4	19.36	97	5.6	31.36
10	102.6	104	-1.4	1.96	107	-4.4	19.36	97	5.6	31.36
11	102.6	107.7	-5.1	26.01	107	-4.4	19.36	100	2.6	6.76
12	102.6	107.7	-5.1	26.01	107	-4.4	19.36	100	2.6	6.76
13	114.9	115	-0.1	0.01	110	4.9	24.01	98	16.9	285.61
14	69.94	70	-0.06	0.0036	71	-1.06	1.1236	59	10.94	119.6836
15	71	70	1	1	73	-2	4	56	15	225
16	95	96.94	-1.94	3.7636	95	0	0	77	18	324
17	111	110	1	1	108	3	9	101	10	100
18	112	113	-1	1	116	-4	16	99	13	169
19	141.4	142	-0.6	0.36	142	-0.6	0.36	127	14.4	207.36
20	79	71	8	64	80	-1	1	60	19	361
21	80.8	70.8	10	100	80	0.8	0.64	63	17.8	316.84
22	76.7	71	5.7	32.49	77	-0.3	0.09	61	15.7	246.49
Kareler										
Toplamı				292.8997			511.9361			5110.6961
Kareler										
ortalaması				12.20415417			21.33067083			212.9456708
RMSE				3.493444456			4.61851392			14.59265811

Tablo1'e göre gerek topoğrafik haritadan gerekse SRTM uydusundan elde edilen SYM'lerin verdiği yükseklik değerleri, arazide gerçek ölçümlerle oluşturulan SYM'nin verdiği yükseklik değerleriyle hemen hemen örtüşmektedir (GPS-TOPO için RMSE= 3.49 m, GPS-SRTM için RMSE= 4.61 m). Diğer taraftan ASTER-GDEM uydusunun verileri kullanılarak oluşturulan SYM ile gerçek ölçümlerden oluşturulan SYM karşılaştırıldığında hassasiyetin daha düşük olduğu görülmüştür (GPS-ASTER-GDEM için RMSE= 14.59 m). Bu sonuca göre oyuntu erozyonuna etki eden topoğrafik karakteristiklerin belirlenmesinde yani bu karakteristiklere ait haritaların üretilmesinde topoğrafik harita aracılığıyla oluşturulan SYM başarıyla kullanılabilirken uydulardan ise SRTM'nin verileri ASTER-GDEM'e göre daha kullanışlı bulunmuştur.

Sayısal yükseklik modelleri esas olarak arazide ölçülen noktalar yardımıyla elde edilir ve yer yüksekliğini esas alır. Bu modeller topoğrafik özellik çıkarımı, akış analizi, eğim stabilitesi tespiti gibi birçok işlem için vazgeçilmezdir (Takagi, 1998). Bu çalışmada elde edilen bulgular ile SRTM verileri ve topoğrafik harita kullanılarak elde edilen SYM'lerin arazide kinematik GPS ile yapılan ölçümler kullanılarak üretilen SYM'ler kadar iyi modeller olduğuna karar verilmiştir.

Eğim Dikliğinin Dağılımı

Topçu havzasının kinematik GPS ölçümleri aracılığıyla oluşturulan SYM'den elde edilen eğim grupları dağılım haritası Şekil 7a'da verilmiştir. Buna göre test alanının eğimi % 0.7-99.5 arasında değişmekte olup ortalama eğimi % 24.7 dir. Çok dik (% 20-30) ve sarp (>30) eğimler vadinin doğu ve batı yamaçlarında yer almakta olup özellikle sarp eğimler doğu yamaçlarda daha fazla alan kaplamaktadır.



