



SİNOP DEMİRCİKÖY HAVZASININ HİDROLOJİK KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE AYLIK DOYGUNLUK DERECESESİ HARİTALARININ ÜRETİLMESİ

DETERMINATION OF HYDROLOGIC CHARACTERISTICS OF SİNOP DEMİRCİKÖY WATERSHED AND PRODUCTION OF MONTHLY SATURATION DEGREE MAPS

*Mustafa Can CANOĞLU^a

^a Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Osmaniye Köyü, Nasuhbaşıoğlu Mevkii, 57000, Sinop/ Türkiye. orcid.org/0000-0003-4028-0046

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Sinop ili, Demirciköy Havzası, CBS, SMDR modeli, Doygunluk derecesi.

ÖZ

Çalışmanın amacı, nüfusu hızla artan Sinop ilinde Demirciköy Havzasının hidrolojik karakteristiklerinin belirlenmesi ve doygunluk derecesi değişimlerinin zamana bağlı olarak izlenmesidir. Havza planlamasına yönelik gerçekleştirilen bu çalışma ayrıca taşkın, heyelan gibi doğal afetlerin de önüne geçilebilmesi ve zararlarının minimuma indirilmesi açısından önem taşımaktadır. Çalışma, saha, ofis ve laboratuvar aşamalarından oluşmuştur. Saha çalışmaları kapsamında, inceleme alanından temsil edici örnekler alınmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında, çalışma alanından alınan örneklerin toprak tekstürü belirlenerek toprağın hidrolojik özellikleri karakterize edilmiştir. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler ile büro çalışmaları kapsamında yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon, gibi temel meteorolojik veriler göz önüne alınarak “Coğrafi Bilgi Sistemleri”ni (CBS) temel alan “Soil Moisture Distribution and Routing” (*Zemin Nem Dağılım ve Güzergâhi*) (SMDR) modeli Demirciköy Havzası için uygulanmıştır. SMDR modeli ile Demirciköy Havzasındaki doygunluk derecesinin alansal ve zamansal dağılımı belirlenmiştir. Elde edilen aylık doygunluk derecesi haritaları toprağın nem içeriğinin yıl içerisindeki değişimlerini göstermiş, yüzeyel akış üretebilme potansiyeli olan alanların belirlenmesine olanak sağlamıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre havzanın Güney yakasındaki nem içeriği Kuzey yakasına göre daha düşüktür.

Geliş Tarihi: 10.08.2016
Kabul Tarihi: 07.11.2016

Keywords:
Sinop City, Demirciköy Watershed, GIS, SMDR model, Saturation degree.

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the hydrologic characteristics and to analyze the temporal saturation degree variations of Demirciköy Watershed which is located in Sinop City and subjected to rapidly increasing population. This study is important in terms of preventing the natural disasters such as flood, storm water, landslide and mitigation of damages within the frame of watershed planning concept. This study consists of field, office and laboratory stages. In context of field studies, representative soil samples are taken from study area. Within the scope of laboratory studies, soil hydrologic properties are characterized with the determination of soil texture of the soil samples handled from study area. The results of the laboratory tests are utilized as part of office studies with the use of the Soil Moisture Distribution and Routing (SMDR) model in Geographic Information Systems (GIS) environment considering the meteorological data such as precipitation, temperature and evapotranspiration. Spatial and temporal variation of saturation degree in Demirciköy Watershed is determined with SMDR model. The obtained monthly saturation degree maps show the variation of soil moisture in a year and allow determining the potential runoff generation zones. The results of the study show that soil moisture in South part of watershed is lower than in North part.

1. Giriş

Türkiye’de hızla artan nüfusa bağlı olarak şehirler genişlemekte ve kırsal alanlar şehirlere

dâhil olmaktadır. Sinop ilinin nüfusu, barındırdığı turizm olanakları, yeni inşa edilen karayolları ve hızla büyüyen üniversite olanakları dolayısıyla kısa zamanda büyük bir artış göstermiştir. Bu durum

* Başvurulacak yazar: Mustafa Can CANOĞLU, e-mail: mccanoglu@sinop.edu.tr
<http://dx.doi.org/10.19076/mta.315761>

Sinop ilinde hızla büyüyen şehirleşmenin getirdiği ihtiyaçları arttırmaktadır. Havza planlama, bir şehrin su ihtiyacının sağlanması amacıyla taşıdığı gibi aynı zamanda taşkın, sel, heyelan gibi doğal afetlerin de öngörülebilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, Güneybatı yönüne doğru büyüyen Sinop ilinde Demirciköy havzasının hidrolojik karakteristiklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Havza planlama ve hidrojeolojik etütlerde coğrafi bilgi sistemleri birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır (Kurtuluş, 2012; Kurtuluş ve Flipo, 2012; Kurtuluş ve Razack, 2010; Canoğlu, 2015). Ayrıca, coğrafi bilgi sistemlerini temel alan SMDR modeli de doygun olmayan zonun hidrojeolojik modellenmesinde çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Easton vd., 2007; Alwis vd., 2007; Campos vd., 2008; Rao vd., 2009; Frey vd., 2009; Canoğlu, 2017).

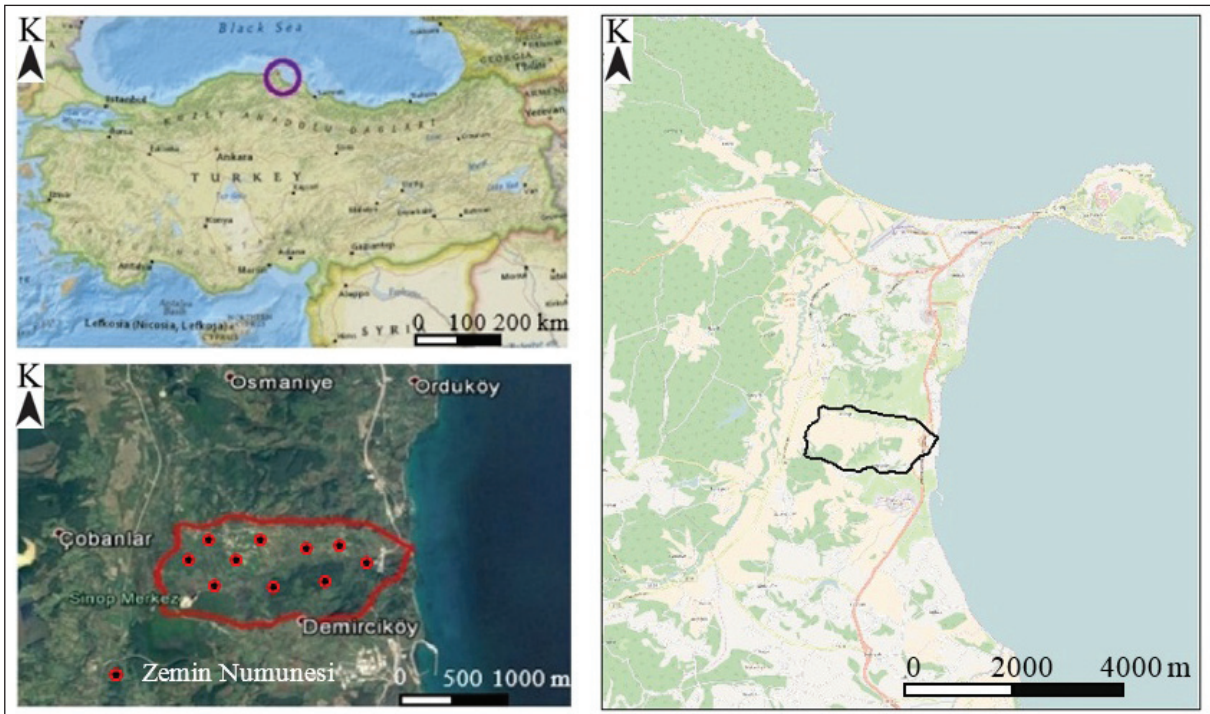
Sinop ilinin Güneybatısında kalan Demirciköy havzasındaki hidrolojik koşullar SMDR modeli kullanılarak alansal ve mekânsal olarak modellenmiş ve toprağın doygun olmayan zonundaki su içeriği değişimleri belirlenmiştir. Bu çalışma, büro, arazi ve laboratuvar aşamaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Büro çalışmaları kapsamında, literatür taramaları, Demirciköy havzasına ait verilerin toplanması

