



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

**ULUDAĞ KÜTLESİ KUZEYDOĞUSUNDA ŞEHİRLEŞMENİN
OLDUĞU ALÜVYAL FANLAR ÜZERİNDE TAŞKIN DUYARLILIK
ANALİZİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Furkan ÇORAPÇI

Bursa 2022



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANABİLİM DALI

**ULUDAĞ KÜTLESİ KUZEYDOĞUSUNDA ŞEHİRLEŞMENİN OLDUĞU
ALÜVYAL FANLAR ÜZERİNDE TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

FURKAN ÇORAPÇI

Danışman:

PROF. DR. HASAN ÖZDEMİR

BURSA 2022

ÖZET

Furkan ÇORAPÇI
Bursa Uludağ Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Coğrafya Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR
XI + 105 SAYFA

ULUDAĞ KÜTLESİ KUZEYDOĞUSUNDA ŞEHİRLEŞMENİN OLDUĞU ALÜVYAL FANLAR ÜZERİNDE TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ

Alüvyal fanlar dünya üzerinde birçok noktada özellikle yerleşme ve tarım faaliyetleri açısından tercih edilen morfolojik birimlerin başında gelmektedir. Ancak alüvyal fanların ve besleyici havzalarının sahip olduğu morfolojik özelliklerden dolayı bu alanlar sık sık sel-taşkınların görüldüğü sahalar olarak karşımıza çıkar. Bu çalışmanın amacı; üzerinde yoğun kentleşmenin olduğu Marmara Bölgesi'nin en yüksek kütlesi olan Uludağ'ın kuzey-kuzeydoğu yamaçlarında yer alan alüvyal fanların ve besleyici havzalarının taşkın üretme potansiyellerinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada kullanılan temel altlık veriler; 1:5000 ölçekli planlardan elde edilen 5m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi, farklı tarihli Corine arazi kullanım verileri, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile arazi çalışmalarıdır. Oluşturulan 5 metre çözünürlüklü SYM'den drenaj havzaları ve alüvyal fan alanları üretilmiştir. Drenaj havzalarına vektör veri tabanlı morfometrik analizler(çizgisel, alansal ve rölyef) uygulanmış ve sonuçlar taşkın duyarlılıkları açısından değerlendirilmiştir. Alüvyal fan alanlarında kullanılan yöntemlerin başında ise havza/fan morfometrik analizleri gelmektedir. Bu kapsamda alüvyal fanların alan, uzunluk, eğim, akış süreci gibi bazı morfometrik parametrelerini kullanarak, gerisindeki drenaj havzaları ile olan morfometrik ilişkileri ortaya konulmuştur. Alüvyal fan alanlarında morfometrik yöntemler dışında beşeri kaynaklı olan arazi kullanım özellikleri, fan yüzeyindeki karayollarının uzanış doğrultuları, köprülerin varlığı ve fan alanlarındaki drenaj alanlarında yapılan yanlış veya yetersiz dere ıslah çalışmalarının da etkisi taşkın duyarlılığı açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, Uludağ kütlesinin kuzeyinde batıdan doğuya doğru Gökdere, Akçaalan, Devrengeç, Çukuryayla, Kaplıkaya, Erikli, Kocabalıklı, Küçükbalıklı, Çardakseki, Değirmenönü ve Deliçay drenaj havzalarının varlığı tespit edilmiştir. Bu havzaların önünde ise alansal olarak birbirinden farklı dördü alüvyal yelpaze dördü ise alüvyal koni olan 8 adet alüvyal fan sistemi tespit edilmiştir. Fanları besleyen havzaların taşkın duyarlılığı açısından Deliçay ve Gökdere yüksek, Kaplıkaya, Çardakseki, Akçaalan, Devrengeç, Küçükbalıklı, Değirmenönü, Kocabalıklı, Erikli ve Çukuryayla havzaları orta duyarlılık derecesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu havzaların taşkın üretme potansiyeline karşılık olarak alüvyal fanlarda ise Erikli, Devrengeç ve Çukuryayla çok yüksek, Kaplıkaya, Gökdere ve Akçaalan yüksek, Balıklıdere ve Deliçay orta duyarlılık değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. **Anahtar Kelimeler:** Bursa, Uludağ, CBS, Alüvyal Fan, Taşkın Duyarlılık, Morfometri, Jeomorfometri

ABSTRACT

Furkan ÇORAPÇI

Bursa Uludag University

Social science Institution

Geography Department

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR

XI +105 pages

FLOOD SUSCEPTIBILITY ANALYSIS ON URBANIZED ALLUVIAL FANS IN THE NORTHEAST OF ULUDAG MASS

Alluvial fans are one of the most preferred morphological units in many places worldwide, especially in terms of settlement and agricultural activities. However, due to the morphological features of alluvial fans and feeder basins, flooding occurs frequently. This study investigates the flood generation potential of alluvial fans and feeder basins located on the north-northeast slopes of Uludağ, the highest mass of the Marmara Region, where urban settlement is intense. The research employs the 5m resolution Digital Elevation Model (DEM) data obtained from 1:5000 scale plans, different dated Corine land use data, high-resolution satellite images, and findings from field studies. Drainage basins and alluvial fan areas are produced using 5m resolution Digital Elevation Model (DEM) data. Vector data-based morphometric analyses (linear, areal, and relief) are applied to the drainage basins, and the analysis results are discussed in terms of flood vulnerability. Basin/fan morphometric analysis is well-known and widely accepted among the methods used in alluvial fan area studies. In this context, the morphometric parameters of alluvial fans, such as area, length, slope, and flow process, examine their morphometric relations with the drainage basins behind them. Apart from morphometric methods in alluvial fan areas, the role of human-induced land-use characteristics, the direction of the highways on the fan surface, the presence of bridges and the effects of improper or insufficient stream improvements in drainage areas are discussed in terms of floods. In the research findings, Gökdere, Akçaalan, Devrengeç, Çukuryayla, Kaplıkaya, Erikli, Kocabalıklı, Küçükbalıklı, Çardakseki, Değirmenönü and Deliçay drainage basins from west to east in the north of Uludağ mass has been determined. In front of these basins, eight alluvial fan systems, four of which are alluvial fans and four of which are alluvial cones, are determined as spatially different. In terms of flood vulnerability of the basins feeding the fans, Deliçay and Gökdere were found as high, Kaplıkaya, Çardakseki, Akçaalan, Devrengeç, Küçükbalıklı, Değirmenönü, Kocabalıklı, Erikli and Çukuryayla basins as medium susceptible. In response to the flooding potential of these basins, Erikli, Devrengeç and Çukuryayla are listed as very high, Kaplıkaya, Gökdere and Akçaalan as high, Balıklıdere and Deliçay as medium-vulnerable alluvial fans. Kaplıkaya basin and its fan have the highest flood generation capacity.

Keywords: Bursa, Alluvial fan, flood susceptibility, Geographical Information Systems.

ÖNSÖZ

“Uludağ Kütlesi Kuzeydoğusunda Şehirleşmenin Olduğu Alüvyal Fanlar Üzerinde Taşkın Duyarlılık Analizi” adlı bu çalışma özellikle ülkemizde ağırlıklı olarak taşkın duyarlılık analizlerinde salt havza bazlı yapılan çalışmalardan farklı olarak taşkına duyarlılıkları ile bilinen alüvyal fan alanlarını da içerisine alarak Havza/Fan ilişkisini bir bütün olarak incelemesi açısından ilk olma özelliği taşır.

Alüvyal fan alanları ülkemizde ve dünyada yerleşme açısından elverişli yerler olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak alüvyal fan alanları gerisindeki drenaj havzaları ile birlikte düşünüldüklerinde morfolojik anlamdaki yüzeysel akış belirsizlikleri ve yanlış arazi kullanımları dolayısıyla taşkınlara karşı son derece hassastırlar. Ülkemizin en kalabalık nüfusa sahip 4.büyük şehri Bursa’dır. Nüfus yoğunluğunun fazlalığına ek olarak Marmara bölgesinin en yüksek dağlık kütlesi olan Uludağ’ın(2543m) dik yamaçları ve ani pik akımlar üretebilecek drenaj havzaları önündeki alüvyal fanlar üzerinde kurulan şehirde, alüvyal fanlar ve taşkınlar konusu maalesef yeterince tartışılmamıştır. Her yıl özellikle bahar aylarında Uludağ’ın zirvelerinde meydana gelen ani kar erimeleri ve bahardaki sağanak yağışlardan sonra özellikle fanların tepe kısımlarındaki yerleşim yerlerinde sıkça su baskını ve dere taşması gibi haberlere rastlanmaktadır. Bu çalışmada temel amaç bu noktaya vurgu yapıp Türkiye’nin en önemli şehirlerinden olan Bursa’nın üzerine yerleştiği morfolojik birimin detaylı şekilde incelenip ileride oluşabilecek zararların en aza indirilmesidir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri’nin aktif olarak kullanıldığı bu çalışmada sayısal veri tabanı ve verilere ait sözel kısımların oluşturulması çalışmanın ana iskeletini oluşturmuştur. Yapılan analizlerin hemen hepsinin sonuçları bizzat arazi çalışmaları ile desteklenmiş ve ofis çalışmaları ile saha uygulamaları birlikte yürütülmüştür.

Çalışmanın oluşturulmasında başından sonuna kadar ilgisini ve emeğini üzerimde hissettiğim değerli danışman hocam Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR’e sonsuz teşekkür ederim. Çalışmalar esnasında Coğrafi bilgi sistemlerindeki bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan sevgili dostum Recep GÜVENÇ’e teşekkür ederim. Bu günlere gelmemde maddi manevi emeklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim. Son olarak sevgi ve ilgisi ile her zaman yanımda olan ve benimle birlikte sürecin bütün zorluklarına göğüs geren sevgili eşim Canan ÇORAPÇI ’ya minnettarım.

Furkan ÇORAPÇI

2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
FOTOĞRAF TABLOSU	ix
ŞEKİLLER TABLOSU	ix
TABLolar TABLOSU	xi
GİRİŞ	1
AMAÇ VE KAPSAM	3
LİTERATÜR TARAMASI	5
MATERYAL VE YÖNTEM	9

BİRİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMA ALANI GENEL FİZİKİ ÖZELLİKLER

1. JEOLojİK ve TEKTONİK ÖZELLİKLER	13
1.1. Stratigrafik Ve Litolojik Özellikler	13
1.2. Tektonik Özellikler	17
2. MORFOLOJİK ÖZELLİKLER	20
3. İKLİM ÖZELLİKLERİ	23
3.1. Sıcaklık	24
3.2. Yağış	24
4. TOPRAK VE BİTKİ ÖRTÜSÜ ÖZELLİKLERİ	25
4.1. Toprak Özellikleri	25
4.2. Bitki Örtüsünün Dağılışı Ve Özellikleri	28

4.3.Bitki Örtüsünün Zaman İçerisindeki Değişim ÖZELLİKLERİ.....	30
---	----

İKİNCİ BÖLÜM

TAŞKIN DUYARLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

1.DRENAJ HAVZALARINDA TAŞKIN DUYARLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	32
1.1.Eğim Özellikleri	32
1.2.Bakı Özellikleri	35
1.3.Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (Sp_1)	36
1.4.Toprak Nemlilik İndeksi (Tw_1)	37
1.5.Akarsu Boyuna Profil Özellikleri.....	39
1.6.Havza Morfometrik Özellikleri	41
1.6.1.Çizgisel Morfometri	44
1.6.2.Alansal Morfometri	47
1.6.3.Rölyef Morfometri.....	53
2.ALÜVYAL FANLARDA TAŞKIN DUYARLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	60
2.1.Havza/Fan Morfometrisi	60
2.2.Beşeri Faktörler	66

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ

1.DRENAJ HAVZALARININ TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ	78
2.ALÜVYAL FANLARIN TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ	81
3.HAVZA/FAN TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ.....	84
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKÇA	91

FOTOĞRAF TABLOSU

Fotoğraf 1. 2021 Nisan ayında çalışma sahasında meydana gelen sel-taşkın haberleri....	5
Fotoğraf 2. Deliçay havzasındaki alüvyal depolar	16
Fotoğraf 3. Uludağ kuzey yamacı ile dar ve derin vadiler oluşturan drenaj havzaları ...	20
Fotoğraf 4. Deliçay vadisinin yön değiştirdiği konum.....	22
Fotoğraf 5. Deliçay vadisinden Uludağ'ın kuzey yamaçları	28
Fotoğraf 6. Yapay kanallar ve oluşan geçirimsiz yüzeyler	68
Fotoğraf 7. 2011 yılındaki selde yıkılan Seyitabat köprüsünün yeni hali.....	71
Fotoğraf 8. Alüvyal fanlar üzerindeki köprülere örnekler.	72
Fotoğraf 9. Alüvyal fanlar üzerindeki akışa engel ana caddeler	73
Fotoğraf 10. Alüvyal fanlar üzerindeki akarsularda daraltma ve betonlama çalışması örnekleri	75
Fotoğraf 11. Deliçay havzasındaki taşkın regülatörünün zaman içerisindeki değişimi..	76
Fotoğraf 12. Gelen alüvyonlarla zaman içerisinde dolan taşkın bekletme havuzu.....	77

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1. Lokasyon haritası	4
Şekil 2. D8 modeli akarsu ağı ve akarsu havzası üretim aşamaları	10
Şekil 3. Havza çıkış noktaları	11
Şekil 4. Çalışma alanı ve yakın çevresi stratigrafisi	15
Şekil 5. Anadolu levhası ve çevresinin ana kenet kuşakları ve kıtasal blokları haritası.	18
Şekil 6. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve çalışma alanı yakın çevresi Kuaterner Fay Hatları	19
Şekil 7. Çalışma alanı büyük toprak grupları haritası	27
Şekil 8. Çalışma sahası arazi kullanım haritası	29
Şekil 9. 1990-2018 yılları arası drenaj havzalarında arazi kullanım haritası	30
Şekil 10. Drenaj havzalarının eğim haritası.	34
Şekil 11. Drenaj havzalarının bakı haritası.	36
Şekil 12. Drenaj havzalarının SPI haritası.	37
Şekil 13. Drenaj havzalarının TWI haritası.....	38
Şekil 14. Denge profilinin oluşturulmasındaki karmaşık ilişkiler.	39
Şekil 15. Çalışma alanındaki akarsuların boyuna profilleri.	40

Şekil 16. Drenaj havzalarında çatallanma oranı (R_b) dağılışı.	45
Şekil 17. Drenaj havzalarında uzunluk oranı (R_L) dağılışı.	46
Şekil 18. Drenaj havzalarında tekstür oranı (T) dağılışı.	47
Şekil 19. Drenaj havzalarında drenaj yoğunluğu (D_d) dağılışı.	49
Şekil 20. Drenaj havzalarında akarsu sıklığının (F_s) dağılışı.	50
Şekil 21. Drenaj havzalarında havza şeklinin (R_f) dağılışı.	51
Şekil 22. Drenaj havzalarında uzunluk oranı (R_e) dağılışı.	52
Şekil 23. Drenaj havzalarında havza rölyefi (B_h) dağılışı.	54
Şekil 24. Drenaj havzalarında rölyef oranı (R_h) dağılışı.	55
Şekil 25. Drenaj havzalarında engebelilik değerinin (R_n) dağılışı.	56
Şekil 26. Drenaj havzalarında akım toplanma zamanı (T_c) dağılışı.	57
Şekil 27. Drenaj havzalarındaki hipsometrik eğriler ve hipsometrik integral (H_i) dağılışı.	59
Şekil 28. Alüvyal fanlarda akış süreçlerinin dağılışı.	63
Şekil 29. Fan eğimlerine bağlı olarak alüvyal yelpaze ve konilerin dağılışı.	65
Şekil 30. Alüvyal yelpaze ve konilerin boyuna profilleri.	65
Şekil 31. Alüvyal fanda zamanla yatak içerisinde yerleşme.	67
Şekil 32. Alüvyal fanlar arazi kullanım haritası 2020.	69
Şekil 33. Alüvyal fanlar arazi kullanım haritası 1990.	70
Şekil 34. Alüvyal fanlar üzerinde yol-köprü-yapay kanal dağılışı.	74
Şekil 35. Drenaj havzalarının taşkın duyarlılık haritası.	80
Şekil 36. Alüvyal fanlarda taşkın duyarlılık haritası.	83
Şekil 37. Havza/fan taşkın duyarlılık haritası.	87

TABLolar TABLOSU

Tablo 1. Drenaj havzalarında ormanlık alanlar ve oranları.....	31
Tablo 2. Drenaj havzalarına ait eğim sınıflarının yüzdelik dağılışıları.....	35
Tablo 3. Drenaj havzalarının temel morfometrik özellikleri	42
Tablo 4. Çalışmada kullanılan morfometrik parametreler ve matematiksel tanımlamalar	43
Tablo 5. Çizgisel morfometrik parametrelere ait sonuçlar.....	45
Tablo 6. Alansal morfometrik parametrelere ait sonuçlar	48
Tablo 7. Rölyef morfometrik parametrelere ait sonuçlar.....	53
Tablo 8. Fan morfometrik parametrelerine ait sonuçlar.....	61
Tablo 9. Alüvyal fanlardaki morfolojik şekil ve eğim tablosu	66
Tablo 10. Alüvyal fanların 2020 yılına ait şehirleşme oranları	69
Tablo 11. Drenaj havzaları taşkın duyarlılık parametrelerine ait değerler.....	79
Tablo 12. Drenaj havzaları sayısal etki faktörleri.	79
Tablo 13. Drenaj havzaları duyarlılık değerleri ve tanımlamaları	80
Tablo 14. Alüvyal fanların taşkın duyarlılık parametreleri.....	81
Tablo 15. Alüvyal fanların sayısal etki faktörleri	81
Tablo 16. Alüvyal fanların sayısal duyarlılık değerleri ve tanımlamaları	82

GİRİŞ

Yeryüzünde meydana gelen doğa olayları, aslında doğanın kendi iç dengesindeki düzenlemelerden meydana gelip, beşeri faaliyetlerin zarar görmesi durumunda doğal afet olarak adlandırılmaktadır (Kılıçer, Değirmencioğlu & Yayvan, 2000: 28). Ülkemizde meydana gelen taşkınlar depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına neden olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Taşkınlar dünyanın hemen her yerinde ekonomik ve sosyal hayatı etkileyen en önemli doğal afettir (Ceos, 2003: 218). Taşkın oluşumundaki en yaygın sebeplerin başında, kuvvetli sağanak yağışların olduğu sırada mevcut drenaj sistemlerinin yetersizliği ve ana akarsu kolunun tamamen suyla dolu olması ile meydana gelen ve yüzeysel akışla oluşan taşkınlardır (Onuşluel & Harmancioğlu, 2002: 420-421).