Şekil 7. Test alanı için farklı kaynaklardan üretilen eğim sınıfları (a: GPS, b: Topoğrafik harita, c: SRTM d: ASTER-GDEM)

Topçu havzası topoğrafik haritasından oluşturulan SYM'den elde edilen eğim grupları dağılım haritası Şekil 7b'de verilmiştir. Eğim grupları dağılım haritasında eğim 6 sınıfa ayrılarak her bir eğim grubu birer renkle temsil edilmiştir. Buna göre havzanın eğimi % 0-95 arasında değişmektedir. Topçu havzasının kuzey kesimleri güney kesimlerinden daha diktir. Çok dik (% 30) eğimler özellikle kuzey doğu kesimlerde yoğunlaşmaktadır. Topoğrafik haritalardan eğim sınıflarının üretilmesi yaygın uygulamalardan biri olup jeoloji, toprak ve hidroloji çalışmalarında sık sık kullanılmaktadır (Gündoğan ve Akay, 2007). Şekil 7a'da görüldüğü gibi havzanı yaklaşık yarısı hafif ve orta eğime, diğer yarısı dik ve çok dik eğime sahiptir.

Topçu havzasının SRTM görüntüsünden oluşturulan SYM'den elde edilen eğim dağılım haritası Şekil 7c'de verilmiştir. Topçu havzasının SRTM verilerinden elde edilen eğimi (% 0.32-14.4) arasında değişmekte olup topoğrafik harita ve ASTER-GDEM den elde edilenlere göre daha düşüktür. Thompson ve ark. (2001)'e göre SYM'nin çözünürlüğü azaldıkça dik eğimlerde eğim daha düşük hesaplanmaktadır. Aksine çözünürlük artıkça eğim daha fazla bulunmaktadır. Havzanın orta ve güney kesimleri düşük eğime sahipken kuzey kesimleri ile doğu ve batı kenarları orta eğime sahiptirler. Haritaya göre çalışma alanında en fazla sahayı % 2-6 eğime sahip bölgeler kaplarken en düşük alanı ise düze yakın eğimler % 0-2 oluşturulmuştur. Çoban ve Eker (2009) çok yüksek duyarlılık isteyen çalışmalarda SRTM verilerinin kullanımının sınırlı olduğunu belirtmişlerdir.

Topçu havzası ASTER-GDEM'den oluşturulan SYM'den elde edilen eğim grupları dağılım haritası Şekil 7d'de verilmiştir. Buna göre havzanın eğimi % 0-27.7 arasında değişmektedir. Eğim haritasında görüldüğü gibi havzanın eğimi heterojen olarak dağılmakla birlikte dik eğimler (%12-20) havzanın kuzeydoğu kesimlerinde yoğunlaşmıştır. Buna göre havzanın önemli bir kısmı (% 42.6) orta eğime sahiptir. Düz ve düze yakın alanlar (% 0-2 eğim) % 5 civarında iken çok dik eğimler % 1.5 civarındadır.