ve değerlendirilmesi, haritaların CBS ortamında üretilmesi, SMDR modelinin çalıştırılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında ise saha gözlemleri yapılmış ve temsil edici noktalardan 10 adet zemin örneği alınmıştır (Şekil 1). Alınan örnekler laboratuvar çalışmaları kapsamında temel zemin mekaniği deneylerine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar SMDR modelinde girdi verisi olarak kullanılmıştır.

SMDR modelinden elde edilen aylık ortalama nem içeriği haritaları Demirciköy havzasının yıl içerisinde yüzeysel akış üretebilme potansiyeli olan alanların belirlenmesine olanak sağlamıştır. Böylece, heyelan ve taşkın gibi doğal afetlerin yaşanması durumunda kritik noktalar önceden modellenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

1.1 Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeyinde Karadeniz Bölgesi'nde yer almaktadır. İklimi tipik Karadeniz iklimidir. Yazlar nemli ve sıcak, kışlar soğuk ve yağışlıdır (Atalay, 1997). Karadeniz Bölgesi yıl boyunca Türkiye'nin en çok yağış alan coğrafi bölgesidir. Kar yağışı Aralık ve Mart ayları arasında nadiren gözlenebilmektedir. Kar yağışı yıl boyunca ortalama bir ya da iki hafta sürmekte olup, kar



Şekil 1- Çalışma alanının yer bulduru haritası.

yağışları şiddetli geçebilmektedir. Gerçekleşen şiddetli ve kararsız yağışlara bağlı olarak Sinop ili ve yakın çevresinde sıkça heyelan olayları kayıt altına alınmıştır (Ertek vd., 1993; Işık vd., 2004; Özdemir, 2005; Çellek, 2007; 2013; Canoğlu, 2017). Güney'e doğru büyüyen Sinop ilindeki yerleşim yerleri bölgedeki önemli bir akaçlama havzası olan Demirciköy havzasına doğru ilerlemektedir. ArcGIS 10.0 yazılımı kullanılarak sınırları belirlenen Demirciköy havzası 8,71 km²'lik bir alanı kaplamakta olup, Sinop il merkezinin 11,2 km Güneybatısında yer almaktadır. Karadeniz sahil yolu Demirciköy havzasından bir tünel ve bir viyadükle geçmektedir (Şekil 1).

2. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Jeolojik Konumu

Sinop tektonik havzası Liyas-Kuvaterner zaman aralığında çökelmiş olup genel olarak binlerce metre kalınlığa ulaşan tortul bir istif temsil etmektedir (Gedik vd., 1984; Gedik ve Korkmaz, 1984). Havza ile karakterize edilen bu formasyonların birbirleri ile uyumsuz oldukları ifade edilebilir.

Sinop ilinin stratigrafisi incelendiğinde; tabanda Permo-Triyas yaşlı Boyabat metamorfikleri bulunmaktadır. Sinop ilinde metamorfik kayalar Boyabat-Durağan'ın güney ve batı kesimleri ve Saraydüzünde geniş alanlarda yüzeylenmiştir. Bu birimler, şist fasiyeslerinin yüksek basınç ve sıcaklıkta zaman içerisinde değişime uğraması sonucu oluşmuşlardır (Çellek, 2013).

Boyabat metamorfiklerinin üzerinde Jura yaşlı Akgöl ve Bürnük Formasyonları bulunmaktadır. Akgöl formasyonu, kumtaşı, siltaşı ve şeyl araldanmasından oluşmaktadır. Bürnük Formasyonu ise çakıltaşından oluşur. Kireçtaşından oluşan Alt Kretase yaşlı İnaltı formasyonu Jura yaşlı birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Marn, şeyl, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan Çağlayan formasyonu bu birimin üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Paleosen yaşlı kireçtaşı, şeyl, marn ve çamurtaşından oluşan Akveren formasyonu tüm bu birimleri uyumsuz olarak örter. Kireçtaşı, kumtaşı, marn, çamurtaşı ve çakıltaşından oluşan Eosen yaşlı birimler bölgede gözlenmektedir.. Kumtaşı, kireçtaşı ve marndan oluşan Miyosen yaşlı Sinop formasyonu ve bu birimin üst kısımların yer alan Pliyo Kuvaterner yaşlı Sarıkum formasyonu kumtaşı, çakıl ve kumdan oluşur. Sarıkum formasyonu üzerine ise alüvyonlar uyumsuz olarak gelmektedir (Çellek, 2013'den değiştirilerek alınmıştır).

Demirciköy havzası, kumtaşı, kireçtaşı ve marndan oluşan Miyosen yaşlı Sinop formasyonuna ait bozunmuş birimlerden oluşmaktadır (Şekil 2). Havza içerisinde yer yer kumtaşı ve marn birimleri mostra vermektedir. Ayrıca Sinop formasyonu'na ait bozunmuş birimlerde 6 adet heyelan gözlenmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Demirciköy havzası için toprağın doygun olmayan zonundaki su akılarının modellenmesi ve potansiyel yüzeysel akış oluşturabilecek noktaların belirlenebilmesi için SMDR modeli (Soil ve Water Lab., 2003) kullanılmıştır. SMDR modeli değişken alanlı kaynakların zamansal ve mekansal gelişimini belirlemek için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, bitkisel aktivitesi olan, nispeten nemli, az eğimli topoğrafyaya sahip yamaçlarda, genel olarak sığ ve yüksek infiltrasyon kapasitesine sahip topraklar için geliştirilmiştir. Ancak modelin bünyesindeki modüler yapı sayesinde farklı ortamların modellenmesi de mümkün olabilmektedir. Ayrıca, Gerard-Marchant vd. (2006)'ya göre, modelin kalibrasyon ihtiyacının bulunmaması ve hazır elektronik formattaki girdi verilerini kullanması SMDR modelinin bu çalışmadaki en önemli avantajıdır.