Taşkınların meydana gelmesindeki temel etken her ne kadar yağış olarak bilinse de akarsu havzalarındaki doğal morfolojinin tahrip edilmesi, insan faaliyetleri neticesinde arazi kullanımının artması ve akarsu yataklarında yapılan yanlış uygulamalar da taşkınların meydana gelmesinde etkili olmaktadır. Bu durum, normal şartlarda havzaların ve akarsu sisteminin rahatlıkla drene edebileceği yağışları bile, taşkın oluşturabilecek bir duruma getirmesi açısından önemlidir (Özdemir, 2007: 167). Havzadaki ana akarsuya katılan yan kollar da, taşkınların meydana gelmesinde tetikleyici bir unsurdur. Yan kolların havza özellikleri, şekil özellikleri ve morfometrik özellikleri ana akarsuyu farklı şekillerde etkilemekte ve ana akarsuyun taşkın üretme potansiyelinin artmasına doğrudan katkı sunmaktadırlar (Özdemir, 2006: 24).

Son yıllarda yapılan jeolojik, jeomorfolojik ve hidrolojik çalışmalara bakıldığında büyük çoğunluğunun doğal tehlikeler ve onun riskleri üzerinde çalışıldığı görülmektedir (Aleotti & Chowdhury, 1991: 22). Bununla birlikte alüvyal fanlara ve fanların taşkın duyarlılıkları ve yamaç tehlikelerine nispeten daha az dikkat çekilmiştir (Santangelo, vd., 2011: 2770). Ancak alüvyal fan yüzeylerinde çok karmaşık olan akış belirsizliği olası bir taşkın durumunda meydana getirebileceği zararların öngörülebilirliğinin az olması ve genellikle alüvyal fan alanlarının antropojenik faaliyetler açısından da tercih

edilen yerler olması dolayısıyla bu morfolojik birimlerim detaylı ve güvenilir bir şekilde üzerinde çalışılma gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (NRC,1996: 58).

Dünya üzerinde son birkaç yüzyıl boyunca havza fan sistemleri çok ciddi hasarlara maruz kalmış, aynı zamanda da önemli can ve mal kayıplarına neden olan sel taşkın olayları meydana getirmiştir. Ancak ölümlü sel ve taşkın olaylarının yaşanma periyotları 50 yıldan fazla zaman aldığı için başta yerel yönetimler olmak üzere bölgede yaşayan insanlar tarafından da bu alanların gerçek tehlike koşulları kavranamamıştır (Santangelo, vd., 2011: 2766). Alüvyal fan alanları, eğitim değerlerinin düşük olması nedeniyle şehirleşme ve tarımsal üretim için önemli noktalardır. Ancak yine aynı nedene bağlı olarak taşkın duyarlılığı anlamında da riskli yerler içerisinde yer alırlar.

Bu çalışmanın amacı yüksek derecede şehirleşmeye maruz kalmış alüvyal fan alanlarının taşkın duyarlılıklarını analiz etmektir. Duyarlılık kelime itibarıyla yerel anlamdaki arazi koşullarında meydana gelen tehlike olgusunun olasılığı olarak yorumlanır. Genellikle heyelan çalışmalarında kullanılan duyarlılık analizi aslında her türlü afeti kapsayacak şekilde genişletilebilir. Bir anlamda gerçekleşecek olan tehlikenin etkilenme derecesi gibi de düşünülebilir. Duyarlılık, olayın zamansal olasılığı ile ilgilenmez yani tehlikenin ne zaman ve ne aralıklarla olacağı gibi kavramları duyarlılık başlığı altında göremeyiz (Santangelo, vd., 2011: 2765).

Çalışma alanı içerisinde yer alan Uludağ kütlesinin kuzeyindeki alüvyal fan alanları (Piedmont alanları) özellikle dağın kuzey ve kuzeydoğu yamacında yaygın morfolojik birimlerdir. Genellikle bölgenin granit ve gnayslarıyla oluşmuş olan dik yamaçlarını çevreleyen ve dağ önlerindeki yamaçlarda eğimin azaldığı yerlerde oluşan alüvyal fanlar, yüksek akış enerjisine sahip ve kısa sürelerde tepki meydana getirebilecek drenaj havzalarından beslenmektedir. Havzaların akımları genellikle düşük ve geçici olup esas olarak yoğun yağış zamanlarında ve özellikle ilkbahar aylarındaki kar erime dönemlerinde güçlü bir şekilde akış özelliği gösterirler. Drenaj havzaları boyutları itibarıyla kısa özellik göstermelerine rağmen özellikle yağışın bol olduğu ve ani kar erimelerinin meydana geldiği ilkbahar dönemlerinde şehirleşmiş alüvyal fan bölgelerindeki yerleşmeler için son derece tehlikeli olan, moloz akışları ve taşkın üretme potansiyelleri taşımaktadırlar. Yapılan birçok çalışma, havza ve alüvyal fan

sistemlerinin anlaşılması için ayrıntılı şekilde jeomorfolojik ve morfometrik analizler yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte beraberinde sedimantolojik ve tarihsel verileri de analize dâhil etmek, yapılan çalışmaların daha nitelikli olmasına katkı sağlamaktadır (Melton, 1965: 7; Santangelo, vd, 2012: 810).

AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmada amaç dünya üzerinde birçok noktada özellikle yerleşme ve tarım faaliyetleri açısından son derece elverişli yerler olarak tercih edilen ve artan şehirleşme ile birlikte nüfus ve göç olgusunun getirileri noktasında her geçen gün daha fazla baskı altında kalan alüvyal fan alanlarına dikkat çekmektir. Bu kapsamda bu alanlarda sıklıkla yaşanan sel ve taşkın olaylarına karşı geliştirilebilecek önlemleri tartışarak özellikle ülkemizdeki bu alanların varlığına dikkat çekmektir. Bu ilkeler doğrultusunda ülkemizdeki en önemli örneklerinin başında gelen ve Bursa il sınırları içerisinde yer alan özellikle yoğun şehirleşmenin görüldüğü alüvyal fan sistemleri ve bu sistemleri besleyen drenaj havzaları konu olarak seçilmiştir. Bunda amaç drenaj havzalarının ve alüvyal fanların morfolojik ilişkilerini ortaya koyarak taşkın duyarlılıklarını tespit etmektir. Çalışma konusu tercihindeki en önemli hususlardan bir diğeri ise Türkiye genelindeki alüvyal fanlar içerisinde bu denli yoğun şehirleşmiş bir alüvyal fan mekanizmasının bulunmamasıdır. Çalışma sahasında yapılan birçok araştırmada alüvyal malzemenin varlığı ve ova tabanındaki dağılışı hakkında çeşitli sonuçlar ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmaların birçoğunda ne yazık ki alüvyal fan morfolojisinden ziyade salt ova tabanındaki alüvyal dolgu malzemesi ile ilgilenilmiş ancak fan mekanizmalarının oluşum ve gelişim süreçleri üzerinde çok fazla durulmamıştır. Oysaki alüvyal fan alanları pasif şekilde duran dolgu malzemeleri değildir. Arkalarındaki drenaj havzaları ile birlikte düşünüldüklerinde aktif morfolojik birim ve başlı başına bir uygulamalı jeomorfoloji konusudur.

Yukarıdaki ilkeler ve çalışma alanındaki önceki çalışmaların eksiklikleri göz önüne alınarak, Marmara bölgesinin güneyinde yer alan Uludağ kütlesinin kuzey ve kuzeydoğusunda yer alan drenaj havzaları ve havza eğimlerinin azaldığı noktalarda meydana gelen alüvyal fan alanları çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı sınırlarını güneyde Uludağ'ın su bölümü çizgisi, batıda Gökdere havzasının yayılımı

alanlarındaki yerleşmelerde ve tarım alanlarında her yıl sel ve taşkın haberlerine tanık olunmaktadır (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1. 2021 Nisan ayında çalışma sahasında meydana gelen sel-taşkın haberleri

Özellikle alüvyal fan sistemlerinin kendi iç dinamiklerinden olan yüzeysel akış belirsizliği nedeniyle meydana gelebilecek bir taşkın durumunda hangi alanların ne denli etkileneceği noktasında ortada net bir açıklama yoktur. Bu kapsamda yapılan çalışma sonucunda, en azından hangi alanların taşkına daha duyarlı olduğunun tespiti yapılarak bu anlamdaki bir eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

LİTERATÜR TARAMASI

Uzay araştırmaları, Biyoloji, Matematik ve Tıp gibi başta fen bilimleri çalışmaları olmak üzere birçok araştırmada kullanılan morfometrik analizler zaman içerisinde jeomorfolojik çalışmalar içerisinde Jeomorfometri olarak adlandırılmaya başlamıştır. Özellikle fiziki coğrafya başta olmak üzere mühendislik ve birçok beşeri bilimlerle birlikte kullanılan morfometri, yazılım sistemleri ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Jeomorfometri, arazinin yüzeysel özelliklerini sayısal anlamda ifade etmeye yarayan algoritmalar ve matematiksel ifadeler geliştirmiştir. Çalışma sahasındaki bazı değişkenleri kullanarak bunların birbirleriyle olan ilişkilerini analiz etmeye yarayan Jeomorfometri daha nicel araştırmalar yapılmasının önünü açmıştır. Jeomorfometrik analizler hidrolojik, Jeolojik, tektonik vb. birçok yüzeysel arazi probleminin

çözülmesine katkı sunmuştur(Özdemir, 2007; Pike vd., 2009; Youssef vd.,2011; Alam vd.,2021)

Morfometriyi özellikle drenaj havzalarını ilgilendiren bilimsel analizlerde uygulayabilir kılan öncü araştırmacı, modern hidroloji biliminin atası kabul edilen Robert Elmer Horton'dur. Dünya literatürüne çalışmaları ile önemli katkılar sunan Horton (1932,1945), özellikle drenaj havzalarının karakterini ve bu karakter sonucunda oluşan morfolojik süreçleri anlama noktasında önemli bulgular ortaya koymuştur. Hortun'un devamında Strahler (1952) ise hipsometrik eğriyi ve Strahler akarsu dizin yöntemlerini ortaya koyarak drenaj havzalarında morfometrik çalışmaların gelişmesine katkı sunmuştur. Çalışmaların çeşitlenmesi ve artan ilgi ile birlikte Melton (1957), iklim ve morfometrik parametreleri bir arada kullanarak yeni bir bakış açısı ile havza morfometrik çalışmalarını geliştirmiştir. Shreve (1966) ise Strahler'den farklı olarak literatüre Shreve metodu olarak geçen yeni bir akarsu dizinleme metodu geliştirmiştir.1976'lı yıllara gelindiğinde morfometri ve taşkınlar konusu sıkça yayın yapılan jeomorfolojik konulardan biri olmuştur. Bu kapsamda taşkın ve morfometri anlamındaki ilk yayın Patton (1976) tarafından yapılmıştır. Geçmişten günümüze gelen bu morfometrik çalışmaların birikimi Keller ve Pinter (1996), Bloom (2002) ve Pike (2009) tarafından kitaplar haline dönüştürülerek morfometrik çalışmaların kronolojisi bir araya toplanmıştır.

Morfometrik analizler kullanılarak drenaj havzalarındaki jeomorfolojik süreçlerin sayısal anlamdaki tanımlamaları yapılmaya çalışılmıştır. Havza karakterlerinin ortaya konulmasında ve taşkın konulu çalışmalarda sıklıkla kullanılan morfometrik parametrelerin başında çizgisel, alansal ve rölyef morfometrik özellikler gelmektedir. Bu özellikler kullanılarak yapılan çalışmalardan Literatürdeki en önemlilerine bakıldığında Patton ve Baker (1976), Baumgardner (1987), Costa (1987), Gardiner (1990), Reddy (2004), Özdemir ve Bird (2009), Abdel-lattif ve Sherief (2010), Arnous vd.(2011), Özdemir (2011), Sunkar ve Tonbul (2011), Youssef vd. (2011), Pincot-Miller vd. (2012), Taylor vd. (2014), Altaf vd. (2014), Ibrahim vd., (2014), Yunus vd.(2014), Farhan vd. (2015), Taha vd. (2017), Kabite vd, (2018), Alam vd. (2021) gelmektedir.

Ülkemizde lokal anlamda yapılan ilk morfometrik çalışmalar Turoğlu vd. ile birlikte 1994 yılında yapılmıştır. Bu yıllardan sonra gerek hidroloji gerek tektonik açıdan morfometrik çalışmalar birçok araştırmacı tarafından sıklıkla kullanılmıştır. 2009 yılına gelindiğinde morfometrik analizler Özdemir (2009), tarafından coğrafi bilgi sistemleri yöntemleri kullanılarak yapılmış ve çalışma bu yönüyle ilk olmuştur. Morfometrik analizler sıklıkla kullanılan drenaj havzaları dışında tektonik anlamda da Erginal ve Cürebal (2007) tarafından kullanılmıştır. Bu çalışmalar dışında Öztürk ve Erginal (2008), Öztürk (2008), Özdemir (2007), Karabulut vd. (2013), Topuz (2014), Utlu ve Özdemir (2018), Ödeker ve Türkoğlu (2020), Çoşkun ve Öztürk (2021)'de drenaj havzalarında morfometrik analizler kullanılarak lokal anlamda bir veya birkaç havzayı içene alacak şekilde çalışmalar yapmıştır. Bölgesel anlamda morfometrik özellikler kullanılarak yapılan ilk çalışma Elbaşı ve Özdemir (2015) tarafından Marmara Denizi havzaları karşılaştırılarak yapılmıştır. Bu çalışma ile ilk defa ülkemizde bu denli fazla havza sayısını içerisine alacak şekilde bir morfometrik analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde yapılan morfometrik analizlerin geneline bakıldığında çalışmaların çoğunda havza karakterlerini ve buna bağlı yapılan taşkın duyarlılık analizlerini görmekteyiz. Morfometrik analizler her ne kadar ülkemizde ağırlıklı olarak drenaj havzaları ölçeğinde sıklıkla kullanılmış olsa da dünyadaki diğer çalışmalara bakıldığında kullanım alanının çok daha geniş olduğu görülmektedir.

Araştırma konumuzun temelini oluşturan alüvyal fanlardaki taşkın duyarlılık analizleri başlıklı çalışmalara, ülkemizdeki literatürde rastlanılmamış olmasına rağmen, Dünya genelinde Havza/Fan morfometrik analizleri kullanılarak yapılan çalışmalar birçok araştırmacı tarafından detaylı şekilde çalışılmıştır. Yayınlanan Havza/fan morfometrik çalışmalarının kronolojik olarak en önemlilerine bakıldığında Ryder (1971), Melton (1965), Kostaschuk vd. (1986), Harwey (1987), NRC (1996), daha çok analog yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalardır. Bu araştırmalar temel morfometrik sonuçlar ve çıkarımlar sunarken, Welsh (2007), Santangelo vd. (2011, 2012), Santo vd. (2015), Kain vd. (2018) ve Mokarram vd. (2021,2022) ise CBS'deki gelişmeler ve yazılım sistemlerinin getirdiği farklı analizleri de kullanarak uygulama alanlarında çok çeşitli ve özgün çözüm önerileri sunmaktadırlar. Özellikle Santangelo (2011,2012) yüksek derecede şehirleşmeye maruz kalmış alüvyal fan alanlarında havza/fan

morfometrik analizlerini çalışma alanını etkileyen beşeri yapı unsurlarını da ayrı bir parametre olarak kullanarak CBS alt yapılarıyla birlikte İtalya’da çok önemli akademik çalışmalar yapmış ve dünya literatüründe bu konuda önemli bir yere sahip olmuştur.