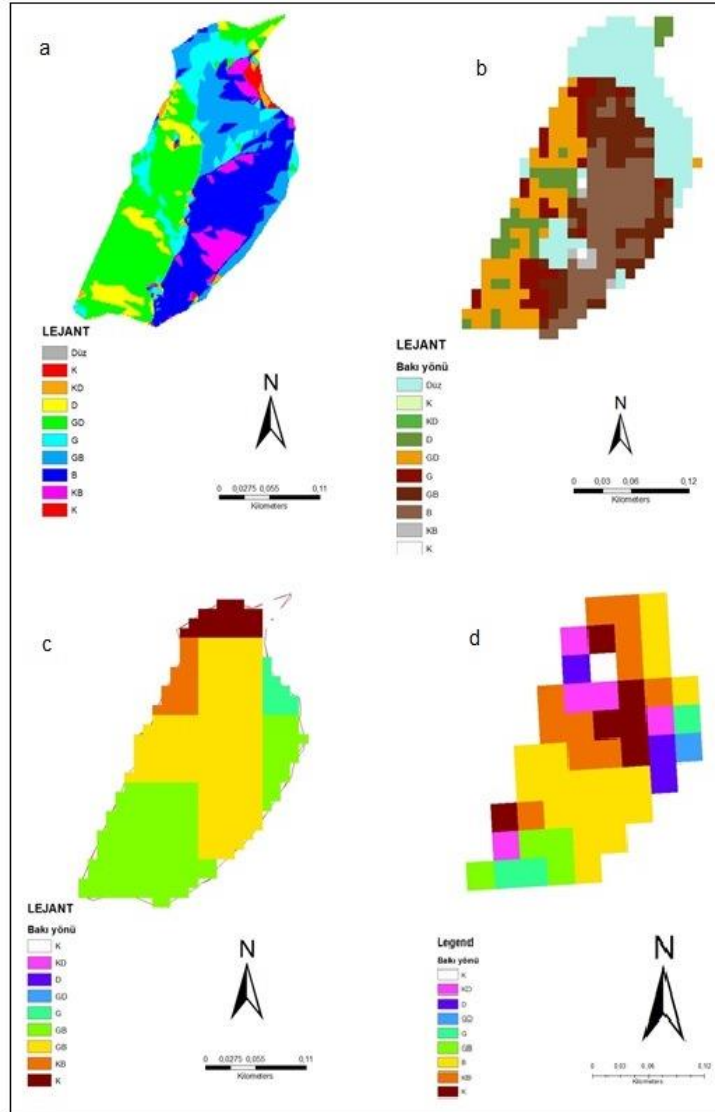
Eğimler ile ilgili genel istatistik verileri Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre test alanının GPS'ten üretilen eğim ortalaması diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında topoğrafik haritadan üretilen eğim ortalaması farkı diğer kaynaklardan üretilene göre daha düşüktür. Yani test alanının gerçek eğim ortalamasına en yakın olan topoğrafik haritadan üretilendir. Uydu kaynaklı olarak üretilenlerin eğim farkı birbirine eşit çıkmıştır. Şekil 7 bütünüyle incelendiğinde, topoğrafik haritadan üretilen eğim haritasının GPS'ten üretilen eğim haritasına fazlaca benzediği görülmektedir. Ancak test alanının kuzeydoğusunda yer alan alanlar GPS'ten elde edilen eğim haritasına göre daha düşük eğimde bulunmuştur. ASTER-GDEM ve SRTM verilerinden üretilen eğimler ise hemen hemen test alanını temsil etmemektedir. Dolayısıyla küçük alanlarda ASTER-GDEM ve SRTM verilerinin eğim sınıflamasında başarısı oldukça düşüktür. Bir çok araştırmacı yüksek çözünürlüklü SYM lerin eğim hesaplamalarında düşük SYM lere göre daha başarılı olduğunu belirtmektedir (Wu ve ark., 2008; Zhang ark., 2009; Yao ve ark., 2010).

Tablo 2. Test alanı için farklı kaynaklardan elde edilen eğim değerlerine ait istatistikler

Veri Kaynağı	Eğim, %				
	En düşük	En yüksek	Ortalama	Std	Ortalamadan fark
GPS	0.72	995	24.6	45.12	0
Topoğrafik harita	0	64.1	16.3	14.6	8.3
SRTM	1.3	9.5	6.5	1.96	18.1
ASTER-GDEM	0.75	19.45	6.5	3.86	18.1

Eğimin Yöneyi

Bir bölgenin güneş açısına göre hangi tarafa baktığını anlatan ifadeye veya yer yüzeyinin konumsal yöneliminin açı cinsinden ifadesine bakı ya da yöney adı verilmektedir. Topçu havzasının kinematik GPS ile alınan yer ölçümleri, topoğrafik harita, SRTM ve ASTER-GDEM'den üretilen SYM'lerden elde edilen bakı haritalkarı Şekil 8'de verilmiştir. Test alanının arazi ölçümleri ile elde edilmiş bakı haritasına göre Topçu havzasının genel eğimi kuzey güney yönünde olup havzada yer alan akarsu ağı genel olarak kuzeydoğu güney batı istikametinde akmaktadırlar. Bu nedenle de havzanın bakışı güney yönlerinde baskındır. Diğer kaynaklardan elde edilen haritalar incelendiğinde topoğrafik haritadan elde edilen bakı haritasında da benzer durum söz konusudur. Ancak SRTM ve ASTER-GDEM den elde edilen bakı haritasının test alanını temsil etmediği anlaşılmaktadır. Bakıdaki değişiklik toprak sıcaklığı, toprak nemi, buharlaşma, bitki örtüsü ve arazi kullanımını etkilediğinden erozyon üzerinde önemli rol oynamaktadır (Cerde, 1998). Fang ve Guo (2015) güneş alan güney bakıların (G, GD, GB) oyuntu erozyonu şiddetinin kuzey bakılardan (K, KD, KB) daha fazla olduğunu belirtmektedirler.