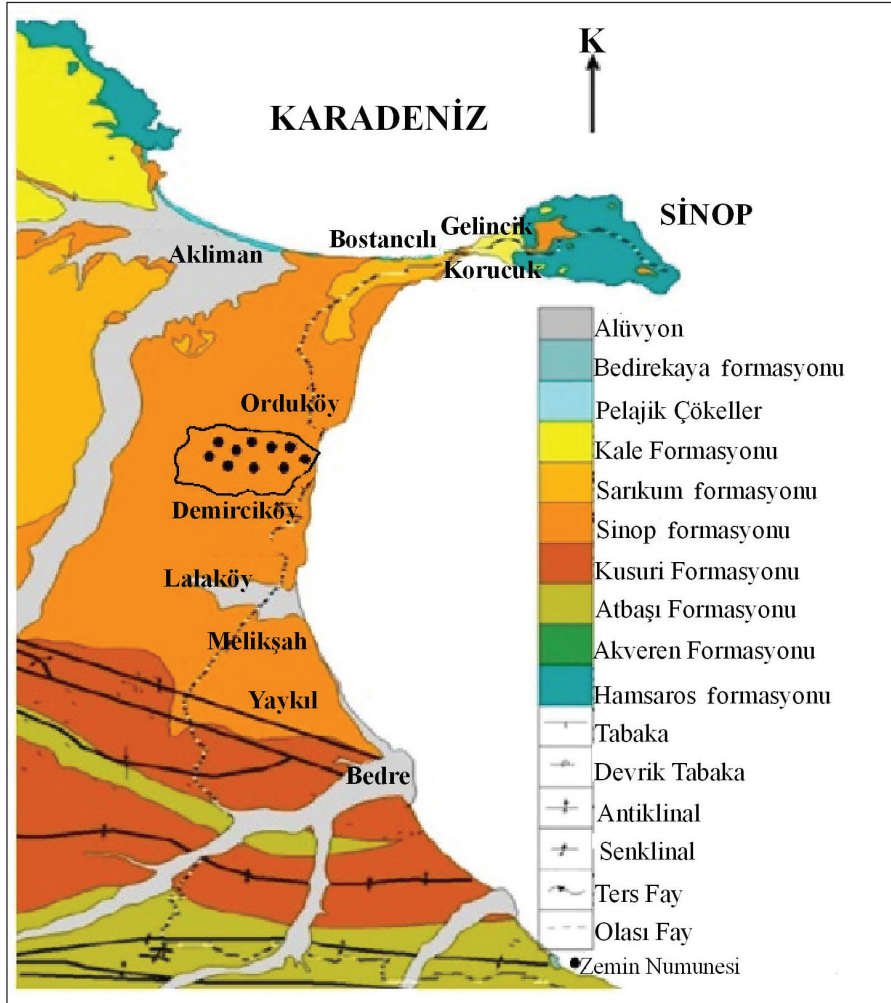
3.1 SMDR Modelinin Yapısı

SMDR modeli havzanın her bir noktası için tanımlanan toprağın hidrolojik özelliklerinin mekansal dağılımından itibaren çalışan bir yaklaşımdır. SMDR modelinde toprağın hidrolojik parametreleri tanımlanırken havza hücrelere bölünür ve her bir hücrenin jeolojik, topoğrafik ve hidrolojik parametreleri homojen kabul edilir. Su dengesi hesabında hücreye su girdileri, günlük yağış ve üst kottaki komşu hücrelerden gelen akıştır. Su çıktıları ise, alt kottaki komşu hücrelere akan yanal akış, perkolasyon ve evapotranspirasyondur (Şekil 3).

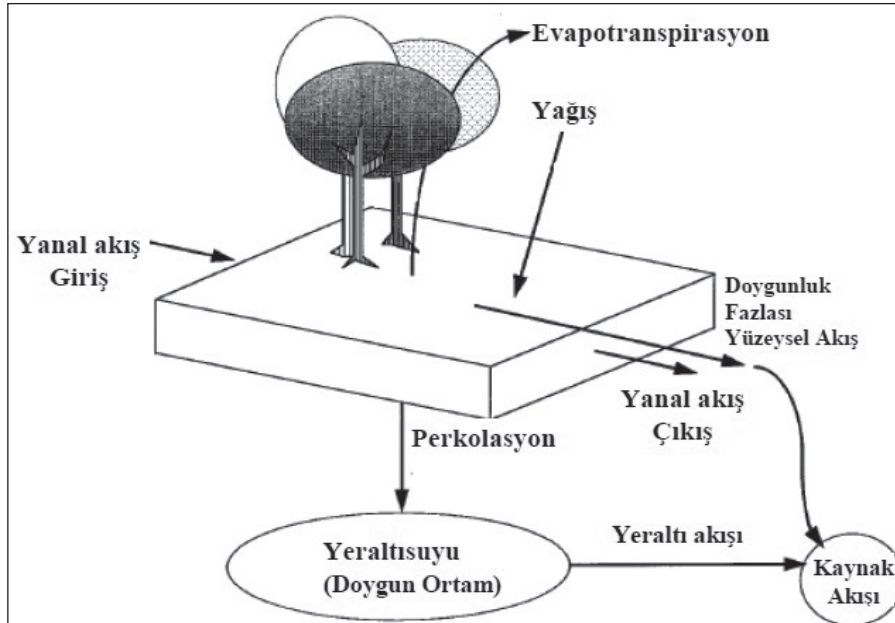
SMDR modeli tarafından her bir hücre için hesaplanan su dengesi denklemi aşağıdaki gibidir;

$$W^2 |\Theta(t) - \Theta(t - \Delta t)| = |RF(t) + SM(t)| + Qi(t) - Qo(t) - ET(t) - P(t) - SE(t) \quad (\text{denklem 1})$$

Bu denklemde, W kare bir hücrenin bir kenarının boyutu (m), Θ ortalama su içeriği (cm³.cm⁻³), Δt belirlenen zaman aralığı (gün), RF yağış (hacmen), SM kar erimesi (hacmen), Qi üst kottaki komşu hücreden gelen su miktarı (hacmen), Qo alt kottaki komşu hücreye giden su miktarı (hacmen), ET



Şekil 2- Çalışma alanı ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası (Çellek, 2013) .



Şekil 3- SMDR modelinde kullanılan bir hücre için hidrolojik süreçler (Frankenberger vd., 1999'dan değiştirilerek alınmıştır).

evapotranspirasyon (hacmen), P perkolasyonla yer altı suyuna karışan su miktarı (hacmen), SE doyumluk fazlası ile yüzeysel akışa geçen su miktarıdır (hacmen). Denklem 1'deki toprak kalınlığı $1m$ olarak alınmıştır. Hacimler m^3 olarak değerlendirilmiştir.

SMDR modelinde tanımlanan meteorolojik bilgilerin havza içerisindeki bütün piksellerde aynı olduğu varsayılır. Modelde, günlük ortalama sıcaklığın yerel yükseklik değişimleri adiabatik sapma oranı (6.5×10^{-3}) ile düzeltilmektedir (Boll vd., 1988). Günlük ortalama sıcaklığın $0^\circ C$ 'nin altında olduğu durumlarda kar yağdığı ve sıcaklık $0^\circ C$ 'nin üzerinde olana kadar yağmış olan karın erimediği ve yer değiştirmedeği varsayılmaktadır. SMDR modelindeki kar erimesi (SM) US Army Corps of Engineers (1960) tarafından önerilen sıcaklık indeksi metoduyla hesaplanır.