Ülkemiz alüvyal fan alanlarında yapılan morfometrik analizler konusunda dünya literatürü düşünüldüğünde çok geridedir. Aslında ülkemizin dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahip olması dolayısıyla birçok noktada gelişmiş alüvyal fan sistemleri bulunmasına rağmen, bu konudaki yayın azlığı düşündürücüdür. Yukarıda da bahsedildiği gibi ülkemiz jeomorfoloji araştırmacıları ağırlıklı olarak drenaj havzaları özelindeki çalışmalara yoğunlaştıkları için bu konuya maalesef uzak kalmışlardır.

Yukarıdaki açıklamalardan da yola çıkarak geçmişten günümüze birçok alanda önemli çalışmalar yapılmasına katkı sağlayan morfometri bilimi, özellikle bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte düşünüldüğünde çeşitlenmiş ve günümüzde birçok alanda kullanılır olmuştur. Morfometri bu denli kendini yenileyebilir özellikte olması dolayısıyla yakın gelecekte de birçok araştırma grubunun temel parametrelerinden biri olacaktır.

Çalışma Alanı İle İlgili Literatür Taraması: Araştırma sahası temelinde yapılan çalışmalar ise daha çok fiziki coğrafya konuları kapsamında yapılan çalışmalar olarak karşımıza çıkar.

Jeoloji kısmında ise ağırlıklı olarak Uludağ kütlesinin oluşum ve gelişim aşamaları ile ilgili çalışmalar en çok araştırma yapılan konuların başında gelmektedir. Bu konuda sahada yapılan ilk çalışmalara bakıldığında, Philippon (1913), Uludağ kütlesindeki granit ve gnays kaya türlerinin varlığına ilk defa dikkat çeken araştırmacı olarak literatür tarihine geçmiştir. Devam eden yıllarda, Ardel (1943), Ketin(1947), Erinç (1949,1957), Öztürk (2012), Pektezel (2015) gibi araştırmacılar ise özellikle Uludağ masifi hakkında detaylı çalışmalar yapmış ve dağın özellikle jeolojik kısmı hakkında bilim dünyasına önemli katkılar sunmuşlardır.

Çalışma sahasındaki bir diğer önemli konu ise Bursa ovasının oluşumu ve ova tabanındaki alüvyal malzemelerin varlığıdır. Bu konuda yapılan çalışmalara bakıldığında özellikle Tolun (1948), Sözen (1969), DSİ (1973) , Kutlukan (1973), Şenyuva (1991), Erkal ve Emre (1997), Başarı (2003) ve MTA (2009) yapmış oldukları

alışmalar ile ovada önemli sondaj faaliyetleri öne çıkmaktadır. Yapılan alışmalar kapsamında ova tabanındaki alüvyal malzeme kalınlıkları, yeraltı drenaj sistemleri, sıcak su kaynakları, su kalitesi, taban suyu seviyeleri gibi birçok konuda ova tabanıyla ilgili bilgi verilmiştir.

Çalışma sahasının aktif fay hatlarında olduğu gerçeği düşünöldüğünde özellikle Kutlukan (1973), Selim vd. (2006), MTA (2009), Pektezel (2015) ova tabanında tektonik hatları araştırmakla birlikte Uludağ'ın kuzey ve güney taraflarındaki neotektonik bulguları tespit etmişlerdir.

Sahadaki iklim ve bitki örtüsü çalışmaları ise yükselti faktörünün etkisi ön plana çıkararak Uludağ ve Bursa şehri özelinde çalışılmıştır. Özellikle yükseltiye bağlı oluşan bitki kuşakları ve Uludağ'ın zengin vejetasyonu, bu konudaki en tipik çalışmaların başında gelen Güngördü (1985) tarafından detaylı şekilde incelenmiştir. Yükselti farkına bağlı olarak kısa mesafelerde iklim elemanlarını değiştirmesi açısından Uludağ ve Bursa şehir merkezi özelindeki meteoroloji istasyon verilerini karşılaştıran Öztürk (2010) ise dağ ve ova morfolojisi kapsamında değişen iklim elemanlarını ve ortaya çıkan sonuçları detaylarıyla açıklamıştır.

Bu alışma gerek konu ile ilgili literatür taramasındaki sonuçlar, gerekse de araştırma sahası içerisinde yapılmış olan fiziki çalışmalar içerisinde hem konu hem de içerik olarak düşünöldüğünde diğer çalışmalardan çok farklı bir noktada bulunmakta ve sahada önceden yapılmış bir çalışma ile herhangi bir ortak noktada olmaması dolayısıyla özgün bir nitelik taşımaktadır.

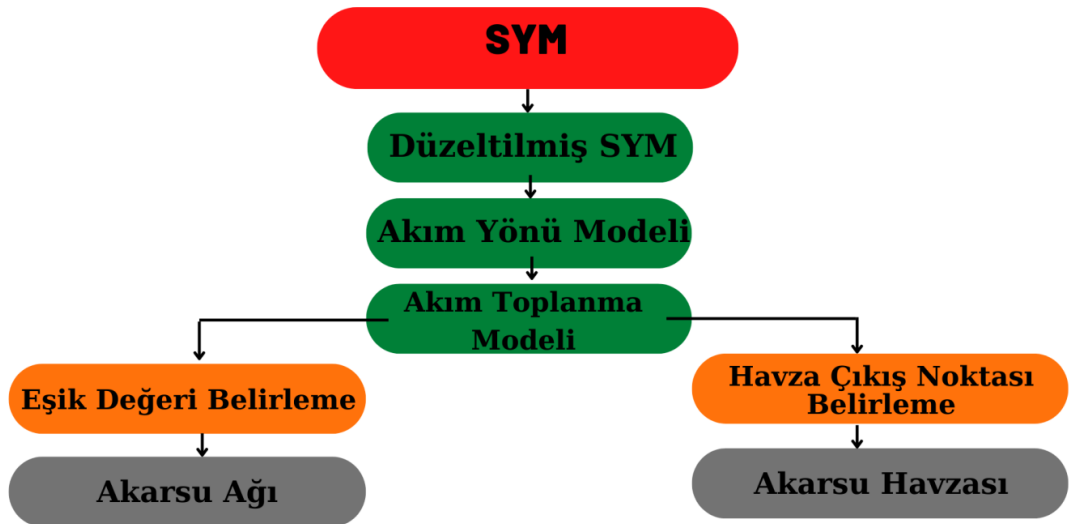
MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada temel altlık verileri Bursa Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemleri Biriminden temin edilen 1:5000 ölçekli planlardan elde edilen 5 m aralıklı eşyükselti eğrileri oluşturur. Toprak altlık verisi olarak 1:25000 ölçekli sayısal toprak verisi kullanılmıştır. Bu veriler dışında çalışma sahasına ait 1990-2018 yıllarına ait arazi kullanım verileri <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> internet sitesinden temin edilmiştir. Çalışma sahasının güncel en yakın arazi kullanım özelliklerinin verilebilmesi amacıyla da ayrıca, www.esri.com.tr sitesi üzerinden 10 metre yersel çözünürlüğe sahip 2020 yılı arazi kullanım verisi temin edilerek çalışma

alanının güncel ve detaylı arazi kullanım verisi elde edilmiştir. Sahaya ait iklim verileri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiştir.

Verilerin işlenmesi, düzenlenmesi, analizi ve haritalanması için CBS yazılımı olan ArcGIS 10.6 programı ve uzantılarından faydalanılmıştır. Ayrıca çalışmalara kolaylık sağlaması ve görselliğin arttırılmasında Microsoft Office ve internet tabanlı Photoshop programları kullanılmıştır.

Temel altlık veriler olan 5 m aralıklı izohipsler ANUDEM enterpolasyon tekniği kullanılarak 5 m çözünürlüğe sahip SYM verisine dönüştürülmüştür. SYM oluşturma sırasında oluşan sistematik hataların (Bater & Coops, 2009: 294) giderilmesi için doldurma “Fill” işlemine tabi tutulmuştur. Böylelikle SYM verisi düzeltilerek çalışma alanındaki alüvyal fan ve havzaların çıkarım işlemi için hazır hale getirilmiştir.

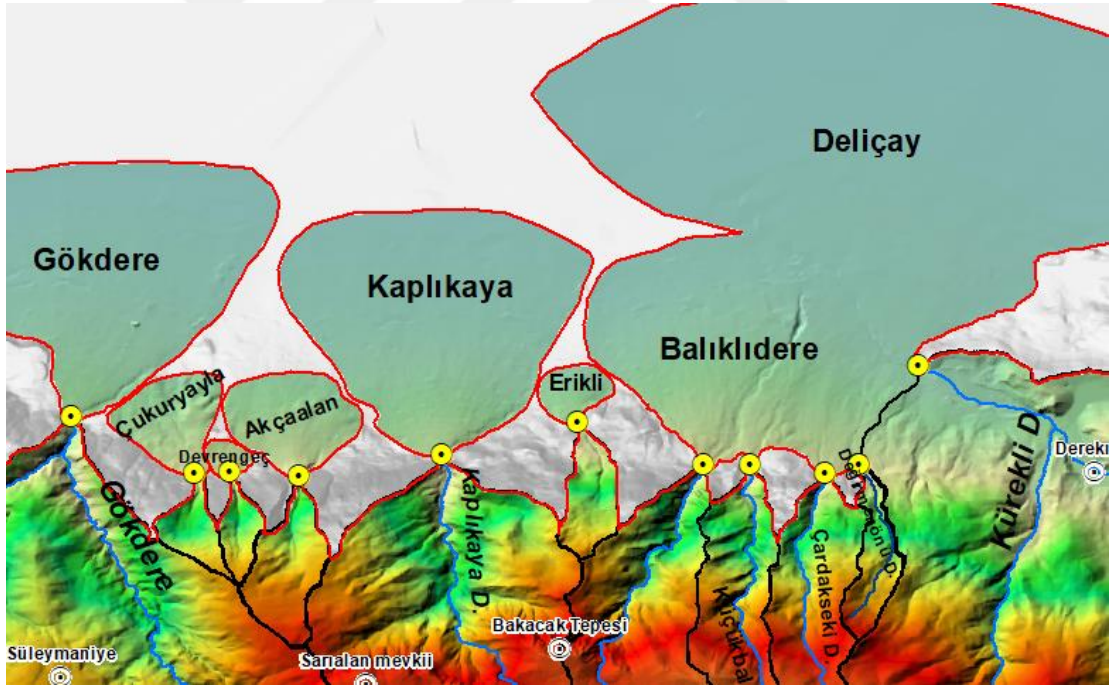


Şekil 2. D8 modeli akarsu ağı ve akarsu havzası üretim aşamaları

SYM verisinin düzeltilmesinden sonra literatürde D8 yöntemi olarak geçen ve sıklıkla kullanılan (Jenson ve Domingue, 1988:1596; Martz ve Jong,1988:632; Morris ve Heerdegen, 1988:137; Freeman, 1991:417; Elbaşı ve Özdemir, 2018:69) akış yönleri algoritması düzeltilmiş SYM verisine uygulanmıştır (Şekil 2). Bunda amaç bir piksel üzerine düşen yağışın eğime bağlı olarak akışa geçtiği yönün tespitinin yapılmasıdır. Akış yönleri raster verisi kullanılarak aynı yöne akış gösteren raster verilerin toplanarak

oluşturulduğu akış toplanma raster verisi üretilmiştir. Akış toplanma raster verisinden çalışma alanındaki potansiyel akarsu ağının üretilmesi için eşik değer olarak 100 belirlenmiştir. Bu değerin tercih nedeni en küçük kuru vadilerin de morfometrik analizlerde dikkate alınmasını sağlamaktır (Özdemir ve Bird, 2009). SYM verisinden akarsu ağı ve havza üretme aşamaları daha ayrıntılı bilgi için Elbaşı ve Özdemir (2018) yayınına başvurulabilir.

Çalışma alanındaki alüvyal fanlar ve besleyici havzalarının çıkarımı için alüvyal fanın tepe kısmına (apeks) havza çıkış noktası olarak belirlenmiş ve her bir fanın havzasının üretilmesi gerçekleştirilmiştir(Şekil 3). Çalışma alanında 8 fan olmasına karşın 11 adet havza çıkarımı yapılmıştır. Bunun nedeni, Kocabalıklı, Küçükbalıklı, Çardakseki ve Değirmenönü akarsu havzalarının Balıklıdere fanını beslemelerinden dolayıdır.



Şekil 3. Havza çıkış noktaları

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda oluşturulan drenaj havzaları ve alüvyal fan alanları birbirlerinden farklı yöntemler kullanılarak analizlere hazır hale getirilmişlerdir. Drenaj havzaları, yapılan düzeltmelerden sonra detaylı açıklamaları ilgili bölümlerde

yapılacak olan, çizgisel, alansal ve rölyef morfometrik özellikler doğrultusunda taşkına olan duyarlılıkları bakımından incelenmiştir. Bu morfometrik çalışmaların tamamı drenaj havzalarını ilgilendiren analizde kullanılmıştır. Drenaj havzalarındaki taşkın duyarlılık analizlerde doğrudan parametre olarak kullanılmamalarına rağmen eğim, bakı, akarsu boyuna profilleri, TWI ve SPI gibi raster veri tabanlı analizler de elde edilen sonuçları desteklemesi açısından ilgili bölümlerde incelenmiştir.

Alüvyal fan alanlarında kullanılan yöntemlerin başında ise havza/fan morfometrik analizleri gelmektedir. Bu kapsamda alüvyal fanların alan, uzunluk, eğim, akış süreci gibi bazı morfometrik parametrelerini kullanarak, gerisindeki drenaj havzaları ile olan morfometrik ilişkileri ortaya konulmuştur. Alüvyal fan alanlarında morfometrik yöntemler dışında beşeri kaynaklı olan arazi kullanım özellikleri, fan yüzeyindeki karayollarının uzanış doğrultuları, köprülerin varlığı ve fan alanlarındaki drenaj alanlarında yapılan yanlış veya yetersiz dere ıslah çalışmalarının da etkisi ayrıca araştırılmıştır. Bu durum, havza/fan morfometrik verilerinin içerisine değerlendirilerek ayrı birer parametre oluşturulmuş ve bu yöntemle alüvyal fan alanlarında taşkın duyarlılık çalışması yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMA ALANI GENEL FİZİKİ ÖZELLİKLER

Marmara Bölgesi'nin güneyinde Uludağ kütlelerinin kuzey - kuzeydoğusunda yer alan drenaj havzaları ve Uludağ'ın kuzey yamacındaki eğimin azaldığı yerlerde meydana gelen alüvyal fan alanları çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1).

1. JEOLJİK ve TEKTONİK ÖZELLİKLER

Bir sahada farklı jeolojik zamanlara ait litolojik birimler ile o sahada oluşan yer şekilleri arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Bundan dolayı jeomorfolojik özelliklerin anlaşılmasında, sahanın jeolojik tarihçesi ve litolojik özelliklerinin bilinmesi ve anlaşılması son derece önemlidir. Aşınımı yapan kuvvet, üzerinde aşınım yaptığı kayacın dış süreçlere karşı gösterdiği direnç özelliklerine göre, etkinliğini göstermektedir. Ayrıca litolojinin topografyadaki rolü, etkenin niteliği ve aktiflik süresine göre de değişmektedir. Sonuçta aynı iklim bölgesinde farklı litolojiler üzerinde farklı topografya şekilleri gelişmektedir (Erinç,2012). Jeolojik özellikler sel-taşkın ve kütle hareketleri gibi doğal afetlerin oluşmasında doğrudan veya dolaylı olarak etkiye sahiptirler. Özellikle sel ve taşkınlarda sahanın litolojik özellikleri geçirimsizliği doğrudan etkilerken depremler, kaya düşmeleri ve heyelanlarda ise sahanın jeolojik özellikleri yüzey süreçlerini doğrudan şekillendirir. Bu sebeple bu bölümde sahanın genel jeolojik yapısını içeren stratigrafik ve litolojik özellikler ile tektonik özellikler kısaca ele alınmıştır.

1.1. STRATİGRAFİK VE LİTOLOJİK ÖZELLİKLER

Çalışma alanı içerisinde Prekambriyen-Kuaterner zaman aralığı içerisinde çeşitlilik arz eden litolojik birimler yer almaktadır. Metamorfik, volkanik, ofiyolitik, plütonik ve çökel kaya türleri birbirleriyle ardalanmış şekilde bulunmaktadır. Kıtasal bloklar ve kenet kuşaklarına ait kaya türleri farklı litoloji, farklı yaş ve farklı yapısal özellikler sunmakla birlikte birbiriyle tektonik ilişkilidir (MTA,2015: 12). Çalışma alanındaki genel litolojik birimler ve bunlara ait eskiden yeniye doğru sıralanmış genel kesit Şekil 4'te verilmiştir.

