

Değiştirilmiş AHP (M-AHP) Yöntemi Kullanılarak Ankara İçin Taşkın Duyarlılık Haritası Üretimi

(Flood Susceptibility Mapping for Ankara using Modified AHP (M-AHP) Method)

Burhan Sözer¹ , Sultan Kocaman¹ , Hakan A. Nefeslioğlu² ,
Orhan Fırat³ , Candan Gökçeoğlu² 

¹Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 08100, Ankara
bbsozer@gmail.com, sultankocaman@hacettepe.edu.tr

²Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 08100, Ankara
hanefeslioglu@hacettepe.edu.tr, cgokce@hacettepe.edu.tr

³Harita Genel Müdürlüğü, 06590, Çankaya, Ankara
orhan.firat@harita.gov.tr

Geliş Tarihi (Received): 06.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 26.06.2019

ÖZ

Doğal afetlerin artışıyla birlikte doğal tehlike duyarlılık haritalarının üretimi giderek daha önemli haline gelmiştir. Bu haritalar, şehir planlaması, afet risk değerlendirmesi, afet sonrası öncesi ve sonrası planlama çalışmaları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ankara'da son yıllarda sıklıkla gerçekleşen aşırı yağışlar ve taşkın olayları, yarı-otomatik veya otomatik yöntemlerle taşkın duyarlılık haritası üretiminin önemini ortaya koymuştur. Bu çalışmanın temel hedefi Ankara için taşkın duyarlılık haritası üretimidir. Bu amaçla uzman görüşüne başvurulmuş "Değiştirilmiş Analitik Hiyerarşik Süreci (M-AHP)" kullanılmış, alanlarındaki uzman kişiler tarafından, karar verme sürecinde kullanılan parametrelerin önem dereceleri puan olarak belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan konumsal veriler Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından sağlanmıştır ve 2008 yılında Ankara üzerinde alınmış sayısal hava fotoğraflarını ve bunlardan üretilmiş olan TopoVT veritabanında saklanan vektör verileri içermektedir. Veriler ön işleme ile M-AHP yönteminde kullanılabilir hale getirilmiştir. Ön işleme aşamasında TopoVT'de yer alan münhaniler kullanılarak sayısal arazi modeli (SAM) çıkarılmış, ayrıca SAM'in türevleri olan su toplama alanları, eğim, topografik nemlilik indeksi haritaları üretilmiştir. Litolojik veriler analizlere dahil edilerek kentteki kayaç yapısının karar verme sürecinde kullanılması sağlanmıştır. Arazi örtüsü verileri 24 Ağustos 2018 yılında alınmış Landsat-8 uydu görüntülerinin maksimum olasılık yöntemiyle denetimli sınıflandırması ile elde edilmiştir. Bu veriler M-AHP ile karar sürecine sokularak Ankara için taşkın duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen taşkın duyarlılık haritası bu çalışmada sunulmaktadır. Ayrıca ham fotogrametrik uçuş verileriyle ortofoto ve sayısal yüzey modeli (SYM) üretilmiş ve taşkın duyarlılık haritasının 3 boyutlu görselleştirilmesinde altlık olarak kullanılmıştır. Çıktı harita olan Ankara'daki taşkına duyarlı alanların bu alanda bir ön araştırma olması ve planlama, afet yönetimi gibi alanlarda ilgili çalışmalara altlık oluşturması düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Taşkın Duyarlılık Haritası, Doğal Tehlike, Afet, M-AHP, Ankara

ABSTRACT

With the increase in natural disasters, it has been crucial to produce hazard susceptibility maps. These maps can be used for efficient urban planning, disaster risk assessment and planning before and after disasters. The frequent flood events occurred in Ankara in recent years have shown the importance of production of flood susceptibility maps with semi- or fully-automatic methods. The main purpose of the present study is to produce the flood susceptibility map of Ankara. For this reason, an expert based algorithm with a Modified Analytic Hierarchy Process (M-AHP) have been used by prioritizing the parameters by the responsible expert. The geospatial datasets used in the modeling and mapping process have been provided by the General Directorate of Mapping (HGM). The datasets include the aerial photos of Ankara acquired on 24 August 2018 and vector datasets stored in TopoVT spatial database. These datasets have been pre-processed for M-AHP. The digital terrain model (DTM) has been extracted from the contour lines stored in TopoVT, and the DTM derivatives such as flow accumulation, slope gradient, and topographic wetness index have been computed. The lithology data has also been integrated in the decision making process. The land cover data have been extracted from Landsat-8 satellite images by using a maximum likelihood supervised classification method. The flood susceptibility values have been produced by analyzing the input datasets using M-AHP and transformed into a susceptibility map which is presented here. In addition, a dense digital surface model (DSM) and orthophotos have been produced from aerial images and used for 3D visualization to provide a base for visual interpretation. The outcomes of this study are considered to be preliminary for similar efforts and the maps can be base data for site selection, urban planning and disaster management.

Keywords: Flood Susceptibility Map, Natural Hazards, Disaster, M-AHP, Ankara.

1. GİRİŞ

Son yüzyılda insan nüfusu neredeyse yedi kat artmış ve sanayileşmenin bir sonucu olarak da bu nüfusun büyük çoğunluğu mega kentlerde yaşamaya başlamıştır. Aşırı kentleşme tabiatın doğal hidrografik yapısını bozmakta ve yüzeyin geçirimsiz malzemeler ile kaplanmasına sebep olmaktadır. Bu durumda yağışların önemli bir kısmı yüzey akışına geçmekte ve özellikle kent alanlarının düşük kotlarında aşırı birikmelere sebep olmaktadır. Aşırı yağışın bir sonucu olan taşkın, insanların yaşamlarını, sosyo-ekonomik ve ekolojik sistemleri etkileyen dünya çapındaki en yıkıcı afetlerden biridir (Alexander, Faulkner, Viavattene ve Priest, 2011). Bu yıkıcı doğal afet önemli miktarda can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Gelecekte de taşkın riski, sosyo-ekonomik gelişme ve iklim değişikliği nedeniyle artmaya devam edecektir (Hans, Arthur ve Ligtoet, 2014; Winsemius ve diğerleri 2015). Taşkın riskini azaltma stratejilerinin geliştirilmesi ve insan güvenliğinin sağlanması, çeşitli kurum ve kuruluşların yanı sıra devletlerin ortak çabasını gerektirmektedir (Ntajala, Lampteyb, Mahamadou ve Nyarkod, 2017). Taşkınlar ve diğer doğal tehlikelerden kaynaklanan kayıpları en aza indirmek için kamu kurumu ve kuruluşları, üniversiteler çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu sayede can ve mal kayıpları azaltılabilir, altyapının hasar görmesinin ve diğer ekonomik zararların önüne geçilebilir.

Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi raporuna göre (CRED, 2018) 2016-2017 yılları arasında en sık meydana gelen afet taşkın iken; 2017 yılında fırtınadan sonra ikinci sırada gelmiştir. Ayrıca 2017 yılında meydana gelen taşkınlardan ötürü ölüm ve etkilenenlerin sayısı sırasıyla 3000 ve 50 milyondan fazladır (CRED, 2018).

Gökçe (2008)'e göre Türkiye'de deprem ve heyelandan sonra taşkın en önemli üçüncü afettir. Kömüçü (2011)'ye göre Marmara Bölgesi çevresinde 8-12 Eylül 2009 tarihleri arasında yaşanan taşkın afeti, 1957 Ankara ve 1995 İzmir taşkın afetlerinden sonra ülkemizde en fazla can kaybının yaşandığı sel afetlerinden biridir. Bunda iklim değişimin etkisi büyüktür ve önümüzdeki on yıl içerisinde taşkınların daha çok görüleceği beklenmektedir. Afet öncesi etkin planlama için üniversiteler ile kamu kurum ve kuruluşlarının birlikte çalışmaları gerekmektedir.

Çeşitli platformlardan coğrafi veri toplama yöntemlerinin (ör. uydu ve hava radar ve optik algılayıcıları, yersel mobil, web ve akıllı telefon uygulamaları ile gönüllü katkısı, vb.) artışına

paralel olarak veri işleme, analiz ve sunum yöntemleri de günümüzde giderek gelişmiştir. Sıklıkla toplanabilen bu verilerin ve coğrafi teknolojilerin kullanılması ile etkin kentsel planlama ve afet yöntemlerinin de geliştirilmesi mümkündür.