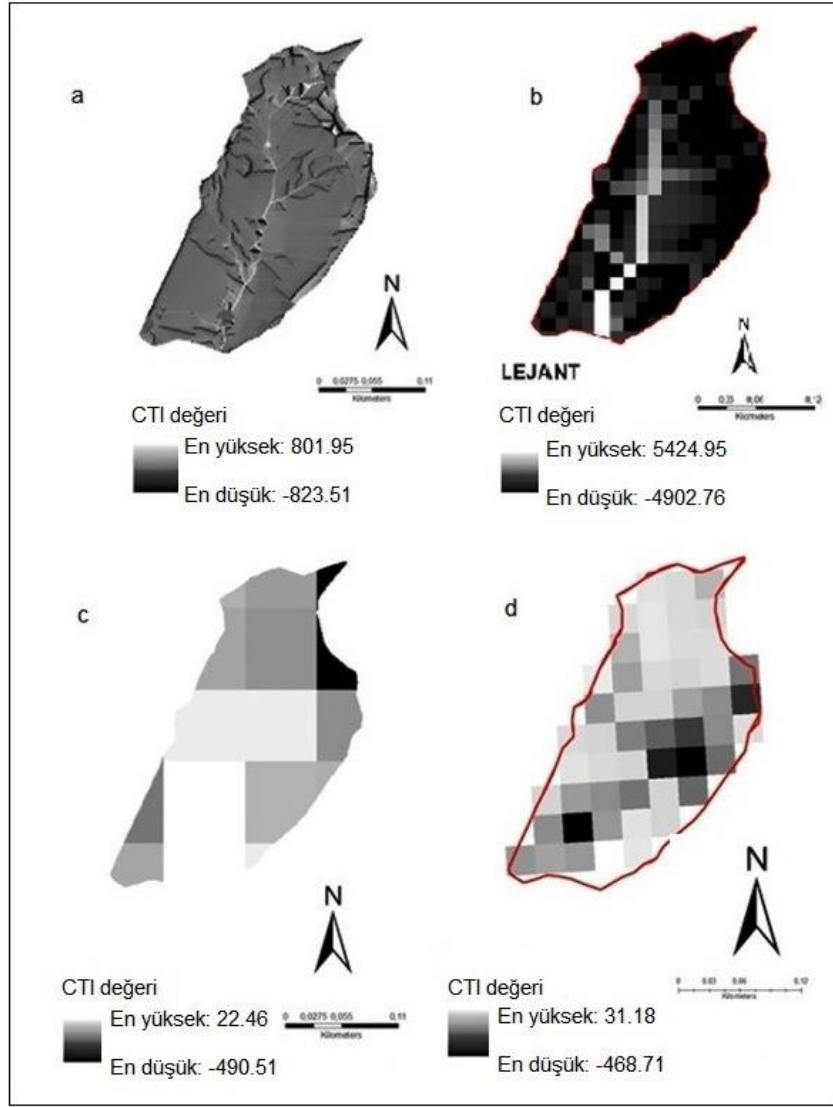


Şekil 8. Test alanının farklı kaynaklardan elde edilen bakı haritaları (a: GPS, b: Topoğrafik harita, c: SRTM, d: ASTER-GDEM)

Bileşik Topoğrafik İndeks (CTI) ve Oyuntu Başlangıç Noktaları

Farklı kaynaklardan üretilen SYM'lerden CTI haritaları oluşturulmuştur. Üretilen CTI haritaları Şekil 9'da sunulmuştur. Buna göre en yüksek ve en düşük CTI değerleri topoğrafik haritadan üretilen verilerden elde edilmiştir. CTI değerleri artıçça oyuntu erozyonu riski artmaktadır. Uydu verileri kullanılarak üretilen haritalarda en yüksek ve en düşük CTI aralığının en dar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Topoğrafik haritadan elde edilen CTI değerleri GPS ten elde edilenlerden daha yüksektir. Buna karşılık SRTM ve ASTER-GDEM değerleri ise daha düşük bulunmuştur (Şekil 9b,c,d).