Prekambriyen ve Paleozoik dönemin ana malzemesini gnays, amfibolit ve mermer kütlelerinden oluşan Uludağ masifi meydana getirmektedir. Uludağ'ın üst kısımları

granit ve şistlerden oluşan merkezi bir yapı ve bu yapıyı adeta saran kalkerden bir sınır kuşağı oluşmuştur. Kristalin şistler gnays ve amfibolitlerle şisti mermerlerden oluşan A serisi ve farklı olarak mikaşist ile açık mavi renkli mermer ve yarı mermerlerden oluşan B serisi olmak üzere iki farklı grupta litolojik malzemeler incelenmektedir (Ketin,1947:71-72). Çalışma sahasında, doğuda Deliçay havzasından en batıdaki Gökdere havzasına kadar olan bölümün özellikle akarsu havzalarını içine alan kısmın tamamına yakını prekambriyen alt paleozoik gnays ve mikaşistler oluşturur. Bu bölüm oldukça sert kayaç türlerini bünyesinde barındırır. Çalışma alanının Güneydoğu ve Kuzeydoğu kesimlerinde adeta bir şerit halinde paleozoik mermer alanları paleozoik gnaysları bir kuşak halinde çevrelemiştir. Uludağ masifinin temelini oluşturan bu birimler Mezozoik üst trias şistler vasıtasıyla özellikle doğu batı yönlü olarak çevrilmişlerdir.

Mezozoik birimlerin en eskilerini ise alt Trias'ın şistleri oluşturmaktadır. Karakaya formasyonu olarak da adlandırılan birim çok az metamorfizma geçirmiştir. Çalışma sahasının doğu ve batı tarafında adeta paleozoik gnaysları sınırlandırmışlardır. Özellikle doğuda yer alan Deliçay havzasında akarsu yan kollarının getirdiği güncel alüvyal malzemelerle ve paleozoik mermerlerle aralanmalı şekilde bulunurlar. Doğu ve Batıda yer yer aralarında yüzeylemiş permien kireçtaşları ile birlikte bulunan alt Trias şistleri çalışma sahasını doğuda ve batıda adeta bir havza sınırı olacak şekilde kesmektedir.

Çalışma sahasının güney sınırını oluşturan paleosen granitleri özellikle Deliçay havzası dışındaki tüm havzaların kaynak kısmını meydana getirmektedir. Uludağ kütlelerinin ana jeolojik birimi olan paleozoik gnays ve mikaşistlerin üzerinde özellikle Uludağ'ın kuzeye bakan yamaçları büyük oranda paleosen granit arazilerinden oluşmaktadır (Ardel, 1943).

Üst Sistem	Sistem	Seri	Birim Adı	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklamalar
Senozoyik	Kuvaterner	Holosen	I	150-200		Alüvyon, Alüvyal yelpaze, yamaç molozu, moloz akması Bursa Travertenj (kalınlığı ~100 m)
		Üst Ple.	I	30		Akarsu Taraçası
	Tersiyer	Pliyo-Pleyis	Gemiciköy Formasyonu	225		Çakıltaşı, çamurtaşı, marn ve kireçtaşı
						Granit
						Andezitik lav, tuf içerikli volkano-tortul birimler
		Eosen	Uludağ Graniti	?		Granit
			Eosen Volkanitleri	150		Andezitik lav, tuf içerikli volkano-tortul birimler
			Eosen Kırıntıları	150-100		Çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve yer yer kireçtaşı
Paleozoyik-Mezozoyik	Kretase	Üst Kretase	Gölpazarı Form.	>40		Granit
		Senomoniyen	Vezirhan Form.	?		Volkanik kırıntılı tuf, kumtaşı, şeyl, tuf, killi kireçtaşı ardalınamalı
		Kampaniyen				Boz-sarımsı renkli, ince katmanlı, killi kireçtaşı
	Jura	Meta-Neolambriyen	Bilecik Form.	330-350		Beyaz, pembe renkli mikrit, dismikrit ve biyomikritten oluşan kireçtaşı
		Liyas	Bayırköy Form.	550		Arkoz ve metabazik kumtaşı
	Triyas	Üst	Iğdır Form.	150		Konglomera, kiltası, mikali kumtaşı
		Permo-Triyas	Karakaya Karmasığı	~800		Arkozik kireçtaşı, şeyl ve rekristalize kireçtaşı blokları
			Nitüfer Birimi	>2000		Fillit, şist ve metabazikten oluşan bir matriks ile içerisinde mermer blokları (Çatatepe mermeri)
	Prekambriyen Paleozoyik		Uludağ Masifi	>3000		Gneys, amfibolit ve mermer
						Ölçeksiz

Şekil 4. Çalışma alanı ve yakın çevresi stratigrafisi (Selim, vd. (2006) ile BBB, (2012)'den alınmıştır.)

Kuaterner birimlerini karasal kökenli çakıl taşları, travertenler, yamaç molozları ve alüvyonlar meydana getirmektedir. Çakıl taşları genel itibariyle akarsu havzalarının önünde Uludağ masifinin kuzey yamacında eğimin hızla azaldığı alanlarda yamaç molozu şeklinde bulunurlar. Tektonik bir çöküntü havzası niteliğinde olan Bursa Ovası tamamen akarsuların taşıdığı blok, çakıl, kum, silt ve kil gibi karışık malzemeler ile kaplanmıştır. Ovada yapılan jeofizik ve hidrojeolojik çalışmalar neticesinde alüvyon

kalınlığının birçok noktada 80-200 metre kalınlıklarda olduğu tespit edilmiştir (Tolun 1948; Sözen, 1969; Dsi,1973; Kutlukan,1973). Ovanın güneyinde alüvyon ve yamaç molozunun kalınlığı ise 80–120 metreler arasında değişmektedir. Ovanın orta ve doğu kesimlerinde alüvyon kalınlığı 40–200 m arasında değişir. Alüvyonlu malzeme ince elemanlı kil, silt, kum ve çakıl gibi karışık malzemelerden oluşur. Ovanın kuzeyinde alüvyon kalınlığı 100 m’yi geçmez bu durumun temel nedeni ovaya asıl alüvyal sediman sağlayan yamaçların güneydeki Uludağ kütlesi üzerinden gelmesidir. Ova tabanındaki alüvyal malzeme silt, kil, kum düzeyleri ile birlikte bulunurlar. Ovanın batısı ve kuzeybatısında ise alüvyon kalınlığı 150–200 m kadar kil, silt, kum ve çakıl ile birlikte bulunurlar (Arınç, 2011: 99; Şenyuva,1991; Sözen,1969). Drenaj havzaları genellikle dik eğimli oldukları ve herhangi bir birikim alanlarına sahip olmadıkları için bünyelerinde alüvyal malzeme birikimleri çok fazla olmaz ancak sadece Deliçay havzası içerisinde yer yer akarsu yatak eğimlerinin azalması ve yatak en kesitlerinin genişlemesi sebebiyle Kuaterner dolgularına bu havza içerisinde rastlamak mümkündür (Fotoğraf 2).

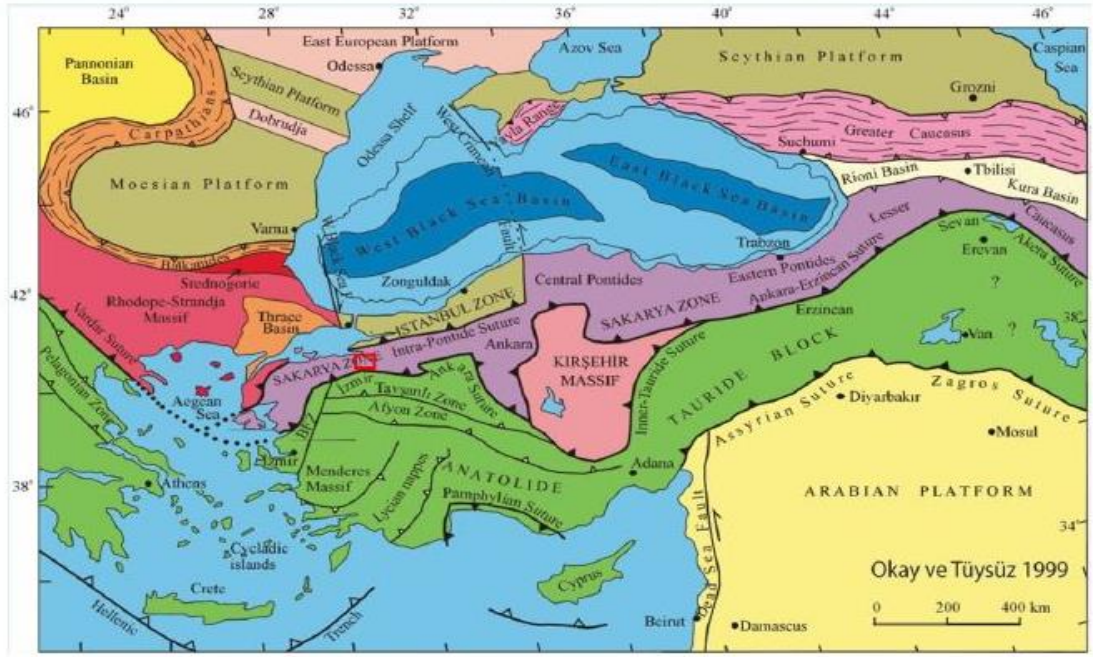


Fotoğraf 2. Deliçay havzasındaki alüvyal depolar

Ova ile dağlık alan arasındaki fay hatları sınırlarındaki birçok noktada sıcak su kaynakları bulunur. Sıcak su kaynaklarının yüzeye çıktığı bu alanlarda Kuaterner dönemine ait traverten yamaçları oluşturmuştur. Travertenlerin en yaygın olduğu alanlar Batıdaki Gökdere havzası bölgesinde yer alan Çekirge, Muradiye ve Tophane bölgeleridir (Arınç, 2011: 98). Travertenler sahanın sadece küçük bir bölümünü teşkil etmekte ve Gökdere havzasının batı kenarındaki yamaç molozları ile birlikte ardalanmış şekilde bulunurlar.

1.2. TEKTONİK ÖZELLİKLER

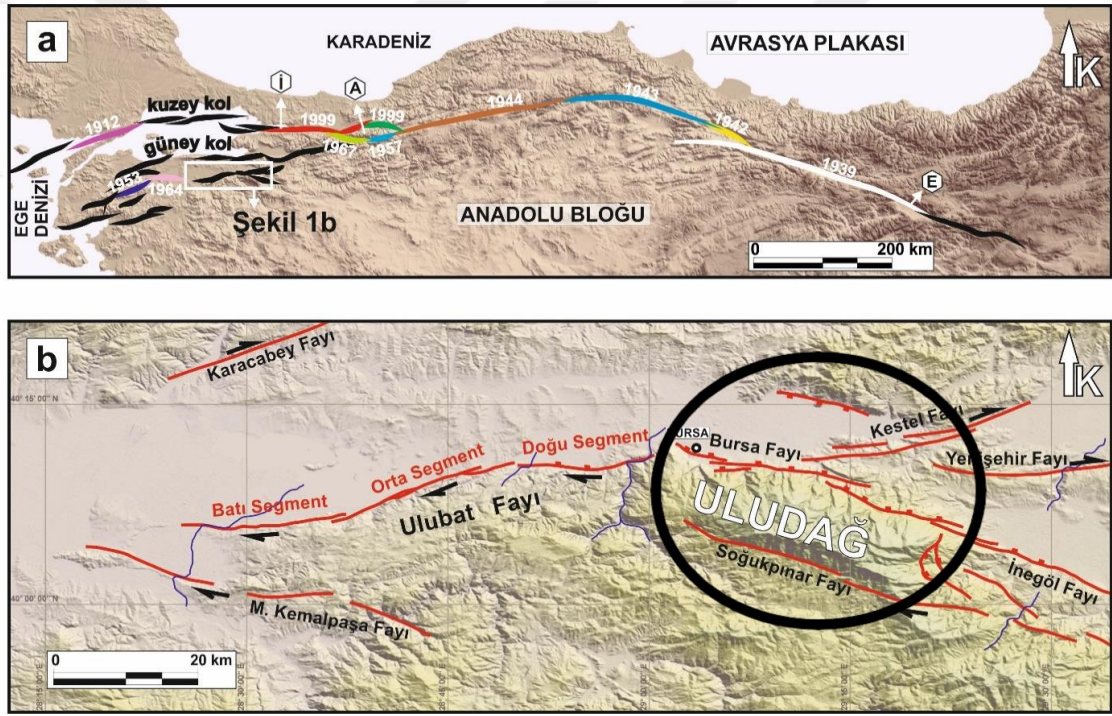
Türkiye'nin neotektoniği Arap-Afrika levhaları ile Avrasya levhası arasında Orta-Geç Miyosen'de gerçekleşmiş kıta-kıta çarpışmasıyla başlayan döneme denk gelir (Mckenzie,1972:120-122; Şengör,1979:273). Söz konusu kıtasal çarpışma sonucu ülkenin en büyük iki güncel tektonik yapısı olan Kuzey Anadolu (KAF) ve Doğu Anadolu (DAF) transform fay sistemleri ortaya çıkmıştır (Ketin, 1947:72; Şengör, 1979:275). KAF, yaklaşık 1.600 km uzunlukta sağ yönlü doğrultu atımlı transform nitelikli aktif bir levha sınırıdır (Şengör, 1980:170-171). Bu transform fay Doğu Marmara bölgesinde kuzey ve güney olmak üzere iki ana kola ayrılmaktadır. Çalışma sahası tam da birbirleriyle, ofiyolitik kenet kuşaklarıyla ayrılan, üç önemli tektonik hattın bir araya geldiği bölgede yer almaktadır (Şekil 5). Bu alanlar, Bursa İlinin kuzeyinde İstanbul Zonu, ortada Sakarya Zonu ve güneyinde Tavşanlı Zonlarından oluşur (Şengör ve Yılmaz, 1981:215; Okay, 1987:459). Bu eski kıta parçalarını temsil eden bu tektonik birlikler ile bu tektonik birlikleri ayıran kenet kuşakları, oldukça farklı stratigrafik, magmatik, metamorfik ve yapısal özelliklere sahiptir. İstanbul zonu, Paleozoyik yaşlı pasif kıta kenarı çökelleri ve bunları uyumsuzlukla örten Trias yaşlı sedimanter kayalarından oluşmaktadır (Erendil vd.,1991:265). Sakarya Zonu, altta Uludağ masifinde yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı bir temel ve bu temeli tektonik olarak örten Permiyen-Trias yaşta dalma-batma zonu kayalarından (Karakaya kompleksi) oluşmaktadır (Okay vd., 1987). Tavşanlı Zonu ise mavi şistler, ofiyolit ve ofiyolitli melanjdan oluşmaktadır (Okay, 1984: 21-23).



Şekil 5.Anadolu levhası ve çevresinin ana kenet kuşakları ve kıtasal blokları haritası (Okay ve Tüysüz,1999;493)

“Bölgede önemli orojenik hareketlerin sonucu oluşan Uludağ ile Bursa ovasının yapısal ve morfolojik şekillenmesi Pliyosen’de olmuştur. Bu tektonik gelişmede D-B doğrultulu Kuzey Anadolu Fayı’nın doğrultu atımlı tektoniği ile Batı Anadolu’da egemen olan K-G gerilme rejimi rol oynamıştır. Çalışma sahasında iki tektonik rejim etkisiyle D-B yönlü horst ve grabenler gelişmiştir. Bursa ovası, güneyde Uludağ horstu ve kuzeyde Katırlı Dağı horstu arasında yer alan yapısal alçalma alanına karşılık gelir. Bursa Bölgesi’ndeki sismik aktivite Güney Marmara Bölgesi’nde; Eskişehir Fay Zonu’nun batıya doğru devamı olan faylardan, Bursa-Gönen çöküntü havzasının oluşumunu sağlayan ve bu havzanın kenarlarında bulunan faylar ile Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS)’nin güney kolundan kaynaklanmaktadır. Bursa-Gönen çöküntü havzasının güneyinde yer alan Uludağ yükseltisinin güneyinde, dağ sırası boyunca diri faylar bulunmaktadır. Bursa ilinin güney kenarında bulunan faylar; Bursa Fayı, İnegöl Fay Zonu, Oylat Fayı, Ulubat Fayı, Mustafakemalpaşa Fayı ve Manyas Fay Zonudur (Emre ve diğ., 2005:20; 2009:52-53)”.