Bu çalışmada, Ankara'da son yıllarda sıklıkla meydana gelen taşkınlar dikkate alınarak, kentsel planlama ve afet yönetimi çalışmalarına altlık olmak üzere Ankara şehri için taşkın duyarlılık haritası üretilmiştir. Hacettepe Üniversitesi ve Harita Genel Müdürlüğü (HGM) arasında düzenlenmiş olan "Fotogrametri ve Afet Araştırmaları Alanlarında İşbirliği Protokolü" kapsamında, ülkemizin en köklü harita üretim kurumu ile bir araştırma üniversitesinin ortak yürüttüğü bu çalışmada, Ankara üzerinde 2008 yılında alınan hava fotoğrafları ve çeşitli yıllarda manuel ve yarı-otomatik yöntemlerle üretilmiş olan ve TopoVT veritabanında vektör olarak saklanan arazi kullanımı ve sayısal arazi modeli verileri kullanılmıştır. Veriler yer bilimleri uzmanları tarafından irdelenerek karar destek sürecinde ihtiyaç duyulanlar seçilmiştir. Karar destek yöntemi olarak Değiştirilmiş AHP (M-AHP) (Nefeslioğlu, Sezer, Gokceoglu ve Ayas, 2013) kullanılmıştır. Karar destek sürecinde kullanılan her parametre uzman görüşleri doğrultusunda ağırlıklandırılmış (puanlandırılmış) ve her bir parametrenin alabileceği en yüksek puanın belirlendiği yarı-otomatik bir süreç oluşturulmuştur. Hava fotoğraflarından üretilen ortofoto ve sayısal yüzey modeli (SYM) 3 boyutlu görselleştirilerek uzmanlara ek görsel yorumlama ortamı yaratılmış ve sonuçların değerlendirilmesi sağlanmıştır. Üretilen taşkın duyarlılık haritasının çeşitli planlama çalışmaları için altlık olarak kullanılabilmesi öngörülebilmektedir.

2. VERİ VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada izlenen aşamalar temel olarak dörde ayrılabilir. Birinci aşamada veri elde etme ve dönüştürme işlemleri gerçekleştirilmiştir. HGM tarafından üretilen fotogrametrik uçuş verileri ve TopoVT veritabanında yer alan vektör veriler ile bir veritabanı oluşturulmuştur. Vektör veriler kullanılarak sayısal arazi modeli (SAM) ve SAM'den ise su toplama alanları, eğim, yükseklik sınıfları, topografik nemlilik indeksi haritaları üretilmiştir. Ayrıca TopoVT veritabanındaki havza verileri işlenerek nehirler, kuru ve kalıcı derelere mesafeler hesaplanmıştır. Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'ne ait Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü kullanılarak kente ait litoloji verileri temin edilmiştir. Ayrıca ücretsiz sağlanan ve 24 Ağustos 2018 tarihinde elde edilen Landsat-8 uydu görüntüleri USGS

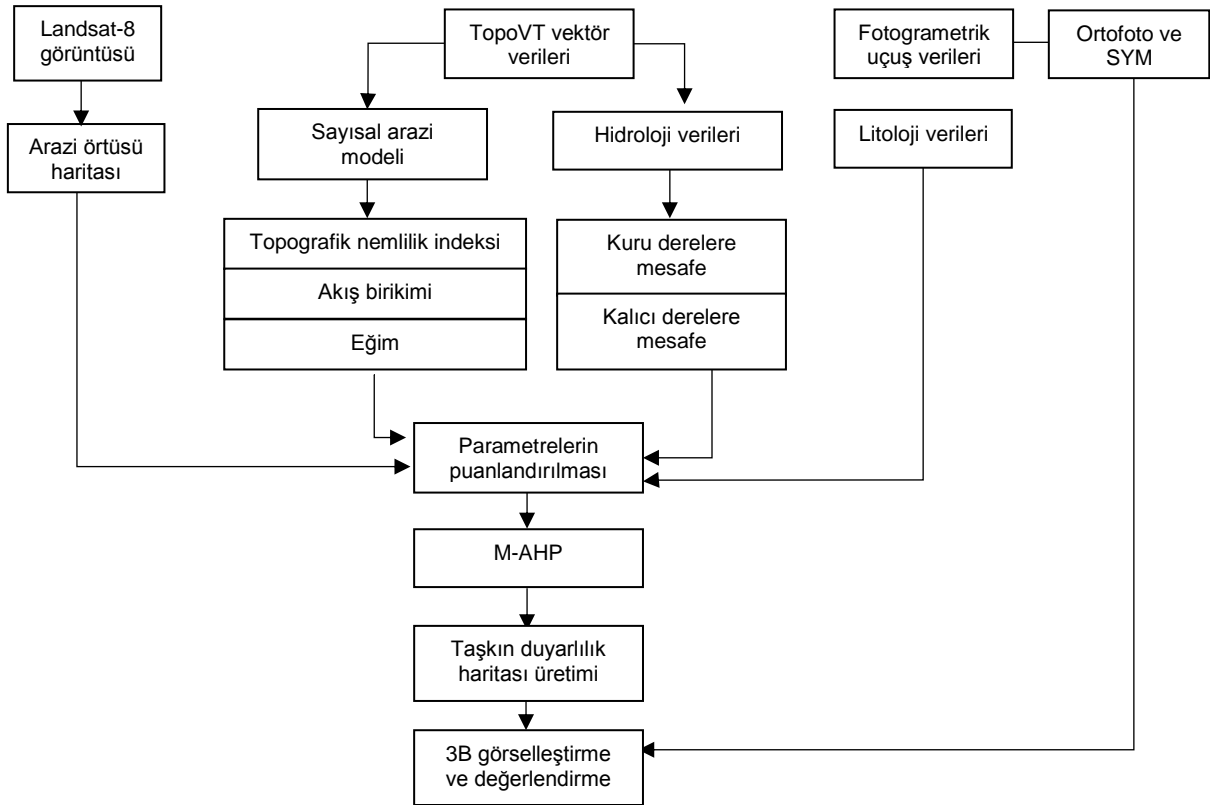
EarthExplorer sitesinden indirilerek Ankara'ya ait arazi örtüsü haritası üretilmiştir. Bu görüntülere maksimum olabilirlik yöntemiyle denetimli sınıflandırma uygulanmış ve sulak alan, açık alan, yeşil alan, sanayi bölgesi, yerleşim bölgesi ve yol sınıfları belirlenmiştir. Bu sınıflandırma işleminin doğruluğunu değerlendirmek için tabakalı örnekleme yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemde görüntü ile sınıflandırma sonucu elde edilen arazi örtüsü haritası arasındaki değerler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda genel doğruluk 0.812, kappa ise 0.766 olarak hesaplanmıştır.

İkinci aşamada taşkın için koşul faktörleri değerlendirilip, puanlar belirlenmiş; söz konusu puanlar uzman görüşü olarak Sözer, Kocaman, Nefeslioğlu, Fırat ve Gökçeoğlu (2018) tarafından sunulmuştur. Üçüncü aşamada, karar destek sistemi olan Değiştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP) kullanılarak Ankara'nın yoğun yerleşim alanlarında taşkın duyarlılığı haritası üretilmiştir. Son aşamada, üretilen harita 3B görsel haritalar ile değerlendirilmiştir. Temel iş akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.