Farklı kaynaklardan üretilen SYM'lerin sağladığı CTI haritaları anlamlı sonuçlar vermediği için bu çalışmada oyuntu risk alanlarının tahmin edilmesi amacıyla GPS ile yer ölçümleri yapılarak yüksek çözünürlüklü (1.3 x1.3 m) üretilen SYM'den yararlanılmıştır. Bu SYM'ber den CTI değerleri hesaplanmıştır. Buna göre test alanının CTI değerleri - 823.76 ile 801 arasında değişmektedir (Şekil 9a). CTI sonuçlarına göre -1 den daha küçük değerler oyuntu risk alanlarına işaret etmektedir. Oyuntu başlangıç noktalarının tahminlenebilmesi amacıyla farklı değerleri için (20, 30 ve 50) eşik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla arazideki oyuntu başlangıç noktaları yüksek çözünürlüklü ortofoto haritaları üzerine işaretlenmiştir. Daha sonra bu noktlara eşik analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında CTI değeri 30 olan eşik analiz sonuçlarının daha doğru olduğu belirlenmiştir. [Parker ve ark \(2010\)](#) SYM çözünürlüğünün oyuntu erozyonu tahmininde önemli olduğunu; 10 m den daha düşük çözünürlüklerin oyuntu erozyonu tahminini azalttığını belirtmiştir.



Şekil 9. Test alanının farklı kaynaklardan elde edilen CTI haritaları (a: GPS, b: Topoğrafik harita, c: SRTM, d: ASTER-GDEM)

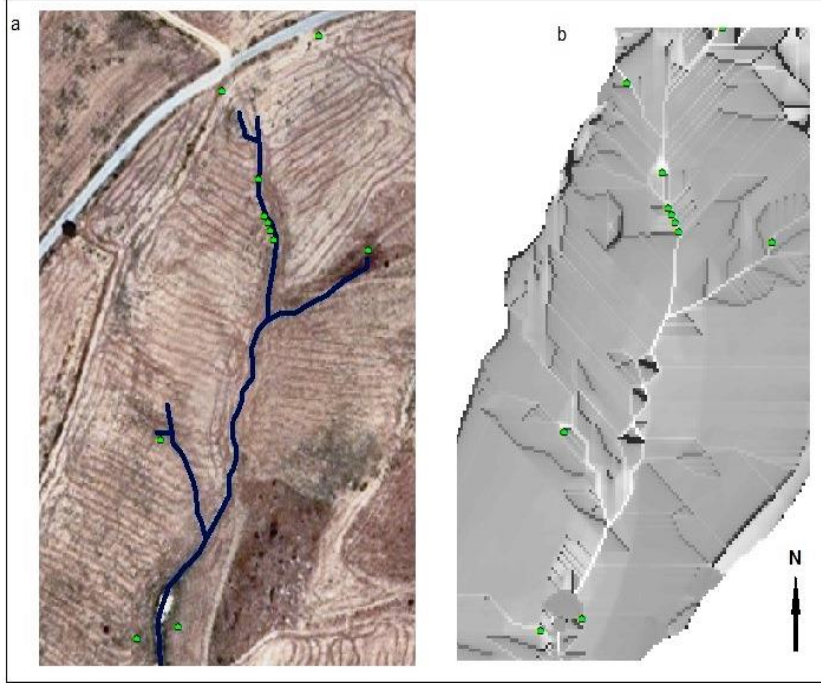
Test alanındaki arazi gözlemleri sonucu belirlenen oyuntu risk alanları ile eşik analizi (30) sonucunda belirlenen oyuntu risk alanlarının ortfoto üzerindeki görünümü Şekil 10'da verilmiştir. Adı geçen şekle göre üretilen SYM'lerden geliştirilen CTI haritasındaki eşik analizi (CTI= 30 için) ile oyuntu başlangıç noktaları doğruya yakın şekilde tahminlenmiştir.