Batıda Çekirge burnu, doğuda ise İnegöl havzası arasında olan, Bursa ovası ile Uludağ'ı sınırlayan ve Uludağ'ın kuzey kenarını kontrol eden Bursa Fayı yaklaşık olarak 40 km uzunluğundadır. Genel doğrultusu KB-GD 'dur. Fay orta kesiminde tek bir çizgi halindedir. Doğu ve batı uçlarında ise zonal ve parçalı bir yapıya sahiptir. Bursa Fayı'nı geometrik olarak iki parçaya ayırarak incelemek mümkündür. Batı parçası Çekirge burnu ile Değirmenlikazık arasında yer almaktadır ve güneye kavislidir. 45 derecelik bir büküm ile doğu fay parçasından ayrılmaktadır. Bu bölüm K35B doğrultulu olup, 5,5 km uzunluğundadır (Şekil 6). Bu fay hattı Paleozoyik yaşlı Uludağ metamorfiklerini, Kuaterner yaşlı travertenleri, yamaç molozu yığınlarını ve birikinti konilerini sınırlamaktadır (MTA, 2009: 52).

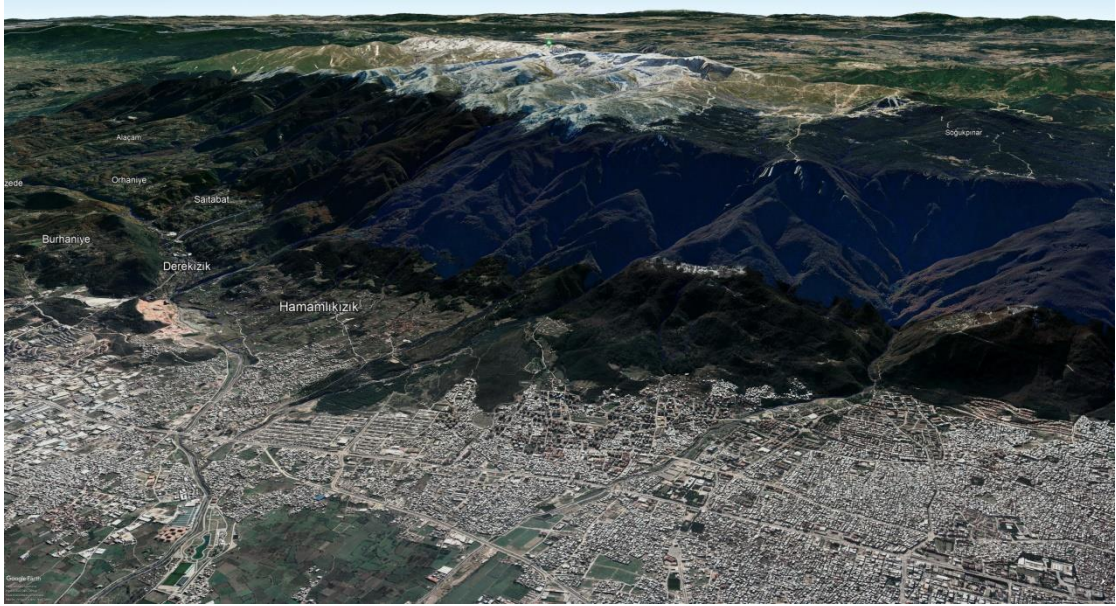


Şekil 6. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve çalışma alanı yakın çevresi Kuaterner Fay Hatları
a) Kuzey Anadolu fay zonu geometrisi ve 20yy'da oluşan yüzey kırıklıkları (İ: İzmit Körfezi, A: Almacık Yükselimi, E: Erzincan) b) Çalışma alanı ve yakın çevresinin Kuaterner fayları Emre vd., (2011a, b ve c), Ozalp vd. (2013), Selim vd., (2013), Selim ve Tüysüz (2013), Seyitoğlu vd., (2016), Ozaksoy (2018), Ozaksoy vd., (2018)'den faydalananak çizilen Karabacak vd., (2021)'den değiştirilerek alınmıştır.

2. MORFOLOJİK ÖZELLİKLER

Çalışma alanı iki ana jeomorfolojik birimden meydana gelmiştir. Bunlardan ilki çevresine göre yükseltileri daha az olan ova kesimi, diğeri ise güneydeki yüksek dağlık ve platolardan oluşan dağlık kesimdir. Bu bölümde çalışma sahasındaki 2 ana morfolojik birim olan dağlık alanlar ve alüvyal fanları da içerisine alan ova kesimi jeomorfolojik özellikleri açısından incelenmiştir(Ardel, 1943).

Dağlık alanlar ve morfolojik özellikleri, dağlık alanların temelini kuzeybatı güneydoğu yönlü uzanan ve güneye doğru eğimli bir Antiklinal olan Uludağ kütlesi(2543 m) oluşturmaktadır(Ketin,1947). Uludağ kütlesi boyunca artan yükseklikler doğu ve batıya doğru azalma eğilimine girmektedir. Dağlık alanlar bol miktarda yağış almaları ve yüksek rölyef özelliklerine sahip olduklarından dolayı drenaj ağları bakımından çok çeşitli ve zengin bir formasyon gösterirler. Özellikle eğimin arttığı noktalarda dar ve derin yarılardan oluşan vadiler kuzey kesimdeki drenaj havzalarının çoğunda yer almaktadır (Fotoğraf 3). Akarsular eğim doğrultusunu takip ederek kabaca kuzey güney yönlü olarak ova tabanına doğru ilerlemektelerdir.



Fotoğraf 3. Uludağ kuzey yamacı ile dar ve derin vadiler oluşturan drenaj havzaları

Çalışma sahanının batı kenarını oluşturan Gökdere havzası 1500-1600 metrelerdeki kirazlı yayla ve Sarıalan bölgelerinden aldığı küçük derelerle birleşerek ovaya doğru akışını sürdürür. Kuzeybatı yönlü akışı sürdüren Gökdere güneybatı

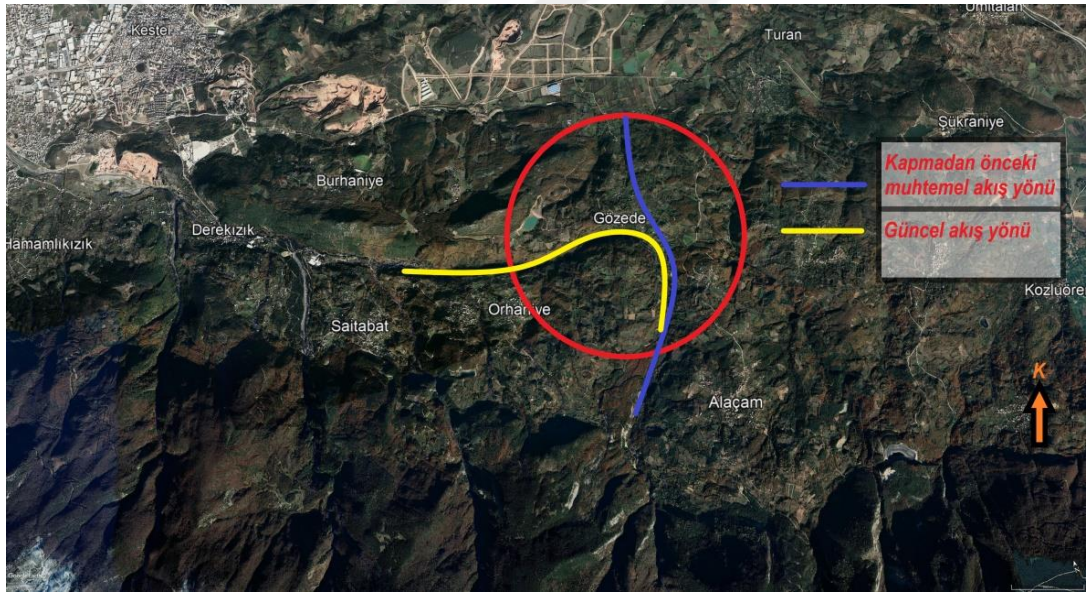
yönünden Alaşar deresini de bünyesine alarak Setbaşı bölgesine doğru kuzeydoğu yönüne dönen Gökdere, alüvyal fan içerisindeki akışını sürdürerek ova tabanında Deliçay havzası ile birleşir. Gökdere gelişmiş fay sistemleri ile birlikte tektonik temele gömülmüş bir akarsudur. Alüvyal fana girdiği noktada Sürempoze bir boğaz oluşturmuştur(Ardel,1943).

Gökdere'nin batı kenarında oluşan paralel bir diğer drenaj havzası da Kaplıkaya Deresi'dir. Kaplıkaya Deresi de tektonik temele gömülmesi sonucunda tıpkı Gökdere gibi alüvyal fanın başladığı noktada dar ve derin vadi yapısı ile dikkat çeken bir Sürempoze boğaz meydana getirmiştir (Ardel, 1943).

Kaplıkaya Deresi'nin doğusunda yer alan Kocabalıklı drenaj havzası da Kaplıkaya ve Gökdere gibi tektonik temele gömülerek alüvyal fan alanlarına girdikleri noktalarda Sürempoze bir boğaz meydana getirmektedir. Bu boğaz yamaçlarının diklikleri son derece eğimlidirler. Boğaz vadilerin meydana gelmesinde kuşkusuz Uludağ kütlelerini paralel şekilde kesen Bursa fayının varlığı son derece önemlidir. Kocabalıklı Deresi'nin hemen doğusunda yer alan Küçükbalıklı Deresi son derece yüksek eğim değerlerine sahiptir. Bu durum ilerleyen bölümlerdeki boyuna profillerde de detaylı şekilde açıklanmıştır. Küçükbalıklı Deresi'nin doğu ve güneydoğusunda yer alan Deliçay havzası ise çalışma sahasındaki en önemli drenaj havzasını meydana getirmektedir. Deliçay havzası doğu batı yönlü bursa fayından bir kavis çizerek ayrılan ve kuzeybatı güneydoğu yönlü uzanan İnegöl fay zonu içerisindeki tektonik hatta uyum sağlayarak akış meydana getirmektedir. Deliçay havzası oldukça farklı bir akış özelliği göstererek ilk olarak Uludağ'ın zirvesinden başlayan yüzeysel akışını kuzey güney yönlü olarak sürdürürken, Gözede köyünün olduğu alandan sonra yönünü batıya doğru çevirerek geniş bir kavis çizmektedir. Burada muhtemel bir tektonik kontrollü kapma söz konusudur (Fotoğraf 4). Deliçay'a buradan sonraki bölümde kuzey güney yönlü akan Küreklidere, Güvercinlik deresi ve bıçkı dereleri katılmaktadır. Uludağ'ın zirvelerine yakın noktalardan doğan bu önemli kollarla birleşen Deliçay vadisi önemli miktarda alüvyal malzemeyi ve iri blokları da bünyesinde taşıyarak ovaya girdiği kesimden itibaren eğim değerlerinin de azalması ile biriktirmektedir. Bu durum sahanın en büyük alüvyal fanını da meydana getirmiştir.

Ovalık alan ve morfolojik özellikleri, Çalışma sahasının kuzey kesimini oluşturan en önemli ikinci morfolojik birim ovalık alanıdır. Ovalık alan güneydeki alüvyal fan alanları ve kuzeydeki Bursa Ovası olarak iki kısımda incelenmiştir.

Ova tabanını temsil eden bölüm kuzeyde Katırlı dağları (1000 metre), doğuda İnegöl eşiği (450 metre) ve güneyde Uludağ kütlesi (2543 m) ile sınırlandırılmış yükseltiler arasında bulunmaktadır. Ovalık bölüm doğu batı yönlü uzanış doğrultularında değişmektedir. Uludağ'ın kuzey yamaçlarında oluşan ve sularını Nilüfer Çayı'na boşaltan akarsular batıdan doğuya doğru Gökdere, Akçaalan, Devrengeç, Çukuryayla, Kaplıkaya, Erikli, Kocabalıklı, Küçükbalıklı, Çardakseki, Değirmenönü ve Deliçay akarsularıdır. Bu havzalar ova içerisinde birleşerek batıya doğru yönelim gösterir ve Nilüfer Çayı'na katılırlar. Bursa Ovası Uludağ'ın kuzeyinden gelen bu akarsular için yerel taban seviyesi görevini görmektedir.



Fotoğraf 4. Deliçay vadisinin yön değiştirdiği konum

Alüvyal fanlar ise ovanın güneyinde, Uludağ'ın kuzey ve kuzeydoğu yamaçlarında yayılım alanları bulurlar. Batıda Gökdere havzasından doğuda Deliçay havzasına kadar uzanan geniş bir sahada fanlar yayılım gösterirler. Alüvyal fanlar Uludağ'ın kuzey yamaçlarından başlayarak eğimin git gide azalması ile birlikte ova tabanı ile birleşirler. Fanların meydana gelmesinde kuşkusuz Uludağ'ın kuzey yamacındaki Bursa fayının etkisi vardır. Bu fay sistemi yamaçtaki eğimin aniden

azalmasına neden olmaktadır. Bu durum yamaçlardan güçlü bir akımla birlikte gelen akarsuların hızlarını aniden azaltıp, aşınım yerine biriktirme faaliyetleri yapmasına ve bu sayede fanların oluşmasına neden olmuştur.

3. İKLİM ÖZELLİKLERİ

Bursa ve çevresinin iklim özelliklerine bakıldığında tıpkı Türkiye’de olduğu gibi tek bir hava kaynağından etkilenmemektedir. Kuzeydeki soğuk karakterli polar ve kutup özelindeki hava kütlelerinin etkisinde olan bölge yine aynı şekilde güneydeki tropikal ve sıcak hava kütlelerinin etkisi altındadır. Farklı bir ifade ile hava kütlelerinin geçiş noktasında yer almakla birlikte bu hava kütlelerinin yağış ve sıcaklık özelliklerini bölgede görmekteyiz (Atalay,1994: 235).

Bursa il merkezi ve çevredeki diğer merkezlerdeki meteoroloji istasyonlarının iklim elemanları kayıtlarına bakıldığında Akdeniz ikliminin etkisi altında olan bir bölge olduğu görülür. Bursa’nın iklimi Marmara Bölgesi’nde adeta bir geçiş iklimi özelliği göstermektedir. Özellikle Uludağ’ın kendine has özellikleri, çevresi ile düşünüldüğünde çok farklı bir iklim bölgesi olarak ortaya çıkmaktadır (Öztürk, 2010: 14). Çalışma sahası genel itibariyle Bursa il sınırları içinde olmakla birlikte, özellikle alüvyal fanların bulunduğu ova kesimi tamamen şehrsel özellik gösterdiği için il merkezinin içerisinde yer alan Osmangazi meteoroloji istasyonunun verileri temel alınarak planlanmıştır. Drenaj havzalarında ise iklim karakterlerinin belirlenmesi için Uludağ meteoroloji istasyonu verileri dikkate alınmıştır. Burada dikkat çekilmek istenen nokta şehir merkezindeki istasyon ile dağ istasyonunun arasında ne gibi iklimsel farklılıkların ortaya çıkacağını belirlemektedir.

Çalışma sahasının şehir merkezindeki istasyon verilerinde yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,6 derece ve ortalama yağış verileri ise 708,7 mm’dir (MGM, 2021; Öztürk, 2010: 17). Çalışma sahasında sıcaklık ve yağış verilerinin kontrolünün genel olarak sahadaki yükselti tarafından kontrol edildiği görülmektedir. Çalışmaya katkısı olması bakımından iklim elemanlarından olan sıcaklık ve yağış verilerinin üzerinde durulacaktır.

3.1. SICAKLIK

İklim elemanları içerisinde en önemlilerinin başında sıcaklık gelmektedir. Sıcaklık, hava ve iklimin temel öğelerinden olup diğer iklim elemanlarını da kontrol etmesi açısından önemlidir (Ardel, 1973: 67). İklimin ana parametrelerinden olan sıcaklık faktörünü Bursa'nın merkezi Osmangazi ilçesinde yer alan meteoroloji istasyonunun 1960-2015 yılları arasındaki verilerinden, Uludağ'ın sıcaklık özelliklerini anlama açısından da Uludağ meteoroloji istasyonundan 1975-2007 yılları arasındaki verilerden yola çıkarak incelemeye alınmıştır (Öztürk, 2010: 17).

Ortalama 100 metre rakımda bulunan Bursa şehir merkezinde 1960-2015 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,5 °C iken 1878 metrelerdeki Uludağ istasyonunda 1975-2007 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklıklar ise 4,8 °C'ye kadar düşmektedir. Sıcaklıklar Bursa merkez yani alüvyal fan alanlarının bulunduğu noktalarda kış aylarında genellikle 0 derecenin altına düşmezken, Uludağ bölgesi yani drenaj havzalarını içerisine alan bölümlerde ise bu sıcaklar sürekli 0 derecenin altındadır. Yaz aylarında da benzer durum hâkimdir. Temmuz ayında Uludağ'da ortalama sıcaklıklar 14,5 °C iken Bursa şehir merkezinde sıcaklıklar 19,9 dereceye kadar yükselmektedir (MGM,2021; Öztürk,2010: 17). Burada dikkat çekilecek temel husus lokasyon olarak bu denli iki yakın yerde başta morfolojik farklılıkların ve yükselti faktörünün de etkisiyle sıcaklıklar değişiklik göstermektedir. Bu durum buharlaşmayı ve buna bağlı olarak akışa geçen su miktarını etkilemesi noktasında son derece önemlidir. Drenaj havzalarını temsil eden Uludağ bölgesinde düşük sıcaklıklar nedeniyle buharlaşma yıl boyunca şehir merkezine göre daha düşük olmaktadır. Bu durum drenaj havzalarındaki su kaybının az olmasına ve alüvyal fan alanlarına gelen akış miktarının azalmamasına neden olmaktadır.