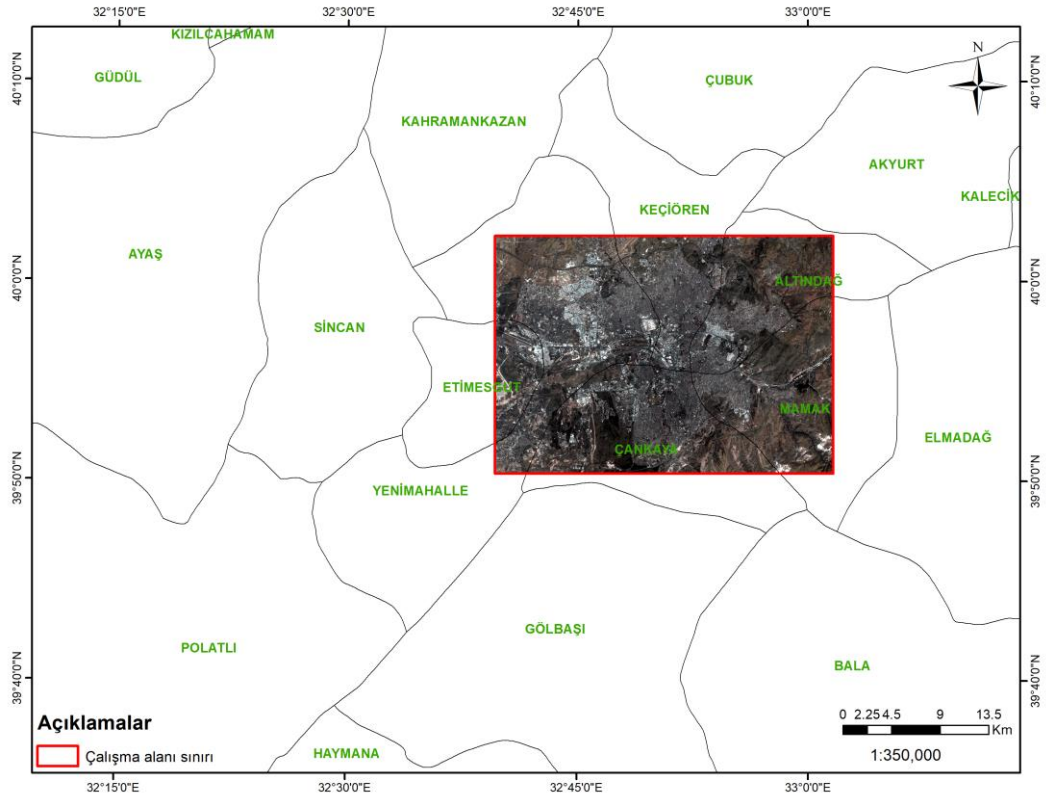
a. Veri Setleri

Harita Genel Müdürlüğü tarafından UltraCam-X kamerası kullanılarak 2008 yılında

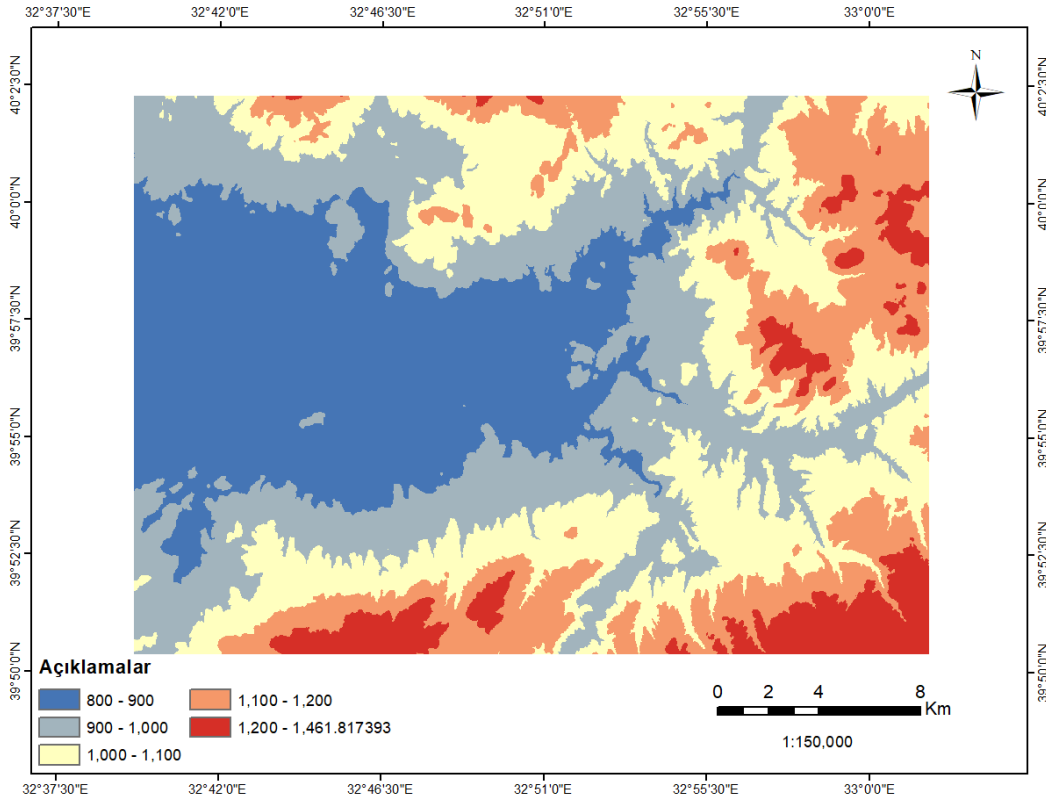
çekilen sayısal hava fotoğrafları, iç ve dış yöneltme parametreleri ile birlikte alınmış, Ankara'ya ait sayısal yükseklik modeli (SYM) ve ortofotoharita üretilmiştir. Ayrıca HGM tarafından oluşturulan ve 352 farklı nesne bilgisi içeren Topografik Vektör Veritabanı'ndan (TopoVT) vektör verileri alınmıştır. Bu verilerden hidrolojik katmanlar (göller, nehirler, kuru dereler, vb.) ön işlemeden geçirilerek grid veriye (TIFF formatında raster) dönüştürülmüş ve M-AHP süreci için kullanıma hazır hale getirilmiştir. Münhani verileri kullanılarak sayısal arazi modeli (SAM) üretilmiş ve SAM'dan akış birikimi (su toplama bölgeleri), eğim, yükseklik sınıfları ve topografik nemlilik indeksi verileri masaüstü CBS yazılımları kullanılarak yine grid yapısında üretilmiştir. Litoloji verileri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün Yer Bilimleri Veri Portalı'ndan (Akbaş ve diğerleri, 2002) alınmıştır. Bu çalışmada litoloji parametresinin değerlendirilmesinde ana litoloji türlerinin nisbi geçirgenlikleri değerlendirilmiştir (Bell, 2007). Ayrıca Landsat-8 uydu görüntüleri kullanılarak arazi örtüsü için maksimum olabilirlik yöntemiyle denetimli sınıflandırma yapılmıştır. Çalışma alanının sınırları Şekil 2'de gösterilmiştir. Üretilen veriler Şekil 3a-g'de aralığında gösterilmektedir.