Oyuntu (gully), su erozyonu tiplerinden biri olup özellikle sağanak yağışların görüldüğü yarı kurak bölgelerde toprak kayıplarının çok büyük bir kısmına neden olmaktadır. Oyuntu kanalının büyüklüğü çeşitli faktörlere bağlı olup özellikle arazi kullanımının değişmesiyle hızla büyümektedir. Oyuntu kanalları fazla miktarda su taşıdıklarından oyuntu kanalları arasındaki kısımlar kısa zamanda ortadan kalkarak dramatik sonuçlara neden olmaktadır (Poesen ve ark., 2003; Valentin ve ark., 2005). Oyuntu erozyonu üzerine arazi kullanımı ve toprak özelliklerinin yanısıra yüzey akış miktarı ve süresi, akış yükü ve eğim şekli rol oynamaktadır. Parker ve ark. (2010) bu üç faktörün müşterek sonucu olan akış gücünü temsil etmek üzere bileşik topoğrafik indeks (CTI) değerini hesaplamışlardır. CTI değerleri aynı zamanda bir arazide oyuntu erozyonu oluşabilecek yerlerin tespit edilmesine yardım etmektedir (Morgan, 1996). Bu çalışmada da farklı kaynaklardan üretilen SYM'ler kullanılarak CTI haritası oluşturulmuş ve Topçu havzasındaki oyuntu risk alanları tespit edilmiştir.

Sonuç

Bu çalışmada hassas jeodezik GPS ile yaklaşık 2 m aralıklarla x, y, z koordinatları ölçülmüş ve bu ölçümlerle üretilen SYM, diğer kaynaklardan üretilen SYM'ler ile karşılaştırılmıştır. Erozyon çalışmalarında kullanılacak

topoğrafik karakteristiklerinin (eğim dikliği, bakı ve CTI) elde edilmesi için eş yükselti eğrilerinden üretilen sayısal yükseklik modellerinin, ASTER-GDEM ve SRTM uydularının sağladığı veri kullanılarak üretilenlerden daha başarılı olduğu görülmüştür. Topoğrafik haritadan (çözünürlük: 10 m) üretilen SYM'lerden elde edilen eğimler SRTM (çözünürlük: 90 m) ve ASTER-GDEM (çözünürlük: 29 m)'den elde edilen eğimlerden daha yüksek bulunmuştur. Uydu görüntülerinden elde edilen SYM'lerin küçük alanlarda düşük çözünürlük verdiği için topoğrafik karakteristiklerin belirlenmesinde uygun olmamaktadır. Ancak alan büyüdükçe zaman ve maliyeti düşürme açısından uydu görüntüleri kullanımı önerilebilir.



Şekil 10. Çalışma alanında gözlemlenen ve tahmin edilen oyuntu başlangıç noktaları (a: Arazi gözlemleri ile belirlenen oyuntu başlangıç noktaları, b: CTI= 30 için tahmin edilen oyuntu başlangıç noktaları)

SRTM verisi düşük maliyetli, hızlı sağlanabilen en önemli kaynaklardan biri sayılır. SRTM verileri başka verilerin bulunmadığı alanlar ile geniş alanlar için genel topoğrafik analizler için kullanılabilir. ASTER-GDEM uydu görüntüleri kullanarak elde edilen SYM'ler SRTM verilerinden daha yüksek çözünürlüğe (29 m) sahiptirler. Ancak bu SYM'lerin erozyon çalışmalarında kullanımları sınırlıdır. SYM üretimi için kullanılan önemli kaynaklarından biri de basılı topoğrafik haritalardan eş yükselti eğrilerinin sayısallaştırılmasıdır. Aynı zamanda topoğrafik harita, SYM'lerin üretimi için ana kaynak olmuştur. Ancak zaman açısından olaya bakıldığında, CBS ortamında bu haritaların üretimi zaman alıcı olmaktadır. Buna rağmen topoğrafik haritalar bu tip çalışmalar için temel harita ve detay anlamında vazgeçilmez bir kaynaktır. SYM'nin üretiminde doğruluğun artması kadar üretim işleminin de hızlı ve ekonomik olması gerekmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, büyük alanlar çalışılırken uydu görüntülerinin SYM üretiminde kullanımı önerilebilir. Ancak göreceli olarak küçük alanlarda çalışılırken SYM'lerin yer ölçümleri esas alınarak hazırlanması yararlı olacaktır. Konunun daha iyi anlaşılması yapılacak daha ileri düzeyli geniş alan çalışmalarına ve bilimsel ve teknolojik gelişmelere bağlıdır.