3.2. YAĞIŞ

Yağış özelliklerini anlamak, çalışma sahası içinde yer alan drenaj havzalarındaki akış süreçlerinin anlaşılması noktasında önemlidir. Yağış miktarı, aylık ve mevsimsel yağış miktarı ve ayrıca yıllık toplam yağış miktarları, Uludağ ve şehir merkezindeki istasyonların özelinde aktarılmıştır.

Çalışma sahasında yıllık toplam yağış miktarının önemli bir kısmını özellikle yükseltisinin fazla olması ve konumu dolayısıyla, Uludağ'ın kuzey yamacı yani drenaj havzalarının bulunduğu alanlar almaktadır. Nemli hava kütlelerinin kuzey sektörlü olması ve yükseltinin fazla olması nedeniyle Uludağ yamacı boyunca yükselip soğuyan nemin büyük bir kısmı orografik yağış şeklinde kuzey yamaca düşer. Bursa merkezde 674 mm olan yıllık ortalama yağış tutarı, Uludağ istasyonunda ise 1453 mm'lere kadar artmaktadır. İstasyonların ikisinde de yıllık en fazla yağış aralık ayında maksimum seviyelere çıkmaktadır. Aynı şekilde en az yağışın olduğu dönem de ağustos ayıdır. Kısmen nisan aylarında iki istasyonda da hafif bir yağışlı dönem yaşanmaktadır. Yağışlı geçen dönemlerde belirgin benzerlikler olmasına rağmen Uludağ istasyonu her zaman Bursa merkezdeki istasyondan aylık ortalama olarak 2,15 kat daha fazla yağış almaktadır (Öztürk:2010; 20).

Yağış miktarlarının havzalar ve alüvyal fan alanlarında bu denli farklılıklar göstermesi kuşkusuz yükselti farkları ve hava kütlelerinin yüksek yamaçlarda daha etkili olması ile açıklanabilir. Sonuç olarak drenaj havzalarının bulunduğu kesimlerde yıllık ve aylık ortalama yağış miktarları her zaman alüvyal fan alanlarına düşen yağış miktarından fazladır. Alüvyal fan alanlarının arkasında bu denli sürekli yağış alan ve sıcaklık anlamında ise fan bölgelerine göre daha az buharlaşma gösteren havzaların varlığı kuşkusuz alüvyal fan alanlarına doğru sürekli bir akış baskısı oluşturmaya neden olmaktadır. Özellikle ilkbahar aylarındaki ani ısınmalarla birlikte gelen bahar yağışları drenaj havzalarında büyük miktarlarda kar erimesine neden olmaktadır. Bu durum havzaların önünde yer alan ve yıl boyu düzensiz akışlara maruz kalan alüvyal fan alanlarında taşkın duyarlılığını tetikleyen unsurlardan biridir.

4. TOPRAK VE BİTKİ ÖRTÜSÜ ÖZELLİKLERİ

4.1. TOPRAK ÖZELLİKLERİ

Çalışma sahası 1:25000 ölçekli sayısal toprak verileri temeline bağlı olarak beş büyük toprak gurubuna sahiptir. Bunlar alansal büyüklüklerine göre; kireçsiz kahve rengi orman toprakları, kolivyal topraklar, hahverengi orman toprakları, alüvyal topraklar ve yüksek dağ çayırı toprak türleridir.

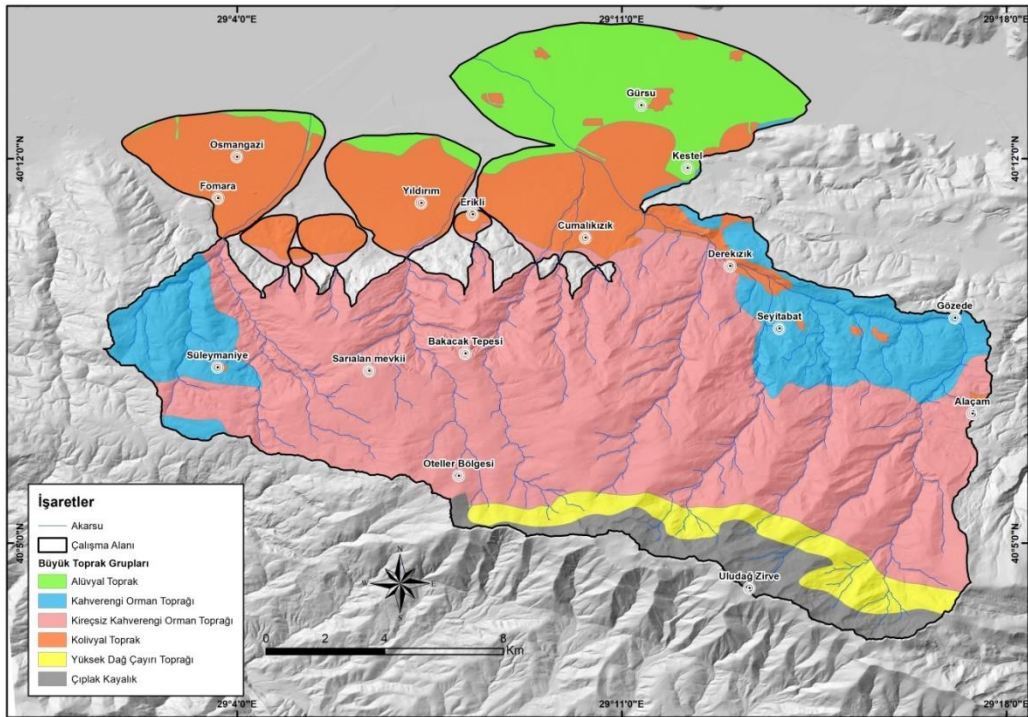
Kireçsiz kahve rengi orman toprakları: 266 km² olan toplam çalışma alanının 135 km²'si kireçsiz kahverengi orman topraklarından oluşmaktadır (şekil 7). Oran olarak çalışma sahanının %50.9'luk alanını kapsamaktadır. Bu toprakların oluşumunda iklim, bitki örtüsü ve ana kaya özelliklerinin etkisi vardır. Bu topraklar ağırlıklı olarak alüvyal fanların tepe kısımlarından başlayarak drenaj havzalarının üst kısımlarındaki yüksek noktalara kadar olan alanlarda yayılım gösterirler. Özellikle Uludağ'ın yağış alan kuzey yamacındaki alanlarda yaygın şekilde bulunurlar. Kireçsiz kahverengi orman toprakları yıkanmış özellikte oldukları için A ve B horizonları çok fazla kireç içermez. Örtü olarak 50-90 cm kalınlıklarında olan bu topraklar 12-20 dereceler arasında değişen eğim değerlerinde bulunmaktadır. Bu toprak örtüsü üzerinde şiddetli rüzgar ve su erozyonu hakimdir. Bu toprakların üzerindeki ağırlıklı arazi dağılışı orman örtüsü şeklindedir. Arazi kullanım kabiliyeti sınıflaması olarak toprak işlemeli tarıma elverişsiz toprak yüzeyleri kapsamında değerlendirilirler. Arazi kullanım kabiliyeti alt sınıfında ise eğim ve erozyon zararı olan ve toprak yetersizliği bulunan sahalar olarak tescillenmişlerdir.

Kolivyal topraklar: Çalışma alanında 46 km² alan kaplamaktadırlar. Oransal olarak çalışma sahasının %17.4'üne karşılık gelmektedirler (şekil 7). Azonal toprak grupları içerisinde yer alan bu toprakların gelişiminde ana kaya faktörü dışında yamaç boyunca taşınmalarında etkili olan dış kuvvetlerin etkisi görülür. Çalışma sahasında, ovalık alanlarda ve Uludağ'ın kuzey ve kuzeydoğu yamaçlarında bulunan bu toprak türü alüvyal fanların bulunduğu alanlarda özellikle yayılım göstermektedir. Ova tabanındaki bölümlerde ince unsurlu maddelerden oluşurken, yamaçlardaki alanlarda ise oldukça kabu unsurlu maddeleri bünyesinde bulundurur. Kolivyal topraklar, bünyelerinde bol miktarda köşeli ve iri bloklar içerirler. Su tutma kapasiteleri düşük drenajları ise kötüdür.

Kahverenge orman toprakları: Çalışma alanında 31 km² alan kaplamaktadırlar. Oransal olarak çalışma sahasının %11.7'sine karşılık gelmektedirler (şekil 7). Bu topraklarda, zonal topraklar grubunda yer aldıkları için horizonları gelişmiştir. Ana kaya özelliklerini doğrudan yansıtır. 50-90 cm olan orta derinliklerde ve 30 dereceye yaklaşan eğim değerlerinde yayılım gösterirler. Çok şiddetli rüzgar ve su erozyonuna maruz kalan bu topraklarda aşınım son derece yüksektir. Arazi kullanım biçimi olarak

fundalık araziler bu bölgelerde yaygın şekilde yayılış göstermektedir. Arazi kullanım kabiliyeti sınıflamasında, toprak işlemeli tarıma elverişsiz alanlar olarak gösterilmektedirler. Arazi kullanım kabiliyeti alt sınıfında ise toprak yetersizliği ve eğimli ve erozyon zararlı bölümler olarak adlandırılmaktadırlar.

Alüvyal topraklar: Çalışma alanında 30 km² alan kaplamaktadır. Oransal olarak çalışma sahasının %11.3'üne karşılık gelmektedir (şekil 7). Alüvyal topraklarda tıpkı kolivyal topraklar gibi azonal toprak türüdür. Oluşum ve gelişimlerinde akarsuların taşıyıp getirdikleri alüvyonların büyük etkisi vardır. Çalışma sahasında özellikle eğim değerlerinin azaldığı alanlarda ve ova tabanında yayılış gösterirler. Horizonlarının gelişmediği bu topraklarda ince unsurlu malzemeler yayılış göstermektedir. Çalışma sahasındaki alüvyal topraklarda son derece dikkat çekici derinlikler hakimdir. Ovada yapılan bir çok sondajda bazı noktalarda 200 metreden fazla kalınlıklarda alüvyal malzeme depoları tespit edilmiştir (Tolun,1948; Sözen, 1969; DSİ, 1973).



Şekil 7. Çalışma alanı büyük toprak grupları haritası

Yüksek dağ çayırı toprakları: Çalışma alanında 12 km² alan kaplamaktadırlar. Uludağ'ın zirve noktalarına yakın yerlerdeki ana kaya ve kireçsiz kahverengi topraklar arasında adeta bir sınır kuşağı oluşturan yüksek dağ çayırı toprakları, çalışma alanının

%4.5'ine karşılık gelmektedir (şekil 7). 30 dereceden fazla eğim değerlerine sahip bu topraklarda orta şiddette rüzgar ve su erozyonu hakimdir. Arazi kullanımı olarak çayır ve mera alanları olarak kullanılan bu topraklar, işlemeli ve tarıma elverişsiz topraklar olarak değerlendirilmektedir.

4.2. BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN DAĞILIŞI VE ÖZELLİKLERİ

Çalışma Sahasındaki bitki örtüsü özellikleri, yağışın akışa geçen miktarının belirlenmesi üzerinde büyük rol oynar. Bunun içinde meydana gelen sel ve taşkınların oluşmasında sahaların bitki örtüsü özellikleri, özellikle de orman formasyonu yönlendirici bir etkiye sahiptir (Turoğlu ve Özdemir, 2005:107-109). Bitki örtüsünden yoksun ve eğimli arazilerde yağmur suları direkt akışa geçerken, bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda akış daha azdır (Schultz ve Engman, 2000:95).

Bu bölümde bitki örtüsünün Çalışma alanının genelindeki dağılışı verilmiştir. Ayrıca özellikle drenaj havzalarındaki 1990 ve 2018 yılları arasındaki Corine arazi kullanım verilerine bağlı olarak yıllar içerisindeki değişim ortaya konulmuştur. Drenaj havzalarındaki güncel bitki dağılışlarının gösterilmesi açısından Esri veri tabanından erişilen 2020 yılına ait 10m çözünürlüklü arazi kullanım haritası oluşturulmuştur.



Fotoğraf 5. Deliçay vadisinden Uludağ'ın kuzey yamaçları

Sahada orman örtüsü yoğunlukla drenaj havzalarında bulunduğu için bu bölümde sadece drenaj havzalarındaki bitki örtüsünün değişimi incelenmiştir. Alüvyal fanlarda meydana gelen değişim ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir. Drenaj havzalarının olduğu yamaçlardaki toplam çalışma alanı 266 km²'dir (Tablo 1). 1990 yılında drenaj havzalarının %69'u ormanlık ve orman altı çalılıklardan oluşurken, 2018 yıllarına gelindiğinde bu oran %64'lere kadar gerilemiştir. Bitki örtüsünde meydana gelen azalmalar kuşkusuz havzaların yüzeysel akışa daha fazla katkı sağlamalarına neden olmaktadır. Bitki örtüsünden yoksun ve eğimli arazilerde yağmur suları direkt akışa geçerken, bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda akış daha azdır (Schultz ve Engman, 2000:115). Drenaj havzalarındaki ormanlık alanlarda genel itibariyle büyük bir değişiklik olmamakla birlikte özellikle Deliçay havzasındaki yerleşim alanlarının ve tarım alanlarının artmasına bağlı olarak en fazla orman kaybı bu havzada meydana gelmiştir.

Tablo 1. Drenaj havzalarında ormanlık alanlar ve oranları

Yıllar	Ormanlık Alan (km ²)	Oran(%)
1990	183.4	69
2018	170.9	64
Toplam Alan	266.0	

İKİNCİ BÖLÜM

TAŞKIN DUYARLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bu bölümde drenaj havzalarında ve alüvyal fanlarda taşkın duyarlılıklarını etkileyen faktörler ayrı başlıklar altında incelenmiştir. Burada yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar neticesinde üçüncü bölümde taşkın duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bu bölümde özellikle drenaj havzalarında raster tabanlı eğim, bakı, TWI, SPI ve boyuna profil analizleri gibi çalışmalar yapılmıştır. Yapılan raster tabanlı analizler son bölümde ortaya konulacak olan taşkın duyarlılık analizlerinde doğrudan kullanılmamıştır. Bu parametrelerin sonuçlarının ortaya konulmasındaki amaç havza özelliklerinin tüm yönleriyle araştırılmak istenmesidir. Burada elde edilen kazanımlarla son bölümde yapılacak olan yorumlamalara katkı sunulacaktır. Drenaj havzalarında taşkın duyarlılığını etkileyen morfometrik parametreler (çizgisel, alansal ve rölyef) analizlerde kullanılacak olup havzalar arasındaki morfometrik sıralamaları ortaya koyacaktır.

Alüvyal fanlarda taşkın duyarlılıklarını etkileyen faktörlere bakıldığında burada farklı bir metot kullanılmıştır. Yapılacak olan vektör veri tabanlı Havza/Fan morfometrik analizlerine ek olarak beşeri faktörlerden olan arazi kullanımı, yolların uzanış doğrultuları, köprüler ve fan üzerindeki akarsu yataklarında yapılan ıslah çalışmalarının etkileri ayrı birer parametre olarak vektörel verilerle birlikte analizlere katılmıştır. Alüvyal fan alanlarında taşkın duyarlılık çalışan ve bu konuda önemli yayınlar yapmış olan Santangelo'da (2011 ve 2012) bu konudaki benzer yöntemleri kullanmıştır.