Yer altı akış ise SMDR modelinde Darcy Yasası kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklem 2 ile ifade edilen hücre dışına çıkan akış (Q_o) hesaplanırken hidrolik eğimin lokal eğime eşit olduğu varsayımı yapılmaktadır. Burada lokal eğim, her bir hücrenin yatayla yaptığı açı olarak değerlendirilebilir. Bu varsayım Darcy yasası açısından doğru bir yaklaşım değildir. Ancak, SMDR modeli doyum olmayan koşulları temsil ettiğinden modelde Darcy yasası yerine Darcy yasasından türetilmiş olan Richard Denklemi kullanılmaktadır. Bu nedenle modelde hidrolik eğim yerine lokal eğim kullanılması gerçeğe yakın sonuçlar verebilmektedir.

$$Q_o = - \kappa K(\theta) W \beta \Delta t \quad (\text{denklem 2})$$

Burada, K ilgili hücrenin ortalama hidrolik iletkenlik katsayısını ($m.gün^{-1}$) κ derinliğe bağlı bir çarpan (tipik olarak 2 ila 10 arasında değişen) olup makroporozite içerisindeki akışın transmisivite açısından düzeltilmesi için kullanılmaktadır (Boll vd., 1998). Doyum olmayan ortamın ortalama hidrolik iletkenlik katsayısı modelde aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\begin{aligned} \theta < \theta_f & \quad \text{için} \quad K(\theta) = 0 \\ \theta_f \leq \theta < \theta_m & \quad \text{için} \quad K(\theta) = K_s \exp \alpha \frac{(\theta - \theta_s)}{(\theta_s - \theta_f)} \\ \theta_m \leq \theta & \quad \text{için} \quad K(\theta) = K_m + K_s \frac{(\theta - \theta_m)}{(\theta_s - \theta_m)} \end{aligned} \quad (\text{denklem 3})$$

Burada, θ_f , θ_m , θ_s saha kapasitesi, makropor drenaj limiti ve doyum haldeki su içeriği değerlerini temsil etmektedir. Ayrıca, $K_s = K(\theta_s)$ ve $K_m = K(\theta_m)$ olup, doyum durumundaki hidrolik iletkenlik ve

makropor drenaj limitinde su içeriği durumundaki hidrolik iletkenliği ifade etmektedir. Denklem 4'deki α ise evrensel bir sabit olup birçok toprak türü için 13 olarak belirtilmiştir (Bresler vd., 1978; Steenhuis ve van der Molen, 1986). Bir hücreden çıkan yanal akışın dağılımı D_∞ algoritması kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Tarboton, 1997).

SMDR modelinde evapotranspirasyon hesabı Thornthwaite ve Mather (1957) tarafından önerilen ve potansiyel evapotranspirasyon, toprağın nem içeriği ile bitki örtüsünü göz önüne alan yöntemle gerçekleştirilmektedir. Perkolasyon miktarı ise belirlenen zaman dilimi sonunda yeraltısuyuna iletilen miktara eklenir ve aşağıdaki denklemle ifade edilir;

$$P = \min[K(\theta); K_{sub}]/W^2 \Delta t \quad (\text{denklem 4})$$

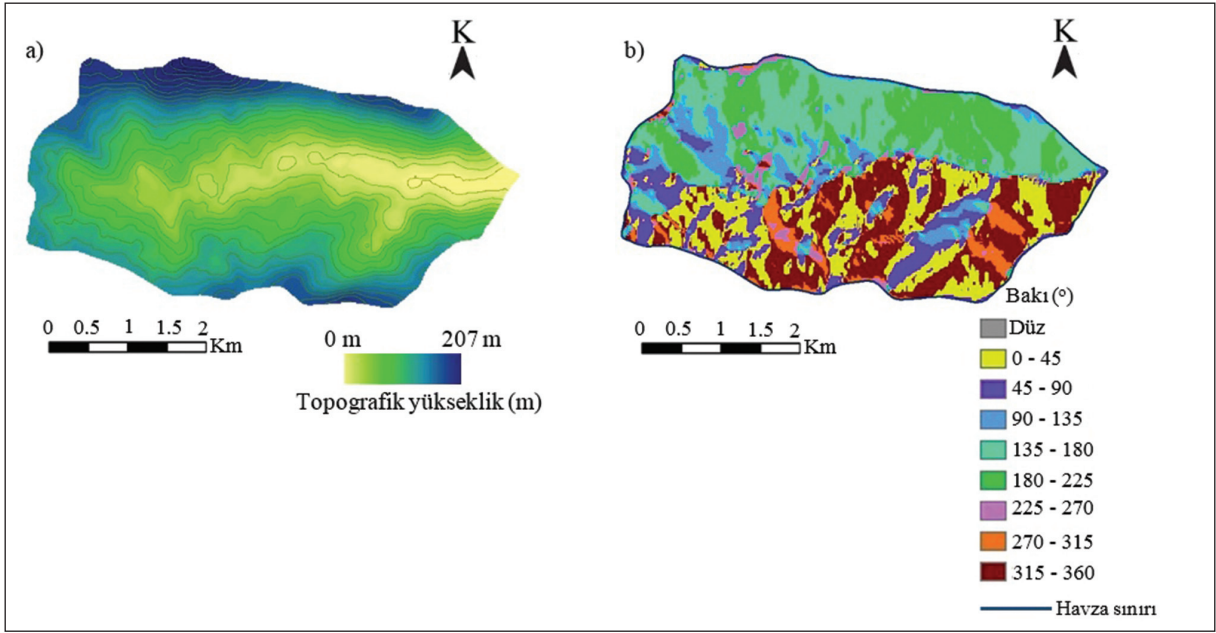
Denklem 4'de K_{sub} hücrenin altındaki birimin hidrolik iletkenlik katsayısıdır ($m.gün^{-1}$).

SMDR modelinde bir hücredeki ortalama su içeriği değeri saha kapasitesi değerinden daha küçük olması durumunda perkolasyon durur. Belirlenen zaman dilimi sonunda doyumluk fazlası olan su miktarı ise yüzeysel akışa dâhil edilir.

3.2. SMDR Modelinin Girdi Verileri ve Parametrizasyonu

SMDR modelinin kullandığı girdi verileri iki tip veri grubu ile temsil edilmekte olup bunlar, raster haritalar ve tablolarıdır. Raster haritalar 5 çeşit olup bunlar, sayısal arazi modeli, havza sınırı bakı, toprak türü ve bitki örtüsü haritalarıdır. SMDR modeli için gereken tablolar 3 çeşit olup bunlar, toprak karakteristikleri, bitki karakteristikleri ve meteorolojik veriler tablolarıdır.