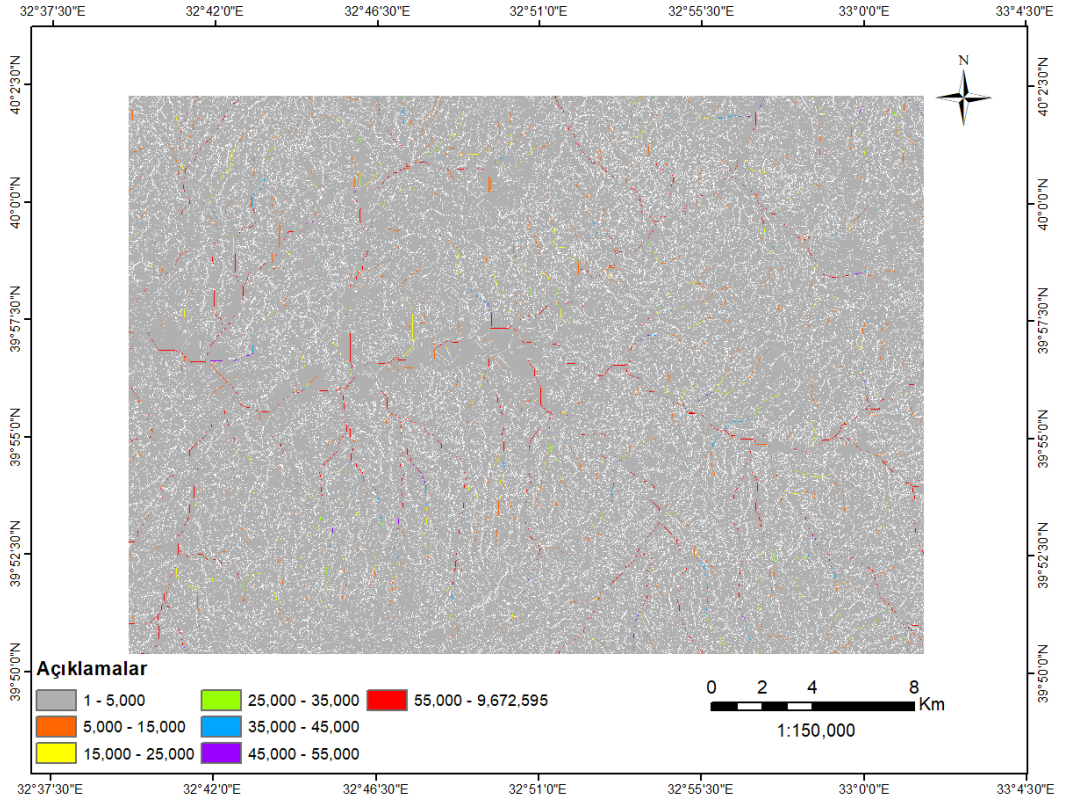
Şekil 1. İş akış şeması



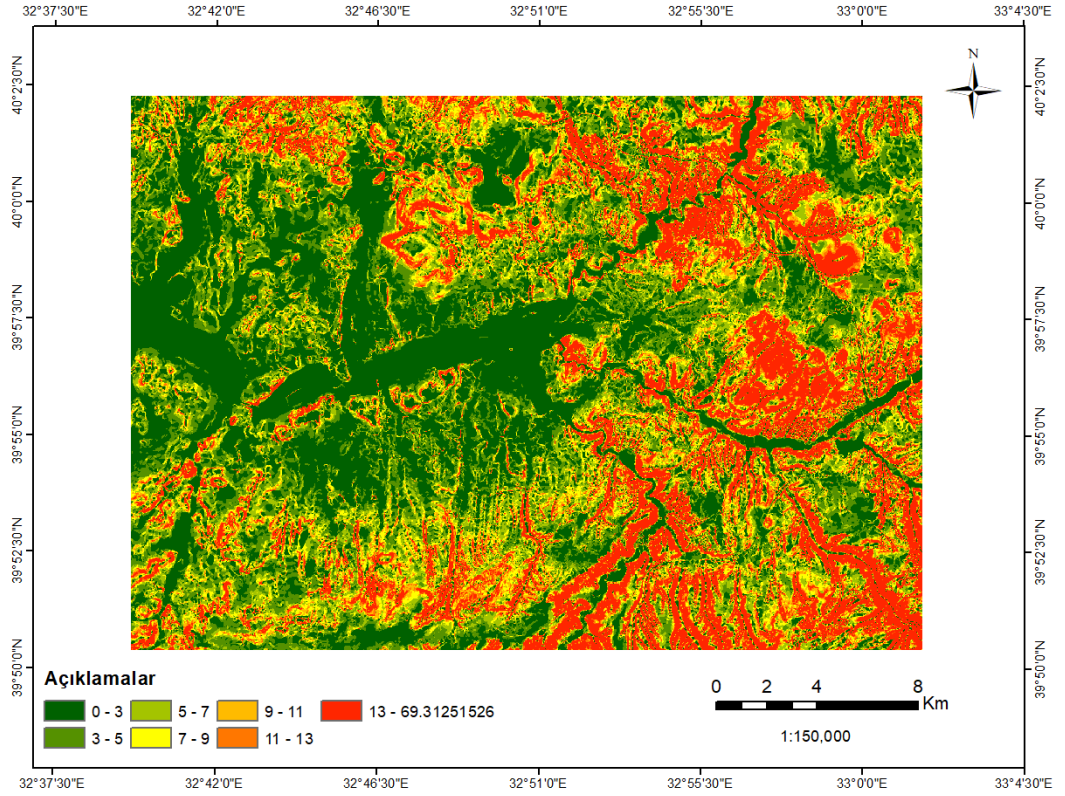
Şekil 2. Seçilen çalışma alanının sınırları.



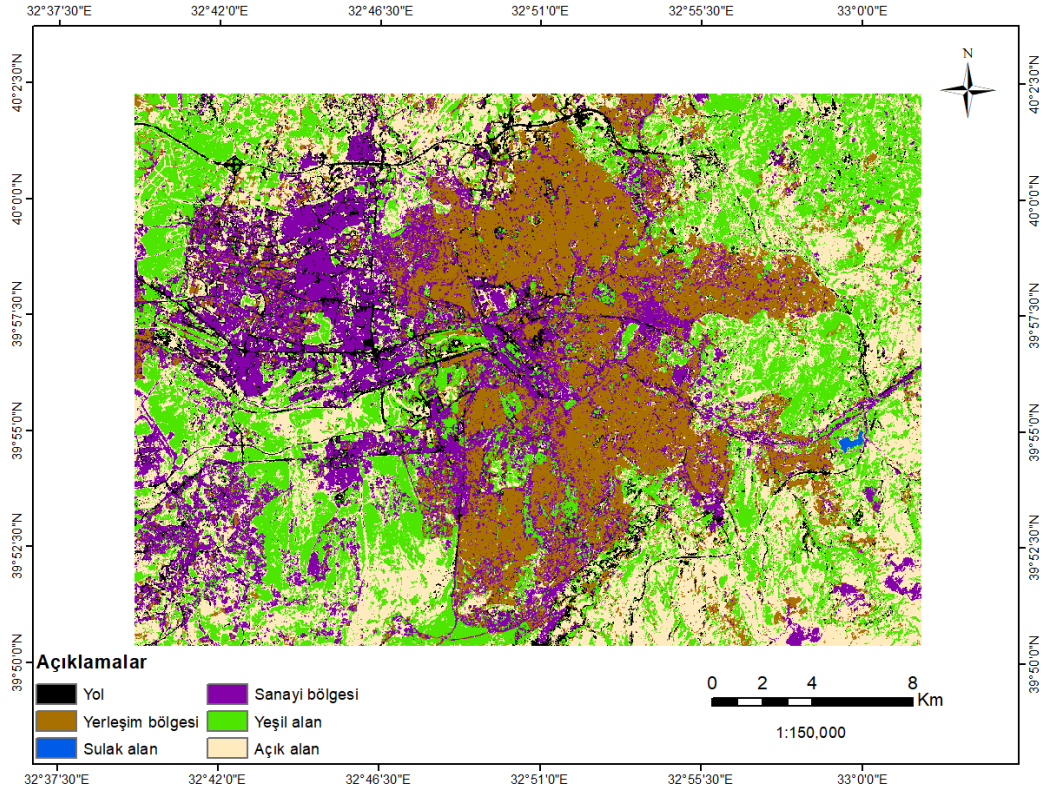
Şekil 3-a. Sayısal arazi modeli (SAM)