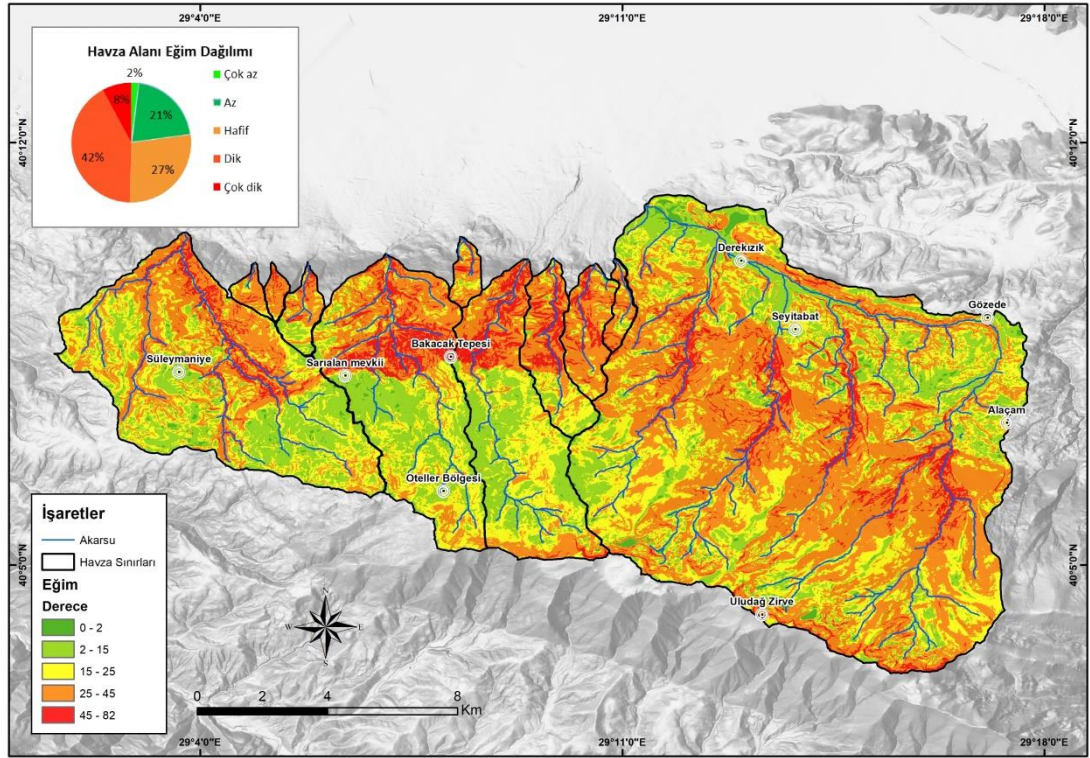
1. DRENAJ HAVZALARINDA TAŞKIN DUYARLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

1.1. EĞİM ÖZELLİKLERİ

Eğim faktörü özellikle taşkınlara olan etkisi düşünüldüğünde önemli bir fizyografik faktördür. Havzadaki diğer morfometrik koşullar nötr olarak düşünüldüğünde eğimin fazla olduğu alanlarda suyun toprağa sızması da güçleşir. Yağışla birlikte gelen sular doğrudan akıma katılırlar. Bu durum akım değerlerinde yükselmelere neden olmaktadır. Özellikle bitki örtüsü bakımından da seyrek alanlarda morfolojik süreçlerin ve litolojik yapının da etkisiyle birlikte sediman taşınım miktarı

oldukça fazla olmaktadır. Bu durum doğrudan sahada meydana gelebilecek taşkın duyarlılığını pozitif yönde etkilemektedir (Khosravi vd., 2016:957). Eğim koşulları göz önüne alınırken çalışma alanını drenaj havzaları ve alüvyal fanlar olarak ikiye ayrılmıştır. Bu bölümde çalışma sahasındaki drenaj havzalarının eğim koşulları üzerinde durulmuştur. Çalışma sahasındaki drenaj havzalarında yapılan eğim analizleri SYM verisi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Eğim değerleri derece cinsinden alınmış olup, eğim değerlerinin çalışma alanının geneli düşünüldüğünde ki değerleri ayrıca tablo halinde verilmiştir. Eğim sınıflaması için birçok morfometrik analizde kullanılan Bogomolov (1963:235-237) değerleri referans alınarak yapılmıştır.

Buna göre çalışma sahasındaki drenaj havzalarının eğim değerleri (0-82°) değerleri arasında değişmektedir (Şekil 10). Çok az eğimli (0-2°) alanlar %1,9 ile sahadaki en az alanı kaplarken onu sırasıyla az eğimli alanlar (2-15°) %20,9, hafif eğimli (15-25°) alanlar %27,4, dik alanlar (25-45°) ise sahanın yaklaşık %41,7'sine karşılık gelmekte ve çok dik alanlar (45-82°) ise %7,8 olmaktadır. Bu değerlere bağlı olarak, drenaj havzalarının oldukça engebeli olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle bazı noktalarda 90°'ye yakın dikliklerin bulunması Yağışla birlikte gelen suyun hızla akıma geçmesine ve akım pikleri oluşturmaya katkı sunması açısından önemlidir.



Şekil 10. Drenaj havzalarının eğim haritası.

Çalışma alanı tek bir drenaj havzasından meydana gelmemektedir. Birden fazla drenaj havzasının varlığı ve her bir havzanın farklı eğim değerlerine sahip olmasından dolayı havza bazlı eğim değerlerinin yüzdelik dağılışı ayrıca Tablo 2’de verilmiştir. Drenaj havzalarının genelinde, çok az eğimli alanların küçük bir alan kapladığı görülmektedir. Havzaların hemen hepsinde dik alanlar toplam alanın %30 undan az değildir. Özellikle Devrengeç, Çukuryayla, Akçaalan ve Erikli drenaj havzalarında dik eğimli alanların oranı %60’ın üzerindedir. Eğim değerleri bu denli yüksek olan bu 4 havza aynı zamanda alüvyal fanlar içerisinde de en yüksek eğim değerlerine sahip alüvyal konileri meydana getirmektedirler. Drenaj havzaları uzunlukları itibariyle yerel ölçekte kalmalarına rağmen yüksek eğim değerlerine sahip olmaları, diğer morfolojik koşulların etkisi nötr düşünüldüğünde, taşkın duyarlılığı açısından oldukça dikkat çekici havzalar olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

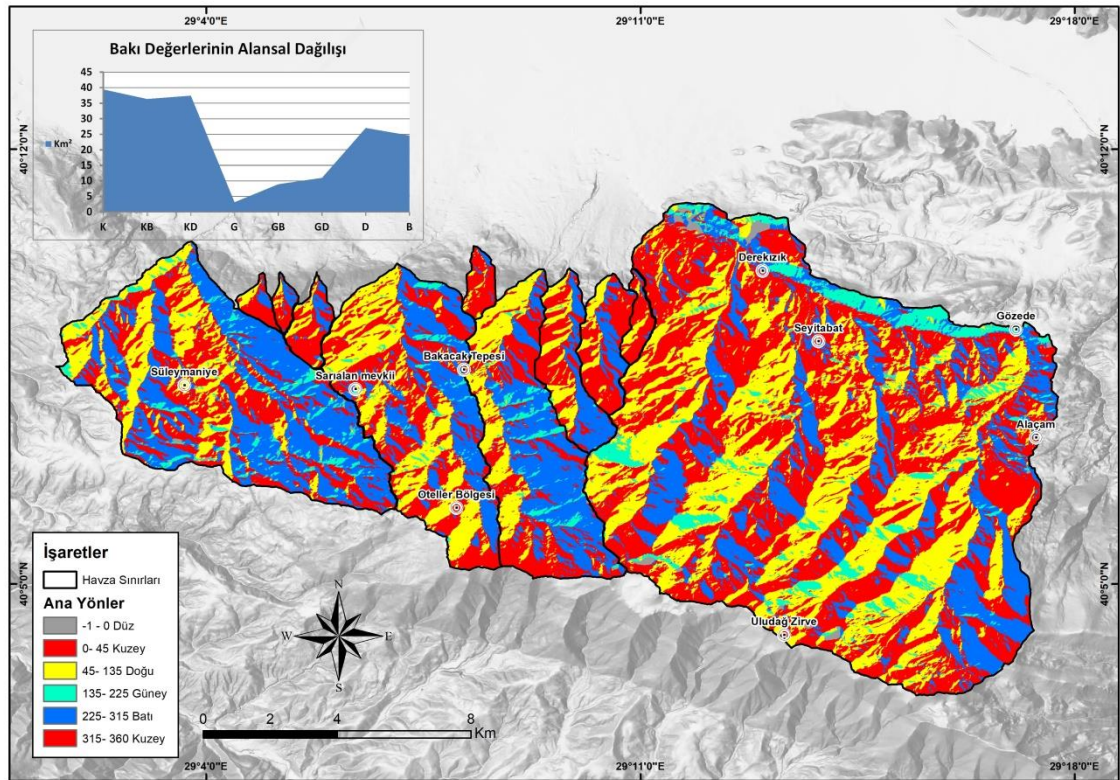
Tablo 2. Drenaj havzalarına ait eğim sınıflarının yüzdelik dağılımları

	Devrengeç Havzası	Akcaalan Havzası	Çukuryayla Havzası	Erikli Havzası	Değirmenözü Havzası	Çardakseki Havzası	Küçükbalıklı Havzası	Gökdere Havzası	KaplıkayaH avzası	Kocabalıklı Havzası	Delicey Havzası
Eğim(Derece)	Eğim sınıflarının yüzdelik dağılımı										
(0-2)	0.15	1.16	0.11	0.41	0.19	0.15	0.68	2.39	1.69	1.7	2.07
(2-15)	2.11	22.05	4.81	6.39	6.03	3.76	13.55	27.42	27.64	33.57	16.99
(15 -25)	11.58	24.45	23.23	23.26	20.32	13.12	23.71	29.33	27.2	29.78	27.52
(25 - 45)	72.63	44.83	65.45	59.71	63.75	66.9	42.15	34.92	30.33	24.78	47.21
(45 -82)	13.53	7.51	6.4	10.23	9.7	16.07	19.9	5.94	13.14	10.17	6.22

1.2. BAKI ÖZELLİKLERİ

Çalışma sahasının kuzey yarımkürede yer almasından dolayı güneye bakan yamaçlar kuzeye bakan yamaçlardan daha fazla güneş radyasyonunun etkisinde kalırlar. Buna karşılık doğu ve batıya bakan yamaçlar orta derece bir etkiye sahip olurken, doğuya bakan yamaçlar sabahları fazla güneş radyasyonu alırken, batıya bakan yamaçlarda ise öğleden sonra fazlaca güneş radyasyonu almaktadır.

Bakının etkisiyle kuzeye bakan yamaçlar ile güneye bakan yamaçlar arasında güneş radyasyonuna bağlı bazı farklı durumlar ortaya çıkar. Kuzeye bakan yamaçlar güneydeki yamaçlardan daha az miktarda güneş radyasyonu etkisinde kalırlar. Güney yamaçta artan evapotranspirasyon bitkilerde daha fazla su ihtiyacı meydana getirir ve bitki örtüsü bölgede daha seyrek olur. Ayrıca daha kurakçıl türler yayılım gösterir. Seyrek bitki örtüsü beraberinde yüzeysel akışın daha fazla olduğu alanlar meydana getirir. Kuzeye bakan yamaçlarda nem miktarı her zaman daha fazla olmakla birlikte bu da suyun derinliklere infiltre olmasına neden olmaktadır. Bu durum toprak oluşumunun zenginleşmesi açısından olumlu bir durumdur fakat bu sefer yamaç duyarlılığını bozar ve kütle hareketleri ile sediman saçılımı açısından olumsuz durumlar yaratabilmektedir (Kirkby vd., 1990:30; Turoğlu ve Özdemir, 2005:40). Bahsi geçen özellikler dikkate alınarak oluşturulan drenaj havzalarının baki haritası incelendiğinde, Uludağ'ın kuzey ve kuzeydoğusunda yayılım gösteren havzaların ağırlıklı baki yönünün kuzey sektörlü olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8). Kuzeye bakan havzaları sırasıyla kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlü alanlar karşılar. Havzalar kabaca kuzey güney yönlü uzandıkları için doğu ve batıya bakan yamaçların kısmen de olsa güneye bakan yamaçlardan fazladır. Güneye bakan yamaçlar sahada en az yer kaplar.

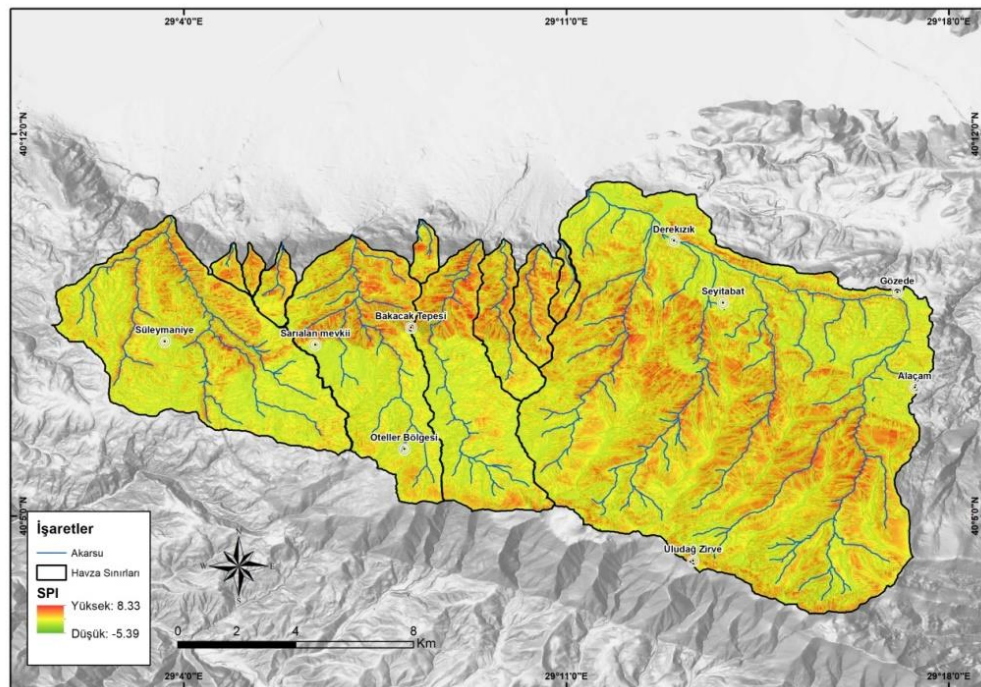


1.3. AKARSU AŞINDIRMA GÜCÜ İNDEKSİ (SPI)

Drenaj havzalarında taşkın duyarlılığını etkileyen bir diğer faktör akarsu aşındırma gücü indeksidir (SPI). Havza ile birlikte orantılı bir şekilde akış meydana getiren akarsuyun, erozyon anlamındaki gücünü ölçer (Moore vd.,1991). Akarsu aşındırma gücü indeksi sahanın eğim ve erozyon süreçlerini kontrol etmesi açısından önemlidir (Nefeslioğlu vd.,2006, Gökçeoğlu vd.,2005). Formül olarak, “ $SPI = A_S \tan \beta$ ” şeklinde ifade edilir. Burada A_S spesifik bir drenaj havzasını, β ise derece cinsinden eğimi ifade eden birimdir. Çalışma sahasındaki drenaj havzalarının SPI değerlerine bakıldığında -5,39 ile 8,33 değeri arasında değişmektedir (Şekil 12).

Eğim değerlerinin parametrelerini kendine referans alarak üretilen bu indekste değerlerin arttığı noktalarda akarsu aşındırma güçleri de aynı oranda artar. SPI indeksinin temelini, sahadaki eğim değerleri oluşturur. Yapılan analizlerde eğim değerlerinin arttığı noktalarda aynı zamanda SPI değerlerinin de belirgin bir artış göstermesi bu durumun sonucudur. SPI değerlerinin yüksek olduğu yerlerde akarsuyun aşındırma gücünde doğrudan artar. Bu durum flüviyal erozyonu artırır ve yamaçlarda

duyarsızlıklar başlar. Duyarsızlığın artmasıyla birlikte flüviyal erozyonu arttıran bu durum sediman taşınımının da artmasına neden olmaktadır. Özellikle yağışın ani ve fazla olduğu zamanlarda yüksek SPI değerlerinin olduğu yamaçlarda, ani bir yüzeysel erozyon meydana gelir. Bu durum doğrudan drenaj havzalarında sediman yükünü artırır ve akarsuyun normalden daha fazla asılı yük taşımaya neden olur. Yüksek SPI değerlerinin olduğu duyarsız yamaçlarda aynı zamanda moloz akışları görülür ve bu akışlar ulaştıkları noktalarda taşkın duyarlılıklarını arttırmaktadır.