Sayısal arazi modeli haritası E34-a1 pafta numaralı 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritanın (Harita Genel Komutanlığı, 1993) sayısallaştırılması ile üretilmiştir (Şekil 4a). Havza sınırı haritası ve bakı haritası ArcGIS 10.0 yazılımı (ESRI, 2010) ile sayısal arazi modeli haritasından üretilmiştir (Şekil 4b). Hücre temelli çalışan SMDR modelinde her bir hücrenin jeolojik, topografik ve hidrolojik parametreleri homojen kabul edildiğinden dolayı hücre boyutları mümkün olduğunca küçük seçilmiştir. SMDR modeline girdi verisi olarak hazırlanan tüm haritalar 10m x 10m'lik yatay çözünürlüğe sahiptir. Bununla beraber, daha önce yapılan hücre bazlı modellerde hücre boyutunun büyütülmesi, ortamın eğriliğinin

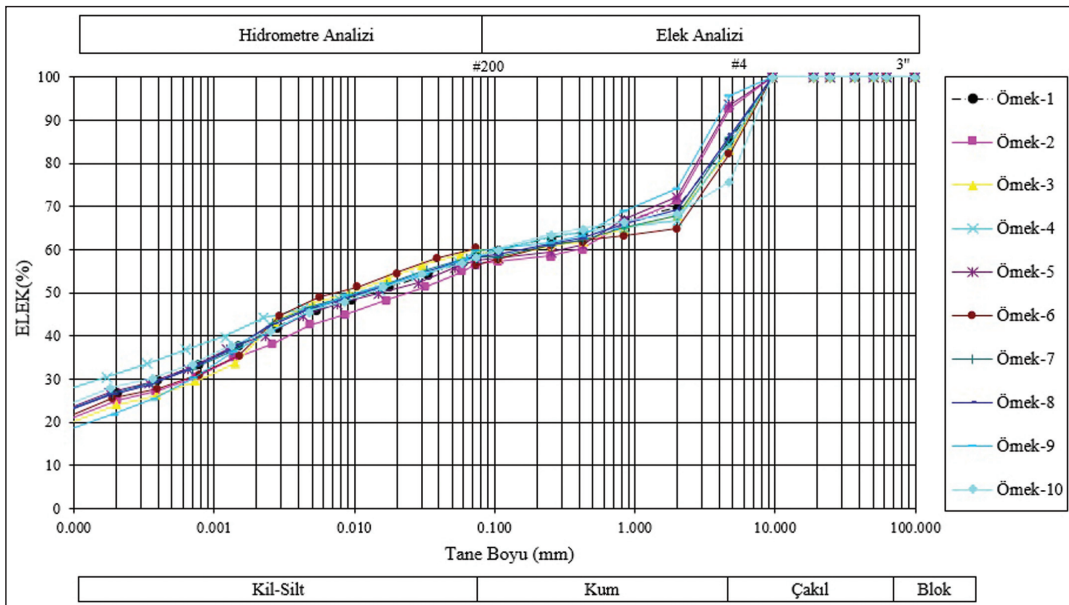


Şekil 4- Demirciköy Havzası sayısal arazi modeli haritası (a), bakı haritası ve havza sınırı (b).

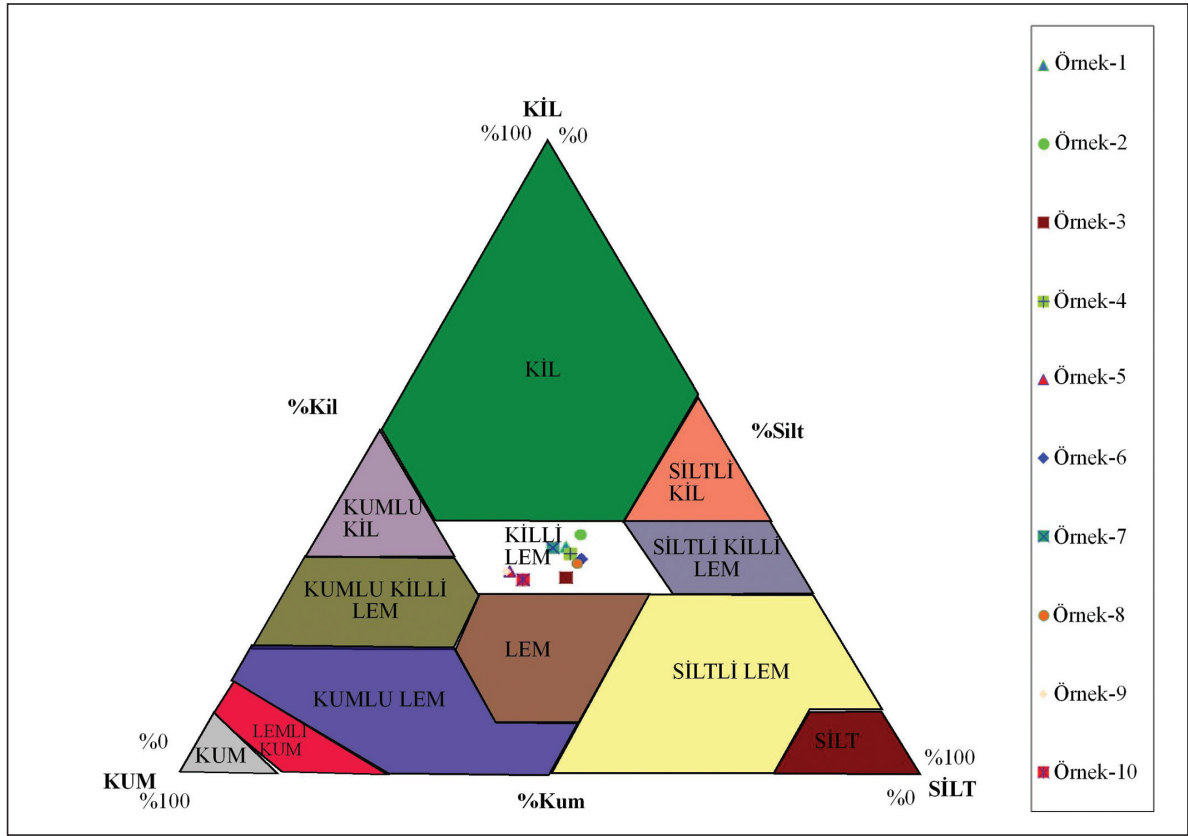
çözünürlüğünü düşürdüğü için toprağın nem içeriği ve evapotranspirasyon hızının da doğru temsil edilmemesine yol açabilmektedir (Kuo vd., 1999).

Bitki örtüsü haritası ve bitki karakteristikleri tablosu Sinop ili Orman Bölge Müdürlüğü'nden alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulmuştur. Toprak karakteristikleri tablosunun oluşturulabilmesi için ise öncelikle Demirciköy Havzasından alınan toprak örnekler üzerinde ASTM D-422-63 standardına göre

gerçekleştirilen elek analizi ve hidrometre testleri ile örneklerin tane boyu dağılımları (Şekil 5) ve USDA (United States Department of Agriculture) toprak tekstürü sınıflama sistemine göre toprak tekstürleri bulunmuştur (Şekil 6). Daha sonra, Rawls ve Brakensiek (1982, 1985) tarafından önerilen toprak tekstürüne göre toprağın hidrolojik özellikleri indeks tablosundan SMDR modelinin girdi verisi olan toprak karakteristikleri tablosu olarak kullanılmıştır (Çizelge 1). Söz konusu toprak karakteristikleri tablosu



Şekil 5- Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin tane boyu dağılımları.