Oyuntu erozyonu başlangıç noktalarının (risk alanı) tahmin edilmesi gerek erozyon tahmini gerekse de alınacak amenajman tedbirleri bakımından büyük önem taşınmaktadır. Topoğrafik haritalar, SRTM ve ASTER-GDEM verilerinden üretilen SYM lerin oyuntu erozyonu çalışmalarında kullanımı irdelendiğinde, her üç veri kaynağından üretilen bilgilerin; oyuntu erozyonu çalışmalarında kullanılmaları mümkün görülmemektedir. Nitekim bu çalışmada Topcu deresi havzası içerisinde seçilen yaklaşık 40 da'lık alanda oyuntu başlangıç noktaları her üç veri kaynağı ile tahmin edilememiştir. Oyuntu başlangıç noktaları ancak kinematik GPS ile alınan yer ölçümleri kullanılarak üretilen SYM'den gidilerek tahminlenebilmiştir.

Sonuç olarak topoğrafik karakteristiklerin üretiminde topoğrafik haritaların SRTM ve ASTER-GDEM verilerinden oluşturulan SYM'lerden daha başarılı olduğu anlaşılmıştır. Uydu verilerinin küçük alanlarda ve özellikle oyuntu erozyonu çalışmalarında yetersiz olduğu bu nedenle de doğrudan arazi ölçümleri kullanılarak oluşturulan SYM'lerin kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Ancak doğrudan arazi ölçümleri çok zaman alıcı ve masraflı olduğundan daha pratik ve ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Arslanbek L, 2009. Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Ayhan E, Erden Ö, Atay G, 2007. Sayısal yükseklik modelinin ortofoto üretimine etkisi. Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2-6 Nisan, Ankara.
- Bohner J, Antonic O, 2009. Land-surface parameters specific to topo-climatology. In: *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* (eds: Hengl T, Reuter HI), Elsevier, Amsterdam, Netherland, 195-226.
- Cerda A, 1998. The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain. *Canadian Journal of Soil Science* 78: 321-330.
- Çoban HO, Eker M, 2009. SRTM verileri ile bazı topoğrafik analizler: Isparta Orman Bölge Müdürlüğü örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* A2: 76-91.
- Eckert S, Kellenberger T, Itten K, 2004. Accuracy Assessment of Automatically Derived Digital Elevation Models from Aster Data in Mountainous Terrain: RSL-Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich, CH-8057 Zurich, Switzerland.
- ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, Ca: Environmental Systems Research Institute.
- Fang H, Guo M, 2015. Aspect-induced differences in soil erosion intensity in a gullied hilly region on the Chinese Loess Plateau. *Environmental Earth Sciences* 74(7): 5677-5685.
- Franklin SE, 1991. Satellite remote sensing of mountain geomorphic surfaces. *Canadian Journal of Remote Sensing* 17: 218-229.
- Gillin CP, Bailey SW, McGuire KJ, Prisley SP, 2015. Evaluation of lidar-derived DEMs through terrain analysis and field comparison. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 81(5): 387-396.
- Gündoğan R, Akay AE, 2007. Coğrafi bilgi sistemleri teknolojisi kullanılarak topoğrafik haritalardan eğim ve baki bilgilerinin üretilmesi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 10(1): 141-147.
- JPL, 2008. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, USA, Available at: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>.
- Kodge BG, Hiremath PS, 2011. Elevation contour analysis and water body extraction for finding water scarcity locations using DEM. *World Journal of Science and Technology* 1(12): 29-34.
- Kuşvuran K, 2011. Mersin-Tarsus Topçu Deresi Havzasında Yağış, Akım ve Alt Havasında Sediment veriminin Araştırılması, Proje Sonuç Raporu, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmaları Genel Müdürlüğü Toprak ve Su Kaynakları Tarsus Araştırma Enstitüsü, Mersin.