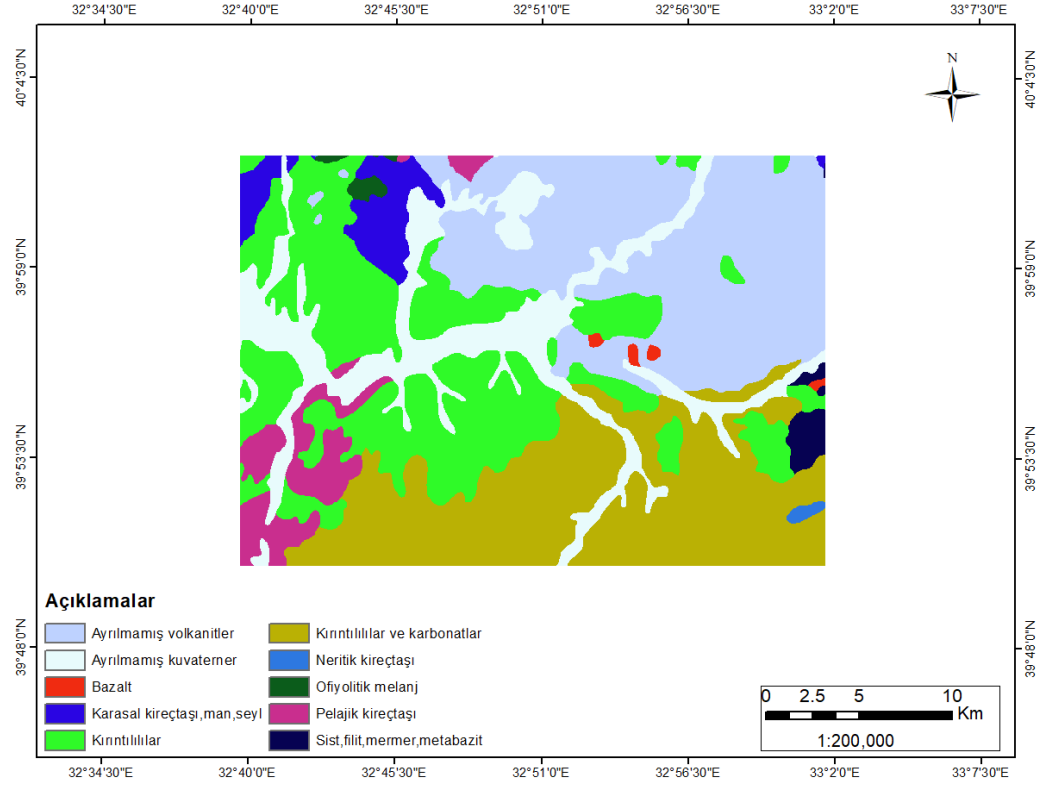
Şekil 3-b. Akış birikimi (su toplama bölgeleri).



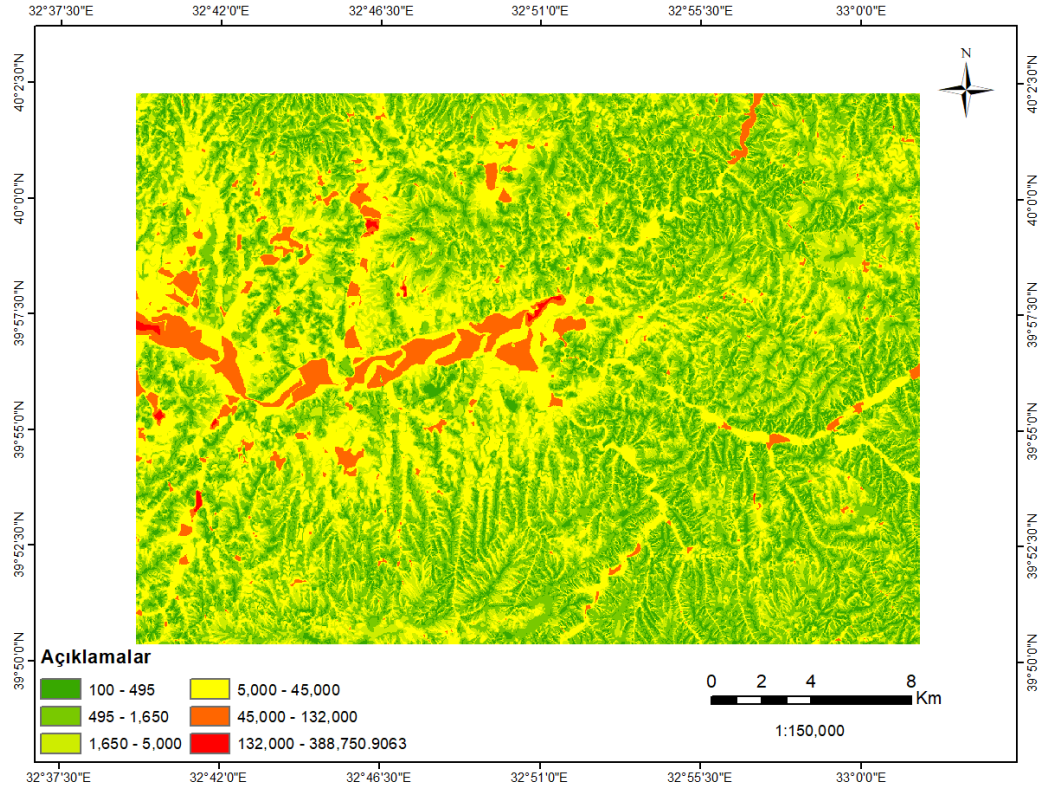
Şekil 3-c. Eğim haritası (birim derece olarak verilmiştir).



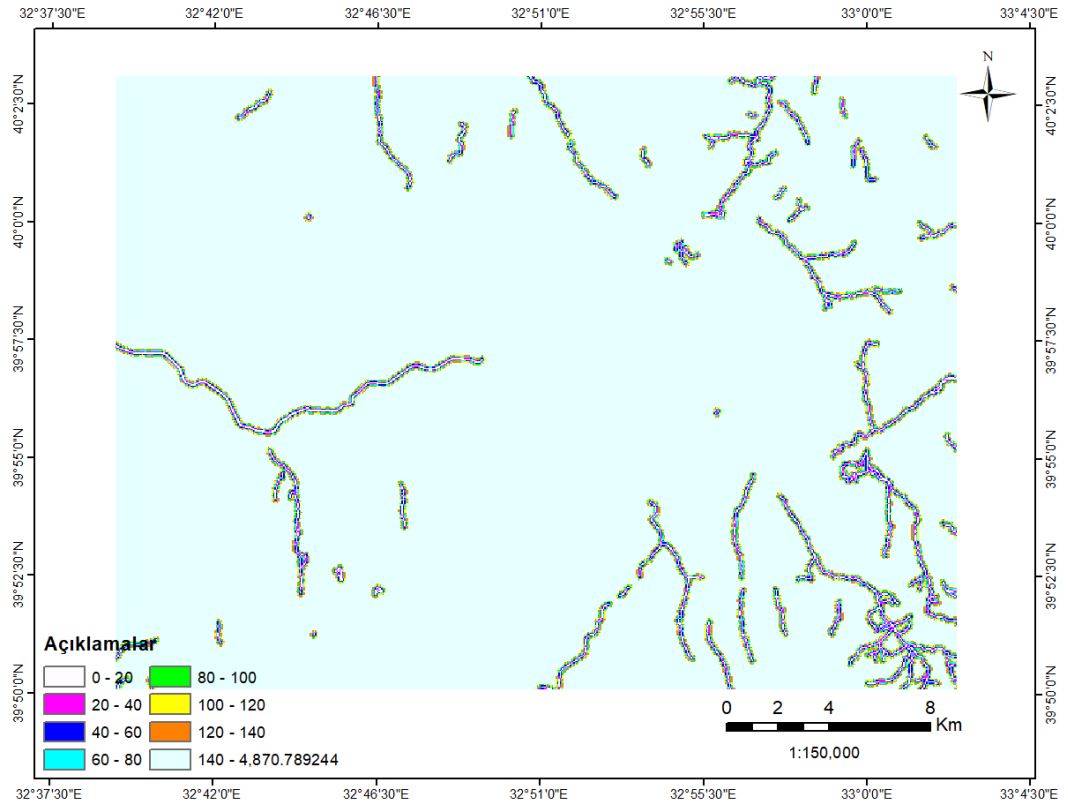
Şekil 3-ç. Landsat-8 görüntüsü sınıflandırılarak elde edilmiş arazi örtüsü.