Şekil 6- Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin USDA toprak tekstürü sınıflama sistemine göre tekstür sınıflaması.

Çizelge 1- Toprak tekstürüne göre toprağın hidrolojik özellikleri indeks tablosu.

Tekstür Sınıfı	Porozite (cm ³ /cm ³)	Artık Su İçeriği (%)	Solma Noktası (%)	Saha Kapasitesi (%)	Doğun Haldeki Su İçeriği (%)	Maksimum Çekilebilecek Su Miktarı (%)	Ksat Dikey (mm/d)
Killi Lem	46,4	7,5	19,7	31,8	39	31,5	48

oluşturma yöntemi SMDR modelinin kullanım kitabında Soil ve Water Lab. (2003) tarafından da önerilmektedir.

Şekil 5 ve 6'dan da görüldüğü gibi Demirciköy Havzasını oluşturan toprak malzeme USDA toprak tekstürü sınıflama sistemine göre "killi lem" sınıfında olup tek bir tekstür sınıfında temsil edilmektedir. Demirciköy Havzasında tek tip toprak tekstürü hâkim olduğundan dolayı toprak karakteristikleri haritası tek bir toprak türü ile temsil edilmekte olup homojendir. Killi lem özelliğindeki toprağın hidrolojik özellikleri Rawls ve Brakensiek (1982, 1985) tarafından önerilen toprak tekstürüne göre toprağın hidrolojik özellikleri indeks tablosunda sunulmuştur (Çizelge 1).

Meteorolojik veriler ise Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Sinop istasyonundan elde edilmiştir (MGM, 2010). 1975 – 2010 yılları arasında günlük olarak alınan bu veriler aylık ortalama yağış, günlük sıcaklık ve aylık ortalama potansiyel evapotranspirasyon olup, SMDR modeline girdi verisi olarak hazırlanmıştır (Çizelge 2). SMDR modeli günlük zaman dilimi baz alınarak çalıştırılmış ve elde edilen günlük doymunluk derecesi haritaları ArcGIS 10.0 yazılımı ile aylık doymunluk derecesi haritalarına dönüştürülmüştür.

Çizelge 2- Sinop İli aylık meteoroloji verileri (1975-2010 Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü)

	Aylık Ortalama Yağış (mm)	Günlük Sıcaklık (C°)	Aylık Ortalama Potansiyel Evapotranspirasyon (mm)
Ocak	71,2	7	0
Şubat	49,2	6	0
Mart	49,3	7	0
Nisan	37,7	11	16
Mayıs	33,1	15	24
Haziran	35,3	20	29
Temmuz	36,3	23	37
Ağustos	42,2	23	27
Eylül	66,0	20	22
Ekim	91,4	16	14
Kasım	87,3	12	0
Aralık	82,3	9	0
Yıllık	681,3	14	169

4. Sonuçlar ve Tartışma

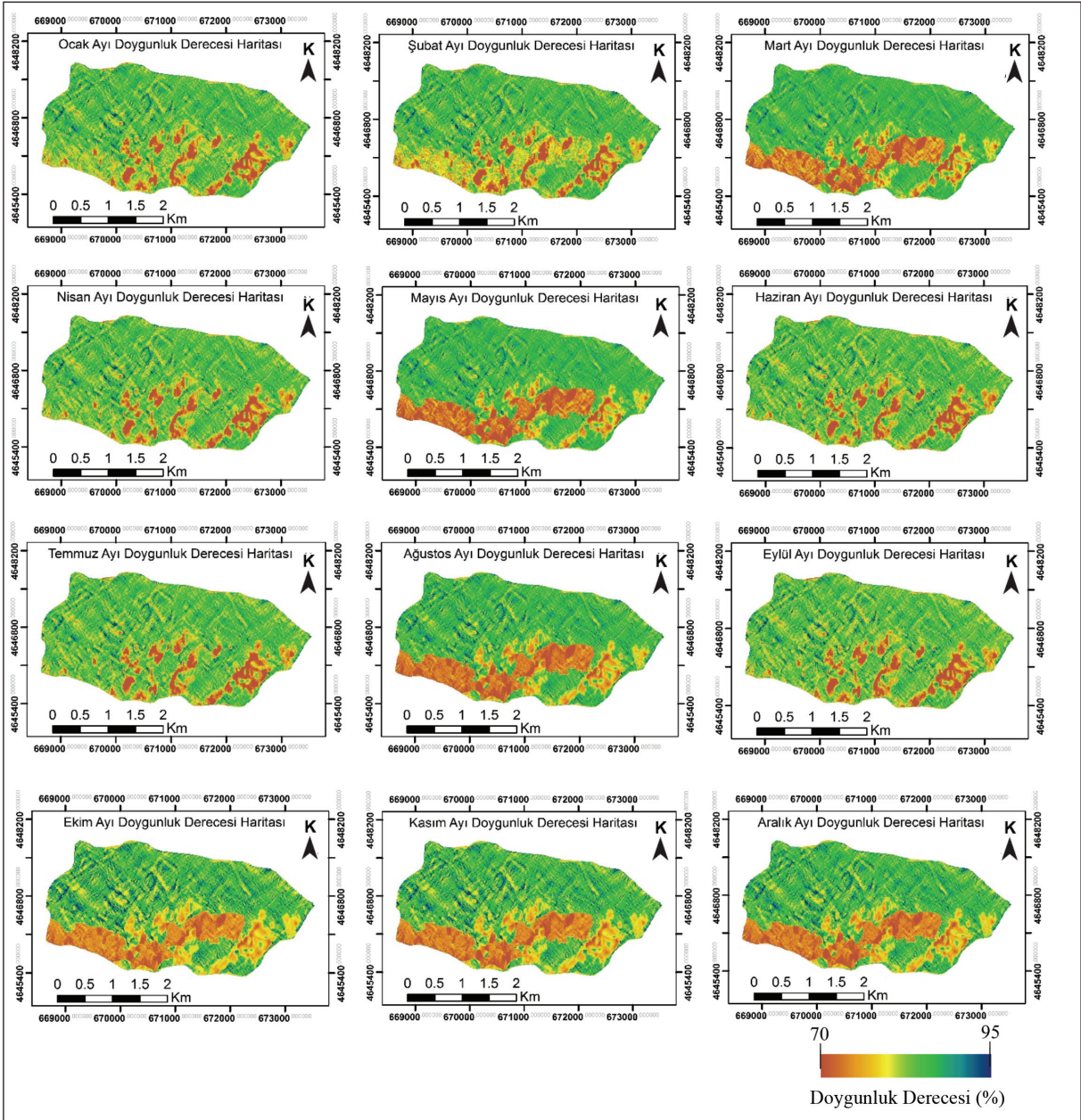
Araziden alınan zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen elek analizleri sonucunda zeminlerin toprak tekstürü belirlenmiştir. Toprak tekstürü belirlenen zemin örneğinin hidrolojik özellikleri, Rawls ve Brakensiek (1982, 1985) tarafından önerilen toprak tekstürüne göre toprağın hidrolojik özellikleri indeks tablosuna göre oluşturulmuştur. Daha sonra SMDR modeli ile şekil 3’de şematize edilmiş olan süreçler göz önüne alınarak vadoz zondaki su akışı modellenmiş ve Demirciköy Havzasının aylık doymunluk derecesi haritaları üretilmiştir (Şekil 7). Böylece doymunluk fazlası yüzeysel akış meydana getirebilecek potansiyel alanların yıl içerisindeki değişimleri gözlenebilmektedir.