- Miller CL, Leflamme RA, 1958. The digital terrain model-theory and application. *Photogrammetric Engineering* 24: 433-442.
- Mitasova H, Mitas L, Russell SH, 2005. Simultaneous spline approximation and topographic analysis for lidar elevation data in open source GIS: *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 2(4): 375-379.
- Morgan RPC, 1996. Soil Erosion & Conservation. Longman, 2nd edition. Essex, England.
- Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, Valentin C, 2003. Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. *Catena* 50:91-133.
- Parker C, Bingner RL, Thorne C, Wells RR, 2010. Automated mapping of the potential for ephemeral gully formation in agricultural watersheds. 2nd Joint Federal Interagency Conference, June 27- July 1, Las Vegas, NV.
- Saygılı A, 2008. SRTM Shuttle Radar Topography Mission) Verilerinden Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluğunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Saygılı A, 2004. Coğrafi Bilgi Teknolojilerinde Sayısal Yükseklik Paftalarının Arazi Karakteristik Hatları Kullanılarak Otomatik İyileştirilmesine İlişkin Bir Sistem Geliştirme ve Gerçekleştirme, Lisans Tezi. Harita Yüksek Teknik Okulu, Ankara.
- Speight JG, 1980. The role of topography in controlling throughflow generation: A discussion. *Earth Surface Processes* 5: 187-191.
- Şahin İ, 2007. Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Takagi M, 1998. Accuracy of Digital Elevation Model According to Spatial Resolution. Department of Infrastructure Systems Engineering, Kochi University of Technology. Tosa-Yamada, Kochi 782-8502, Japan.
- TOPRAKSU 1974, Seyhan Havzası Toprakları. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Yayınları: 202, Topraksu Genel Müdürlüğü Yayınları, 286, Ankara.
- Thompson J, Bell J, Buttlet CA, 2001. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modelling. *Geoderma* 100: 67-89.
- Thorne CR, Zevenbergen L W, 1984. On-site Prediction of Ephemeral Gully Erosion. Report to the US Department of Agriculture, Agricultural Research and Soil Conservation Services. USA.
- Valentin C, Poesen J, Li Y, 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena* 63: 132-153.
- Wu S, Li J, Huang GH, 2008. A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: Sensitivity to elevation data resolution. *Applied Geography* 28: 210-223.
- Yastıklı N, Esirtgen F, 2011. Sayısal yükseklik modellerinde kalite değerlendirme ve doğruluk analizi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 18-22 Nisan, Ankara.
- Yastıklı N, Jacobsen K, 2002. Kentsel alanlarda otomatik sayısal yükseklik modeli üretimi, sorunlar ve sınırlamalar. Available at: https://www.ipi.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/yast_03.pdf.
- Yao C, McCool DK, Elliot WJ, 2010. DEM resolution effects on hillslope length and steepness estimates for erosion modeling. *ASABE* 10: 1-19.
- Zhang JX, Wu JQ, Chang K, Elliot WJ, Dun S, 2009. Effects of DEM source and resolution on WEPP hydrologic and erosion simulation: A case study of two forest watersheds in northern Idaho. *ASABE* 52: 447-457.
- Zevenbergen LW, Thorne CR, 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes And Landforms* 12: 47-56.
- Zomer R, Ustin S, Ives J, 2002. Using satellite remote sensing for dem extraction in complex mountainous terrain: Landscape analysis of the Makalu Barun National Park of Eastern Nepal. *International Journal of Remote Sensing* 23: 125-143.