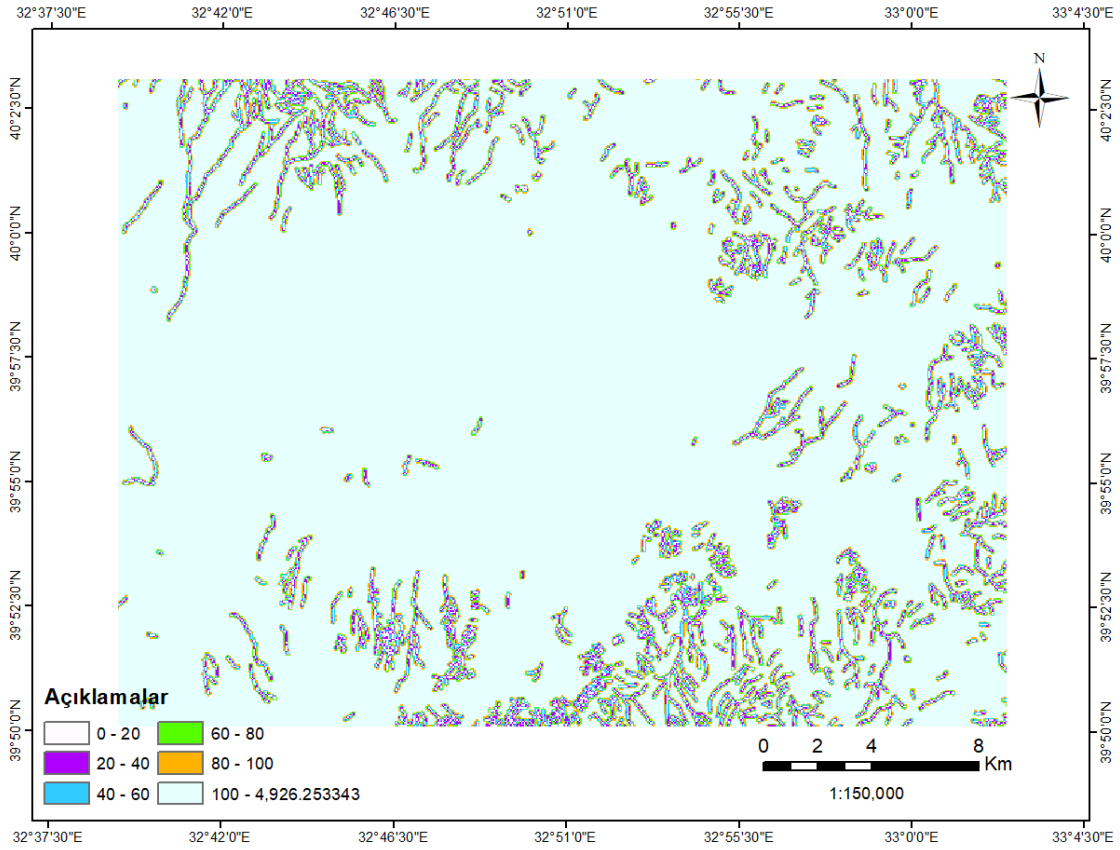
Şekil 3-d. Litoloji haritası (Akbaş ve diğerleri, 2002'den sayısallaştırılmıştır).



Şekil 3-e. Topografik nemlilik indeksi (TWI).



Şekil 3-f. Kalıcı (sürekli akışa sahip) derelere mesafe.



Şekil 3-g. Kuru derelere mesafe

b. Koşul Parametreleri

Taşkın sürecini izlemek için kayaç yapısının infiltrasyon değeri, yüzeysel akış ve su birikimi kriterleri belirlenerek değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler temel olarak aşağıdaki gibi verilmiştir (Sözer ve diğerleri, 2018):

- R1. Eğer “düşük infiltrasyon” varsa o zaman “yüksek yüzey akışı” veya “yüksek birikim”
- R2. Eğer “yüksek infiltrasyon” varsa o zaman “düşük yüzey akışı” veya “düşük birikim”
- R3. Eğer “düşük yüzey akışı” varsa o zaman “yüksek infiltrasyon” veya “yüksek birikim”
- R4. Eğer “yüksek yüzey akışı” varsa o zaman “düşük infiltrasyon” veya “düşük birikim”
- R5. Eğer “düşük birikim” varsa o zaman “yüksek infiltrasyon” veya “yüksek yüzey akışı”
- R6. Eğer “yüksek birikim” varsa o zaman “düşük infiltrasyon” veya “düşük yüzey akışı”

Yukardaki koşullardan da görüldüğü gibi, taşkın duyarlılığın değerlendirilmesi çok boyutlu ve bir çok kriterle sahip bir işlemdir. Yukarıda verilen fiziksel süreçleri dolaylı olarak etkilediği kabul edilen topografik, hidro-topografik, jeolojik ve çevresel parametreler değerlendirilmiştir. Topografik yükseklik ve eğim değişimi bu çalışmada ele alınan ilk jeomorfometrik faktör grubudur. Buna göre; taşkın duyarlılığının, düşük rakımlarda ve eğim değişiminin düşük olduğu değerlerde yüksek olması beklenir (Sözer ve diğerleri, 2018). Hidrolojik parametreleri değerlendirmek için, hidro-topografik parametrelerin akış birikimi, kalıcı ve kuru derelere olan uzaklığı ve topografik nemlilik indeksi dikkate alınmıştır. Grid SAM kullanılarak akış birikimi, her bir piksel için o pikselden yukarıda olan piksellerin sayısını gösteren değer olarak tanımlanabilir (Kennedy, 2009). Akış birikimi değerinin artmasına bağlı olarak taşkın duyarlılığının da artması beklenir.

Kalıcı ve kuru dereler taşkın duyarlılığının değerlendirilmesinde önemli verilerdir ve buralara yakın olan bölgelerin taşkına duyarlılığı daha fazladır (Sözer ve diğerleri, 2018). Kuru olan havzaların da taşıyabileceği belirli bir kapasite

olduğu için taşkın duyarlılığına dahil edilmeleri gerekmektedir. Topografik nemlilik indeksi, suyun genel olarak birikebileceği ve toprağın daha doygun olabileceği çukurları ifade eder (Wilson ve Gallant, 2000). Dolayısıyla topografik nemlilik indeksinin artmasıyla taşkın duyarlılığı da artar. Diğer yandan, her kayacın farklı geçirgenliği olduğu için taşkın duyarlılığının belirlenmesinde litoloji önemli bir parametredir (Sözer ve diğerleri, 2018). Kayaç tiplerinin geçirgenliğinin artmasına bağlı olarak, taşkın duyarlılığının azalması beklenir (Sözer ve diğerleri, 2018).

Arazi örtüsü ise çevresel faktör olarak değerlendirilmiş ve bitki örtüsü, yüzey yapıları ve arazinin kullanımı hakkında bilgi veren tematik bir harita Landsat-8 görüntüleri sınıflandırılarak üretilmiştir. Yerleşim yerleri ve sanayi bölgelerinin geçirimsiz olduğu varsayılmıştır ve taşkın duyarlılığının bu bölgelerde daha yüksek olması beklenmiştir.

c. Değiştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP)

Analitik Hiyerarşik Süreci (AHP) Saaty (1980) tarafından geliştirilen bir karar destek sistemidir. M-AHP, Nefeslioğlu ve diğerleri (2013) tarafından geliştirilen, değiştirilmiş bir AHP yaklaşımıdır. M-AHP, AHP yöntemindeki olası uzman hatalarını telafi etmeyi amaçlamaktadır. M-AHP ile AHP arasındaki farklar (Nefeslioğlu ve diğerleri, 2013):

- (i) M-AHP'de ikili karşılaştırma matrisleri uzman tarafından oluşturulmaz. Uzman sadece belirlenmiş olan parametrelerin alabileceği en büyük puanı tanımlar.
- (ii) Bir diğer temel fark ise; her bir parametrenin karar noktaları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada her bir parametre kendi en büyük puanı üzerinden normalleştirilir. Bu işlem sonucu $[0, 1]$ aralığında normalleştirilmiş bir sayı doğrusu üzerinde her bir parametrenin karar noktalarına olan doğrusal mesafeleri değerlendirilir.

M-AHP karar sistemini uygulamadan önce ilk olarak parametrelerin puanlandırılması yapılır. Parametre puanlandırma işlemi bu alanda uzman kişiler tarafından belirlenmiştir. Bu parametre puanları normalize edilerek Normalleştirilmiş Parametre Puan Farkındaki karşılıkları bulunarak Karşılaştırma Matrisi oluşturulur. Bu işlemin ardından faktörlerin önem dağılımları belirlenip faktör karşılaştırmalarındaki tutarlılığı hesaplanır.