Demirciköy Havzası içerisindeki doymunluk derecesi değişimlerinin yıl içerisindeki gelişiminin modellendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara varmak mümkündür;

- Havza içerisindeki toprak yapısı homojen olup, USDA toprak tekstürü sınıflama sistemine göre killi lem sınıfındadır. Bu bağlamda, havza içerisindeki toprak malzemenin hidrolojik özellikleri alansal bir değişim göstermemektedir.
- Demirciköy havzası içerisinde kuzeye bakan yamaçların doymunluk derecesinin daha az olduğu sonucuna varılabilmektedir (Şekil 7). Bu durum, güneşlenme etkisinin buharlaşmadaki öneminin çok fazla olmadığını ve doymunluk derecesini

önemli ölçüde azaltacak kadar etkilemediğini göstermektedir. Ayrıca, Karadeniz geneli için sıkça kullanılan havadaki nemin kuzeye bakan yamaçlara bırakıldığı ifadesinin de gerçeği yansıtmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak, bitkisel aktivitenin yoğun olduğu yerlerdeki doymunluk derecesinin düşük olduğu göz önüne alındığında evapotranspirasyonun doymunluk derecesi üzerindeki etkisi net bir şekilde fark edilmektedir. Bu durumda, havza genelinde doymunluk derecesi açısından terlemenin buharlaşmadan daha etkili olduğu söylenebilir.

- Mayıs ve Ağustos aylarında doymunluk derecesinin havza genelinde düşük olduğu gözlemlenmektedir. Mayıs ayında evapotranspirasyon etkisi, Ağustos ayında ise günlük ortalama sıcaklığın fazla oluşu nedeniyle doymunluk derecesinde genel bir düşüş gerçekleşmiş olabilir. Ayrıca, Mart, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında da doymunluk derecesinin genel olarak yer yer düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ancak bu aylarda belirli piksellerin doymunluk derecesi azalırken bazı piksellerin doymunluk derecesi artmıştır ve doymunluğa yaklaşmıştır.
- Demirciköy Havzası genelinde Haziran ve Eylül aylarındaki doymunluk derecesi diğer aylara oranla daha yüksektir. Yağışın fazla olması ve üst kotlardaki piksellerden gelen suyun alt kotlarda birikmesinden dolayı bu aylardaki nem içeriğinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ayrıca, Ocak, Nisan ve Temmuz ayları da doymunluk derecesi açısından yüksek değerlere sahiptir. Bunun nedeni, söz konusu aylardaki yağış fazlalığı ve evapotranspirasyonun nispeten azalması olabilir.
- Güneye bakan yamaçların doymunluk fazlası yüzeysel akış üretme potansiyelinin yüksek olması, bu yamaçların sel ve taşkın üreteceği anlamına gelmemektedir. Bunun nedeni sel ve taşkın doymunluk fazlası yüzeysel akış modeli ile değil infiltrasyon fazlası yüzeysel akış mekanizmalarıyla açıklanabilir olmasıdır. İnfiltrasyon fazlası yüzeysel akış için yağış şiddetinin zeminin infiltrasyon kapasitesinden fazla olması yeterlidir.
- Aylık ortalama meteorolojik verilerle modellenen Demirciköy havzasında aylık

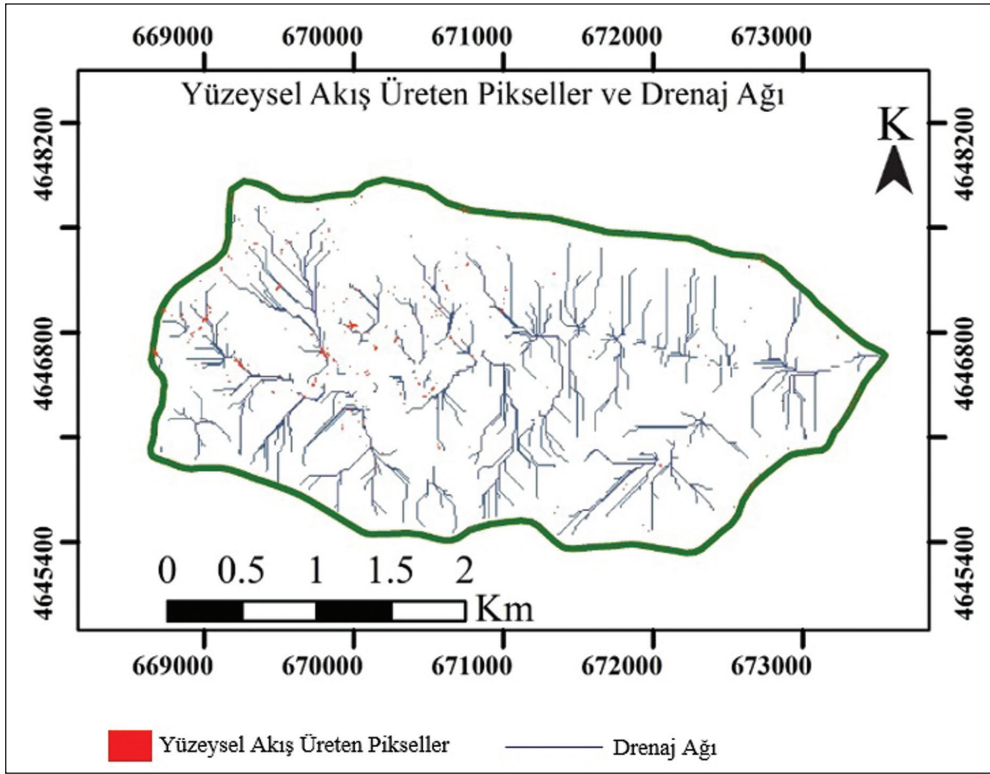


Şekil 7- Demirciköy Havzasının aylık doğunluk derecesi değişimleri.

olarak doğunluğa ulaşip yüzeysel akış oluşturan bir piksel bulunmamaktadır. Bununla beraber, yağış şiddetinin artması ile %90 doğunluğun üzerinde değer veren piksellerin, özellikle de diğer aylardan daha yüksek doğunluk derecesine sahip olan Haziran ayı için yüzeysel akış oluşturabilecek potansiyele sahip olduğu söylenebilir (Şekil 8). Ayrıca, havzada bu piksellerin yoğunlaştığı zonlarda heyelanlar da gözlenmiştir. Yüksek doğunluk derecesine sahip olan alanlar ile heyelana maruz

kalan alanların karşılaştırılması, bu çalışmanın devamı ve gelecekteki çalışmalar için yeni bir perspektif olarak değerlendirilebilir.

- Bu yöntemin uygulanabilirliği toprak karakteristikleri veri tabanına (ör: SSURGO database) sahip olan ülkelerde kolay ve hızlıdır. Ancak Türkiye’de bu yöntemin uygulanabilmesi toprak karakteristikleri veri tabanı olmadığından dolayı zaman almakta ve mali kaynak gerektirmektedir.



Şekil 8- Haziran ayına ait potansiyel yüzeysel akış üreten pikseller ve drenaj ağı.

Katkı Belirtme

Yazar çalışma ile ilgili finansman sağlayan ve bilimsel destekleri ile mühendislik tecrübelerini paylaşan tüm Suuyarı Mühendislik ve Müşavirlik AŞ ailesine, özellikle de firma yönetimine teşekkür eder. Ayrıca, çalışma için verilerini paylaşan Sinop ili Orman Bölge Müdürlüğü'ne ve Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne de ayrıca teşekkür eder.

Değinilen Belgeler

- De Alwis, D. A., Easton, Z. M., Dahlke, H. E., Philpot, W. D., Steenhuis, T. S. 2007. Hydrology and Earth System Sciences Unsupervised classification of saturated areas using a time series of remotely sensed images. *Hydrology and Earth System Science*, 11,1609–1620.
- Atalay, İ., 1997. Türkiye Coğrafyası, Ege Üniversitesi Basımevi, ISBN 975-95527-5-2, Bornova, İzmir.
- Boll, J., Brooks, E.S., Campbell, C.R., Stockle, C.O., Young, S.K., Hammel, J.E., McDaniel, P.A. 1998. Progress toward development of a GIS based water quality management tool for small rural watersheds: modification and application of a

distributed model. U.S. Army Corps of Engineers, 1960, Engineering and Design: Runoff from Snowmelt. EM 1110-2-1406.

- Bresler, E., Russo, D., and Miller, R. D. 1978. Rapid estimate of unsaturated hydraulic conductivity function, *Soil Science Society of America Journal*, 42, 170–177.
- Campos, I., Coterillo, I., Marco, J. 2008. Modelling of a watershed: A distributed parallel application in a Grid Framework, *Computing and Informatics*, 27, 285–296.
- Canoğlu, M.C. 2015. An Investigation On The Surface Water Effect In Landslide Susceptibility Mapping: An Example From Yenice (Karabük) Basin. PhD thesis, Hacettepe University.
- Canoğlu, M.C. 2017. Deterministic landslide susceptibility assessment with the use of a new index (Factor of Safety Index) under dynamic soil saturation: an example from Demirciköy Watershed, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 12 (2), 423-436
- Çellek, S. 2007. Gerze (Sinop) yöresindeki aktif heyelan alanlarının mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s.

- Çellek, S. 2013. Sinop-Gerze yöresinin heyelan duyarlılık analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 309s.
- Easton, Z. M., Gérard-Marchant, P., Walter, M. T., Petrovic, A. M., Steenhuis, T. S. 2007. Hydrologic assessment of an urban variable source watershed in the northeast United States, *Water Resources Research*, 43.
- Ertek, T. A., Turoğlu, H., Mater, B. 1993. Çiftlik Heyelanı (Sinop). *Türk Coğrafya Kurumu Dergisi*, 181-188.
- ESRI, Environmental Systems Research Institute, ArcGIS 10.0 software. 2010.
- Frankenberger, J., Brooks, E., Walter, M., Steenhuis, T. 1999. A GIS-based variable source area hydrology model, *Hydrological Processes*, 13, 805–822.
- Frey, M. P., Schneider, M. K., Dietzel, A., Reichert, P., Stamm, C. 2009. Predicting critical source areas for diffuse herbicide losses to surface waters: Role of connectivity and boundary conditions, *Journal of Hydrology*, 365, 23–26.
- Gedik, A., Korkmaz, S. 1984. Sinop Havzasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, MTA Derleme No. 7575, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 19, 53-79.
- Gedik A., Ercan T., Korkmaz S. 1984. Orta Karadeniz (Samsun-Sinop) Havzasının Jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi, *MTA Dergisi*, 99, 34-50.
- Gerard-Marchant, P., Hively, W. D., Steenhuis, T. S. 2006. Distributed hydrological modeling of total dissolved phosphorus transport in an agricultural landscape, part I: distributed runoff generation, *Hydrology and Earth System Science*, 10, 245–261.
- Harita Genel Komutanlığı. 1993. Sinop - E34-a1 pafta numaralı 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritası.
- Işık, N. S., Doyuran, V., Ulusay, R. 2004. Assessment of coastal landslide subjected to building loads at Sinop, Black Sea region, Turkey, and stabilization measures. *Engineering Geology*, 75, 69-88.
- Kuo, W. L., Steenhuis, T., McCulloch, C., Mohler, C., Weinstein, D., DeGloria, S., Swaney, D. 1999. Effect of grid size on runoff and soil moisture for a variable-source-area hydrology model, *Water Resources Research*, 35, 3419–3428.
- Kurtuluş, B. 2012. High Resolution Numerical Modelling of SO₂ Emission: A Power Plant Case Study. *Building Simulation*, 5, 135-146.
- Kurtuluş, B., Razack, M. 2010. Modeling daily discharge of a large karstic aquifer using soft computing methods: Artificial neural network and neuro-fuzzy. *Journal of Hydrology*, 381, 1-2, 101-111.
- Kurtuluş, B., Flipo, N. 2012. Hydraulic head interpolation using ANFIS—model selection and sensitivity analysis. *Computers and Geosciences*, 38, 43–51.
- MGM. 2010. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 1975-2010 yılları arası Sinop ili aylık meteoroloji verileri.
- Özdemir, N. 2005. Sinop ilinde etkili bir doğal afet türü heyelan. D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 5, 67-106.
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., Saxton, K.E. 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 25, 1316-1328.
- Rawls, W., Brakensiek, D. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. *Watershed Management in the Eighties*, 293–299.
- Rao, N.S., Easton, Z.M., Schneidman, E. M., Zion, M.S., Lee, D. R., Steenhuis, T. S. 2009. Modeling watershed-scale effectiveness of agricultural best management practices to reduce phosphorus loading, *Journal of Environmental Management*, 90, 1385–1395.
- Soil and Water Laboratory. 2003. SMDR – The Soil Moisture Distribution and Routing model, version 2.0 – documentation, Department of Biological and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, New York.
- Steenhuis, T., W. Van der Molen. 1986. The Thornthwaite-Mather method procedure as a simple engineering method to predict recharge, *Journal of Hydrology*, 84, 221–229.
- Tarboton, D. 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digitale elevation models, *Water Resources Research*, 33, 309–319.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publication in Climatology*, 10, 185-311.
- U.S. Army Corps of Engineers. 1960. Engineering and design: Runoff from snowmelt, Tech. Rep. EM 1110-2-1406, U.S. Army Corps of Engineers, Government. Printing Office, Washington, D.C.
- USDA Soil Survey Staff. 1999. Natural Resources Conservation Services, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, United States Department of Agriculture, second edition.