Daha sonra faktörlerin karar noktalarındaki önem dağılımları bulunur. Bu çalışmada koşullandırma faktörleri puanları Sözer ve diğerleri (2018) tarafından belirlenmiş olup Tablo 1'de gösterilmiştir. Netcad yazılımı içinde yer alan Analist modülü kullanılarak M-AHP işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Avdac ve diğerleri, 2014; Sezer, Nefeslioğlu ve Osna, 2017) ve bu çalışmada da sonuçlar Analist modülü kullanılarak elde edilmiştir. Veriler kullanılmadan önce, modül içinde, en düşük çözünürlüğe sahip olan arazi örtüsü (30 m) haritası ile aynı yersel çözünürlüğe indirgenmiştir.

Tablo 1. M-AHP yönteminde kullanılan parametreler ve ağırlıkları.

Parametreler	
Akış birikimi (Su toplama bölgeleri)	
Sınıf	Puan
< 5000	1
5000 - 15000	3
15000 - 25000	5
25000 - 35000	7
35000 - 45000	9
45000 - 55000	13
> 55000	17
Eğim (derece)	
Sınıf	Puan
< 3	13
3 - 5	11
5 - 7	9
7 - 9	7
9 - 11	5
11 - 13	3
> 13	1
Yükseklik (m)	
Sınıf	Puan
< 900	9
900 - 1000	7
1000 - 1100	5
1100 - 1200	3
> 1200	1
Kalıcı derelere mesafe (m)	
Sınıf	Puan
< 20	15
20 - 40	13
40 - 60	11
60 - 80	9
80 - 100	7
100 - 120	5
120 - 140	3
> 140	1
Kuru derelere mesafe (m)	
Sınıf	Puan
< 20	11
20 - 40	9
40 - 60	7
60 - 80	5
80 - 100	3
> 100	1
Arazi örtüsü	
Sınıf	Puan
Sulak alan	13
Açık alan	7

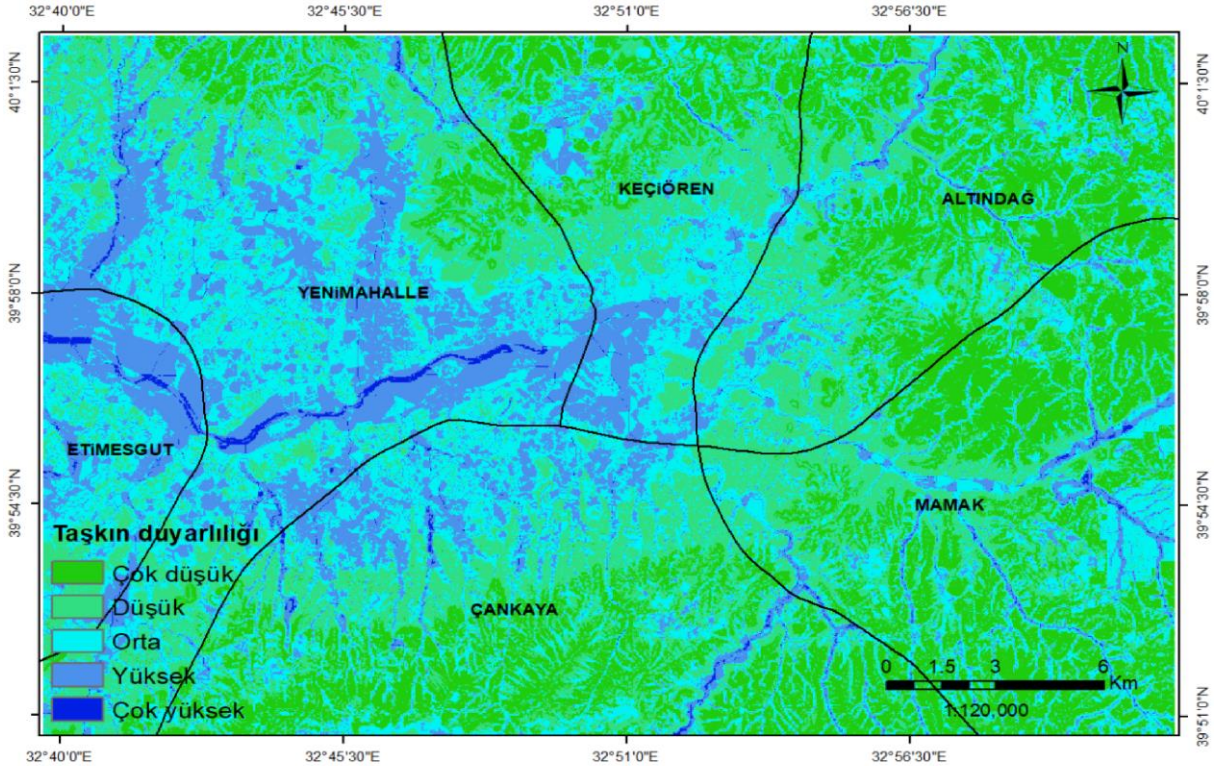
Sanayi bölgesi	11
Yerleşim bölgesi	11
Yeşil alan	5
Yol	11
<hr/>	
Topografik nemlilik indeksi	
Sınıf	Puan
< 495	1
495 - 1650	5
1650 - 5000	9
5000 - 45000	11
45000 - 132000	13
> 132000	15
<hr/>	
Litoloji	
Sınıf	Puan
Ayrılmamış Kvarterner	1
Kırıntılılar	3
Karasal kireçtaşı, marn, şist	9
Neritik kireçtaşı	5
Karbonatlar ve kırıntılar	5
Pelajik kireçtaşı	7
Şist, filit, mermer, metabazalt	11
Ofiyolitik melanj	9
Bazalt	5
Ayrılmamış volkanitler	5

3. UYGULAMA SONUÇLARI

M-AHP sonucunda taşkın duyarlılığı fazla bulunan alanlar beş sınıfa ayrılmış ve çok düşük,

düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen kararın yüzdeleri eşit aralıklar göz önüne alınarak 5 duyarlılık sınıfında yeniden sınıflandırılmıştır. Bu şekilde taşkın duyarlılık olasılıkları belirlenmiş olup, Şekil 4'de verilen Ankara kenti taşkın duyarlılık haritası olarak üretilmiştir. Taşkın duyarlılığı açısından en kritik alanlar Yenimahalle ve Etimesgut ilçelerinin geniş alüvyal vadi tabanları olarak bulunmuştur.

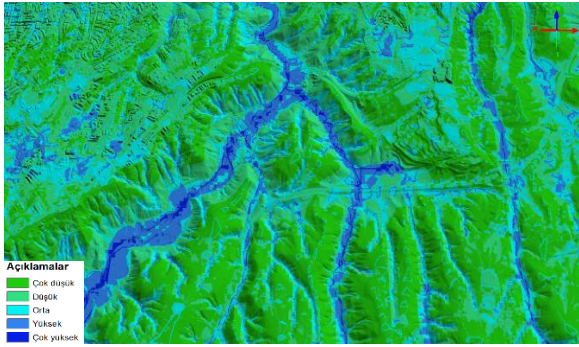
SYM üzerine üretilen taşkın duyarlılık haritası ve ortofoto giydirilerek 3B görselleştirme ortamı oluşturulmuş ve sonuçlar uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. 3B görselleştirme ortamının, iki boyutlu haritalara göre, daha etkili ve verimli bir yorumlama aracı olduğu görülmüştür. Yenimahalle ve Etimesgut ilçelerinin bir kısmının SYM üzerine ortofoto giydirilmiş hali Şekil 5-a'da ve taşkın duyarlılık haritası giydirilmiş hali Şekil 5-b'de gösterilmiştir. Çankaya ilçesinin daha genç ve dar alüvyal vadilerinin SYM üzerine giydirilmiş ortofoto görüntüsü Şekil 6-a'da ve taşkın duyarlılık haritası Şekil 6-b'de gösterilmiştir. Yüksek ve çok yüksek taşkın duyarlılığı sınıflarının SAM ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Ankara taşkın duyarlılık haritası



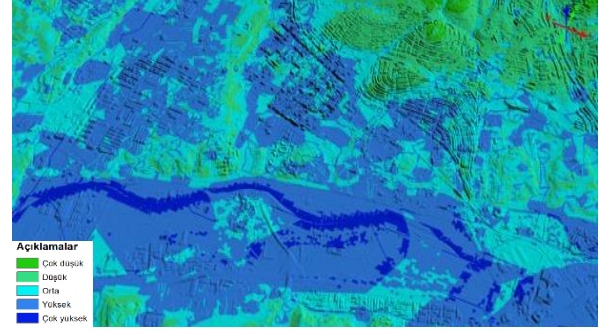
Şekil 5-a. Yenimahalle ve Etimesgut ilçelerinin bir kısmının SYM üzerine ortofoto giydirilmiş görüntüsü.



Şekil 5-b. Yenimahalle ve Etimesgut ilçelerinin bir kısmının SYM üzerine taşkın haritası giydirilmiş görüntüsü.



Şekil 6-a. Çankaya ilçesinin bir kısmının SYM üzerine ortofoto giydirilmiş görüntüsü.



Şekil 6-b. Çankaya ilçesinin bir kısmının SYM üzerine taşkın haritası giydirilmiş görüntüsü.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, taşkın duyarlılık haritası üretimi için coğrafi verilere, konumsal analizlere ve uzman görüşüne dayalı bir yöntem önerilmiş ve Ankara şehir merkezi için uygulanmıştır. Elde edilen ilk sonuçlar orta ölçekte üretilmiştir. Ortaya çıkan bulgular gelecekteki çalışmalar için umut verici sonuçlar olarak değerlendirilmektedir. Bu tür doğal tehlikeler için duyarlılık haritalarının üretimi ve altlık olarak kullanımı ile, özellikle kentsel planlama ve afet yönetimi çalışmalarının veriminin ve etkinliğinin artması beklenmektedir.

Çalışmada önerilen coğrafi ön işleme adımları ve M-AHP yönteminin uygulanması kolaydır ve mevcut ticari ve açık kaynaklı coğrafi yazılımlarla sonuçlar üretilebilmektedir. Bu çalışmada uzmanlar tarafından önerilen puanlama sistemi literatüre ve uzman tecrübelerine dayandırılmaktadır. Bu puanlama sisteminin açık ve anlaşılabilir olması nedeniyle, uzman olmayan kişilerin de bu yaklaşımı kullanabileceği öngörülebilmektedir. Bu çalışmada yağış miktarı kullanılmamıştır. Diğer bir ifade ile taşkına duyarlı alanlar aşırı yağışın miktarına bazı küçük değişiklikler gösterebilir ancak bu çalışmada elde edilen harita eğer bir taşkın meydana gelirse hangi alanlarda etkili olabileceğini göreceli olarak ifade etmekte olup mutlak değildir. Dolayısıyla, gelecekte yapılacak modelleme çalışmalarında yağış miktarı ve kanalizasyon sistemlerinin performansı da dikkate alınarak değerlendirmelerin daha gelişmiş biçimde yapılması mümkündür.

İlerde çalışma ölçeğindeki artışa ve veri çözünürlüğüne bağlı olarak, daha hassas çıktılar alınabileceği açıktır. Ayrıca taşkın duyarlılığı alanlarının optik ve radar uydu verileriyle üretilecek taşkın haritaları ile denetlenmesi çalışmanın ilerleyen aşamalarında ele alınacaktır.

TEŞEKKÜR


Harita Genel Müdürlüğü'ne Hacettepe Üniversitesi ile "Fotogrametri ve Afet Araştırmaları Alanlarında İşbirliği" protokolü çerçevesinde vermiş olduğu sürekli destek için teşekkür ederiz. Ayrıca yazılım desteği için Netcad firmasına da teşekkür ederiz.


Bu çalışmanın ilk sonuçları 20-23 Kasım 2018 tarihleri arasında Dehradun, Hindistan'da düzenlenen ISPRS V. Komisyon Sempozyumu'nda sunulmuştur (Sözer ve diğerleri, 2018).

ORCID

Burhan SÖZER  <https://orcid.org/0000-0002-2330-4141>

Sultan KOCAMAN  <https://orcid.org/0000-0002-2775-7914>

Hakan A. NEFESLİOĞLU  <https://orcid.org/0000-0003-1117-6012>

Orhan FIRAT  <https://orcid.org/0000-0001-5775-2420>

Candan GÖKÇEOĞLU  <https://orcid.org/0000-0003-4762-9933>

KAYNAKLAR

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E. ve diğerleri (2002). *Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara*. Erişim Adresi: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr>

Avdac, D., Poyraz, M., Nefeslioglu, H.A., Sezer, E.A., Toptas, T.E., Celik, D., ... Gokceoglu, C. (2014). Modified analytical hierarchy process (M-AHP) based river-line flood hazard assessment module running on GIS: Netcad architect environment. *EGU General Assembly 2014, Wien, Austria*. Vol. 16, EGU2014-2348. Erişim Adresi: <http://portal.netcad.com.tr/>

Bell, F.G. (2007). *Basic Environmental and Engineering Geology*, Whittles Publishing, CRC Press, Taylor & Francis Group, Scotland, 332. doi:10.1680/geot.2008.D.005

CRED, (2018). Natural Disasters 2017. EM-DAT 02/07/2018. Erişim Adresi: https://cred.be/sites/default/files/adsr_2017.pdf

Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A. (2008). *Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri*. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara. Erişim Adresi: <https://www.afad.gov.tr/>

Kennedy, M. (2009). *Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS: A Workbook Approach to Learning GIS*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Kömüşçü, A.Ü., Çelik, S. ve Ceylan, A. (2011). 8-12 Eylül 2009 Tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde Meydana Gelen Sel Olayının Yağış Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 209-220. Erişim Adresi: <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/degisik/marmara.pdf>

Alexander, M., Hazel, F., Viavattene, C. ve Priest, S. (2011). *A GIS-based flood risk assessment tool; supporting flood incident management at the local scale*, Proof Concept Report. the Flood Risk Manag. Res. Consort. (FRMRC2) Erişim Adresi: <https://pdfs.semanticscholar.org/f8b4/705e30441c67d8d07dc89305ccebdb550e19.pdf>

Nefeslioglu, H.A., Sezer, E.A., Gokceoglu, C. ve Ayas, Z. (2013). A Modified Analytical Hierarchy Process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments. *Computers & Geosciences*, 59, 1-8. doi: 10.1016/j.cageo.2013.05.010

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. NewYork: McGraw-Hill International Book Co.

Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A. ve Osna, T. (2017). An expert-based landslide susceptibility mapping (LSM) module developed for Netcad Architect Software, *Computers & Geosciences*, 98, 26-37. doi: 10.1016/j.cageo.2016.10.001

Sözer, B., Kocaman, S., Nefeslioglu, H.A., Fırat, O. ve Gokceoglu, C. (2018). *Preliminary investigations on flood susceptibility mapping in Ankara (Turkey) using modified analytical hierarchy process (M-AHP)*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Dehradun, India. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-361-2018

- Ntajala, J., Lamptey B.L., Mahamadouc, L.B. ve Nyarkod B.K. (2017). Flood disaster risk mapping in the Lower Mono River Basin in Togo, West Africa. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 93–103. doi: 10.1016/j.ijdr.2017.03.015
- Wilson, J.P. ve Gallant, J.C. (2000). *Terrain analysis principles and applications*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Winsemius, H.C., Aerts, J., Beek, v., Ludovicus P.H., Bierkens, M.F.P., Bouwman, ... Van Vuuren, D.P. (2016). Global drivers of future river flood risk. *Natural Climate Change*, 6 (4), 381–385. doi:10.1038/nclimate2893.
- Hans, V., Arthur C.P. ve Ligtoet, W. (2014). On the relation between weather-related disaster impacts, vulnerability and climate change. *Climate Change*, 125 (3–4), 461–477. doi:10.1007/s10584-014-1179-z.
- Zimmermann, M. ve Margreth, M. (2015). International frameworks for disaster risk reduction. Useful guidance for sustainable mountain development? *Mountain Research and Development*, 35(2), 195–202. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-15-00006.1.