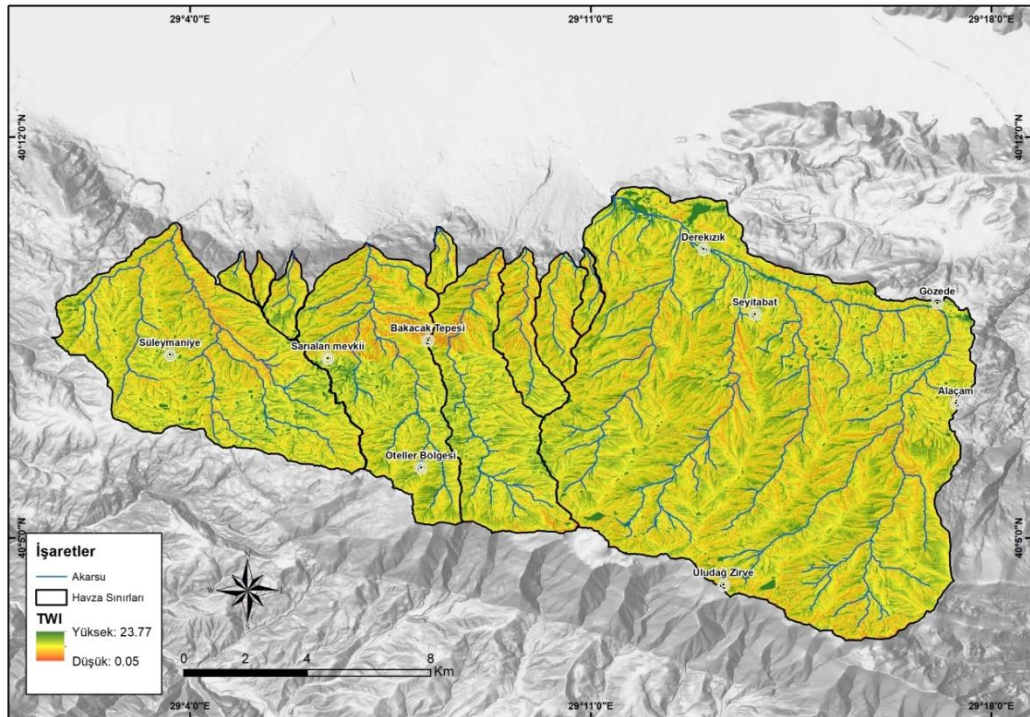


Şekil 12. Drenaj havzalarının SPI haritası.

1.4. TOPRAK NEMLİLİK İNDEKSİ (TWI)

TWI yaygın olarak, yamaç süreçlerinin anlaşılmasında kullanılmaktadır (Görüm, vd., 2008). Aynı zamanda topografyanın hidrolojik süreçler üzerindeki kontrolünü ölçmede de yaygın olarak kullanılmaktadır (Sörensen vd.,2006: 105). Formül olarak, “ $TWI = \ln(A_s / \tan \beta)$ ” şeklinde ifade edilir. İndeks, topografyanın zemin nemliliği üzerindeki etkisini belirleyerek havza içerisindeki dağılışını ortaya koymaktadır (Moore vd.,1991: 11). Zemin nemliliği suyun yeraltına sızmasını doğrudan etkiler. Islak zeminler neme doygunudur. Yeni gelebilecek akışlara ve sızmalara karşı duyarsızdır. Bu durum TWI değerlerinin yüksek çıktığı noktalarda olabilecek ani akışlarda zeminin

baypas olup adeta sızdırmaz bir yüzey gibi tepki vermesine neden olmaktadır. Bu durum taşkın zamanlarında oluşabilecek etkiyi arttırması açısından önemlidir. Buharlaşıma ve zemin geçirimliliği yüzeysel akışlarda önemli ölçüde su kaybına neden olur. Bu durumun tersi ise yüzeysel akışa artı katkı sağlayarak taşkın duyarlılığını arttırır.



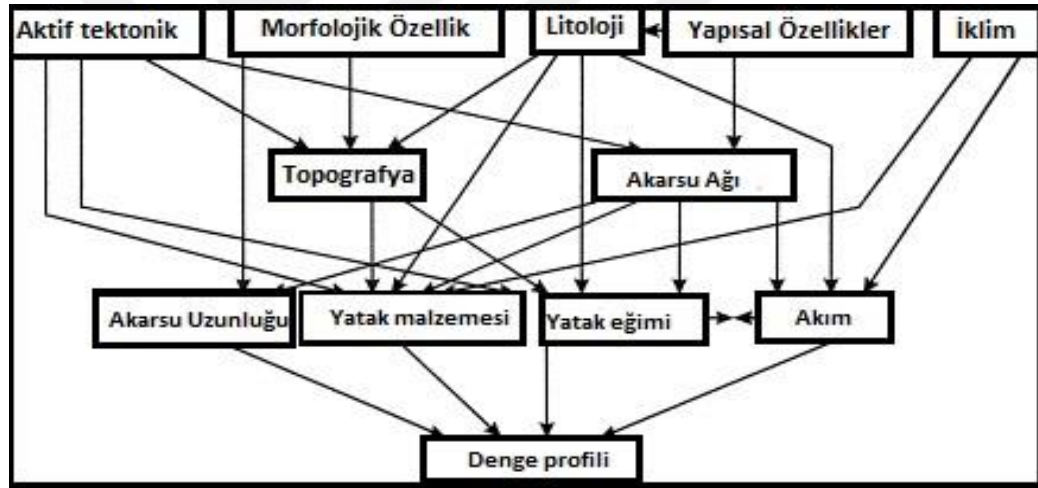
Şekil 13. Drenaj havzalarının TWI haritası.

Bu kapsamda çalışma alanındaki drenaj havzalarındaki TWI değerlerine bakıldığında 0.05 ile 23.77 değerleri arasında değişmektedir (Şekil 13). Çalışma sahasındaki drenaj havzaları oldukça eğimlidir. Bu durum yüzeysel akışı kolaylaştırdığı için yüksek TWI değerleri çıkmasına engel olmaktadır. Bu konu özelinde dikkat çekilecek en temel husus sadece Deliçay havzasındaki eğimin azaldığı noktalarda yüzeysel akış hızı da azalır ve yüksek TWI değerlerine sahip düzlük alanlar meydana gelir. Deliçay havzasının özellikle alüvyal fan alanlarına giriş yaptığı ağız kısmındaki düzlük alanlarda yüksek TWI değerleri elde edilmiştir. TWI değerlerinin düşük olduğu alanlara bakıldığında ise genellikle sırtlar ve dik yamaçlardır.

1.5. AKARSU BOYUNA PROFİL ÖZELLİKLERİ

Boyuna profiller çalışma alanında akarsular ve drenaj havzaları bakımından ilgi çekici sonuçlar sunmaktadır. Bir akarsuyun boyuna profili, iklim koşulları, kayaç özellikleri veya akarsu uzunlukları ne olursa olsun en belirgin ve kalıcı özelliğidir (Wheeler,1979). Büyük ölçüde genelleşmiş olan bu şekilsel gözlem çoğu jeomorfologların ve coğrafyacıların araştırmaları için önemli bir parametre olmuştur (Radoane,vd., 2003).

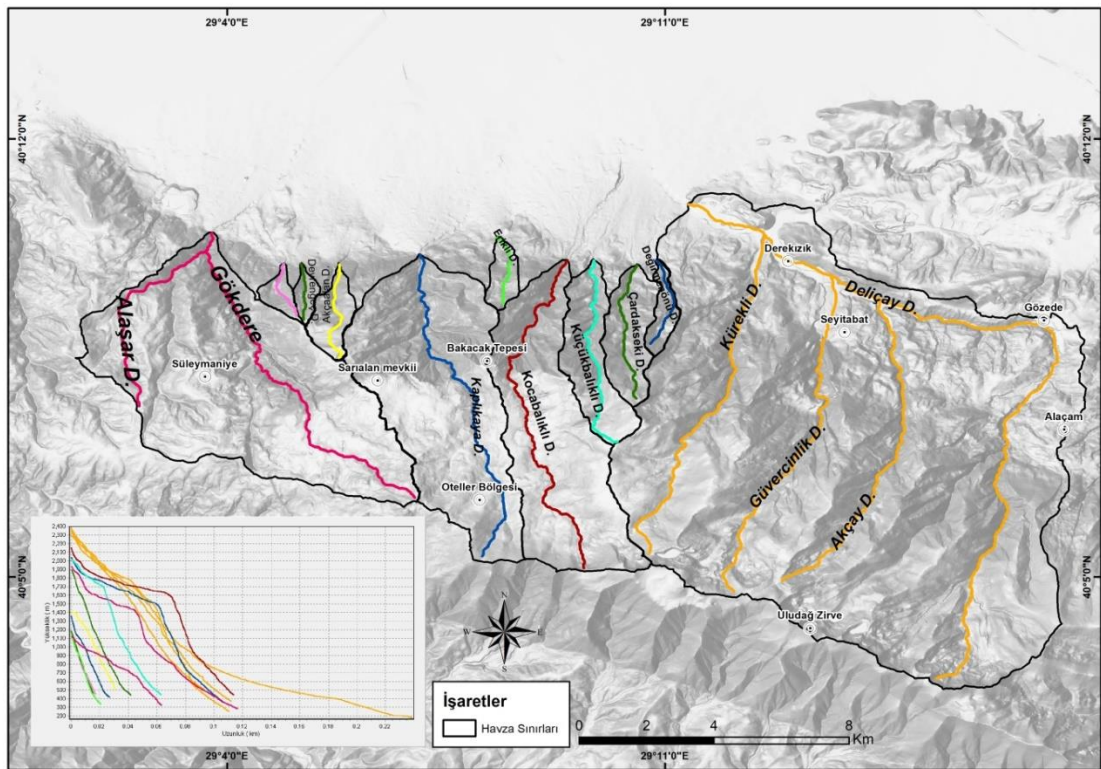
Akarsular aşındırma, taşıma ve biriktirme süreçlerini meydana getirerek sürekli derine kazarlar ve denge profiline ulaşmaya çalışırlar. Bir akarsuyun denge profiline ulaşmak istemesiyle, denge profiline ulaşmasını etkileyen faktörler arasında karmaşık türden bir ilişki vardır (Demoulin,1998:201). Bu karmaşık ilişkiler (Şekil 14) görselde yer almaktadır.



Şekil 14. Denge profilinin oluşturulmasındaki karmaşık ilişkiler.
(Demoulin,1998'den Değiştirilerek)

Şekildeki özellikler incelendiğinde tektonizma, morfoloji, litoloji, yapısal özellikler ve iklim denge profilini oluşturmada ana parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu parametrelerin sonucunda ortaya çıkan topografya ve akarsu ağları da akarsu uzunluğunu, yatak malzemesini, yatak eğimini ve akımı etkilemektedir. Bu etkenlerin tamamı birleşerek drenaj havzalarında denge profili süreçlerini meydana getirmektedirler (Demoulin,1998:201).

Drenaj havzalarındaki akarsuların boyuna profillerinin havza yapılarını net yansıtması amacıyla Deliçay ve Gökdere gibi birden fazla büyük yan koldan oluşan havzaların bu kolları da alınan profillere dâhil edilmiştir. Bunun dışındaki diğer havzaların tamamı uzunlamasına ve nispeten daha küçük yapıda olmaları dolayısıyla sadece ana kollarında boyuna profiller incelenmiştir. Deliçay 'da ana kol ve ona katılan 3 büyük yan kol incelemeye alınmıştır. Gökdere de ise ana kol ve ona güneybatıdan katılan yan kol incelemeye alınmıştır. Bu sayede çalışma sahasındaki drenaj havzalarının bütün topografik gelişimi tüm detayları ile incelenmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Çalışma alanındaki akarsuların boyuna profilleri.

Deliçay Deresi'nin ana kolu hariç diğer akarsuların hemen hepsinde dış bükeylik hâkimdir. Bu durum akarsulardaki aşındırma süreçlerinin halen yoğun bir şekilde devam ettiğinin önemli bir kanıtıdır. Deliçay'ın boyuna profiline bakıldığında ise iç bükeye yakın bir durum sergilemektedir. Bu durum akarsuyu diğerlerinden çok daha olgun bir safhaya taşımaktadır. Ancak burada çok önemli bir konu var ki Deliçay havzasına Uludağ'ın zirve kesiminden doğarak hızla katılan güçlü yan kolların varlığı

ile alt havzalarda Deliçay akarsuyu halen çok güçlü ve genç bir drenaj ağı görüntüsü göstermektedir.

Akarsu boyuna profilleri detaylı şekilde incelendiğinde özellikle 1400-1800 metrelerdeki pozitif anomaliliklerin yüksek olması bu bölümde drenaj havzalarının aşındırma güçlerinin fazla olduğunun göstergesidir. Aynı durum eğim ve SPI indekslerinin sonuçlarında da belirgin şekilde görülmektedir. Özellikle bu anomalilerin olduğu noktalarda akış hızları ve aşındırma güçleri artan bu akarsular yamaçtan aşağıya doğru büyük bir hızla hareket etmektedirler. Özellikle ilkbahar aylarındaki kar erime dönemlerindeki debileri de artan bu akarsular havza önlerindeki alüvyal fan girişlerinde sel taşkın anlamında önemli problemlere neden olabilmektedir.

1.6. HAVZA MORFOMETRİK ÖZELLİKLERİ

Morfometrik özellikler havzanın hidrolojik davranışlarını ve havza dinamiklerini düzenleyen özelliklerdir. Horton (1945) tarafından başlatılan havza temelli morfometrik çalışmalar, Strahler (1952) ve Schumm (1956) tarafından daha da geliştirilerek havza morfometrik analizlerinin temellerini oluşturmuşlardır. Önceki çalışmalar sayesinde morfometrik analizlerin gelişmesi akarsu jeomorfolojisinin kantitatif bir şekilde bir bütün olarak incelenmesine olanak sağlamıştır (Arabameri vd.,2020:874). Sayısal ölçümler, farklı arazi şekillerinin karşılaştırılması ve parametrelerin hesaplanmasında jeomorfologların daha nicel sonuçlar vermesini sağlamıştır (Keller ve Pinter, 2002:121). Havza morfometrik özellikleri günümüz CBS'nin imkân ve kabiliyetleri ile ölçüm ve analizleri eski sistemlere oranla çok daha kolay ve otomatik bir şekilde yapmaktadır. Morfometrik analizlerin sonucunda üretilen veriler, çalışma sahasındaki drenaj havzaları ile alüvyal fanların taşkın duyarlılıklarını daha etkin şekilde göstermiştir. Havza özelinde yapılan morfometrik analizlere bakıldığında; Çizgisel morfometrik analizlerden; Çatallanma Oranı (R_b), Uzunluk oranı (R_L) ve Tekstür oranı (T) analizleri yapılmıştır. Alansal Morfometrik analizlerden; Drenaj yoğunluğu (D_d), Akarsu Sıklığı (F_s), Havza Şekli (R_f) ve Uzunluk Oranı (R_e) morfometrik analizleri yapılmıştır. Relief morfometrik analizlerinden; Havza Reliifi (B_h), Relief Oranı (R_h), Engebelilik Değeri (R_n) ve Akım Toplanma Zamanı (T_c) analizleri yapılmıştır. Yukarıda verilen vektör veri tabanlı morfometrik analizler drenaj havzalarının tamamında uygulanmıştır. Yapılan morfometrik analizlerde kullanılan temel morfometrik havza özellikleri Tablo 3'te ve

kullanılan morfometrik parametreler ve bunlara ait matematiksel ifadeleri de Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3. Drenaj havzalarının temel morfometrik özellikleri

Havza Adı	Çevre Uzunluk (Km)	Alan (km ²)	Havza Uzunluğu km	Min. Yükseklik (m)	Max. Yükseklik (m)	Akarsu Dizinleri (Nu)					Toplam Dizin Sayısı	Toplam Dizin Uzunluğu
	(P)	(A)	(L)	H _{min}	H _{max}	D1	D2	D3	D4	D5	ΣN _U	(ΣL)(m)
Devrengeç Havzası	4	0.6	1.8	448	1230	4	1	0	0	0	5	1990
Akçaalan Havzası	7	1.8	2.8	499	1425	4	1	0	0	0	5	4182
Çukuryayla Havzası	5	0.8	2.1	447	1230	2	1	0	0	0	3	1818
Erikli Havzası	5	1.1	2.2	332	1260	3	1	0	0	0	4	2693
Değirmenönü Havzası	7	1.2	2.8	413	1625	4	1	0	0	0	5	5370
Çardakseki Havzası	10	3.6	4.1	433	1992	12	2	1	0	0	15	14442
Küçükbalıklı Havzası	13	4.8	5.5	437	2075	19	2	1	0	0	22	15765
Gökdere Havzası	27	31.8	10.7	280	1975	123	23	5	2	1	154	116251
Hacıvat Havzası	24	21.6	9.3	360	2142	65	14	4	1	0	84	64353
Kocabalıkı Havzası	24	16.9	9.6	440	2485	44	8	1	0	0	53	42460
Deliçay Havzası	47	106.9	15.9	175	2540	276	48	9	1	0	334	328220

Tablo 4. Çalışmada kullanılan morfometrik parametreler ve matematiksel tanımlamalar

Çizgisel Morfometri	Matematiksel İfade	Kaynak
Çatallanma Oranı (R_b)(Strahler, 1964; Schumm, 1956)(N_u =Toplam Dizin Sayısı, N_{u+1} =Bir Sonraki Toplam Dizin Sayısı)	$R_b = N_u / N_{u+1}$	(Strahler, 1964; Schumm, 1956)
Akarsu Uzunluk Oranı (R_L)(L_u =Dizin Toplam Uzunluğu(m), L_{u+1} =Bir Sonraki Dizin Toplam Uzunluğu (m))	$R_L = L_u / L_{u+1}$	(Horton, 1945; Strahler, 1964)
Tekstür Oranı (T)(N_{u+1} =1.Dizinlerin Toplam Sayısı, P=Havza Çevre Uzunluğu(Km))	$T = N_{u+1} * (1/p)$	(Horton, 1945)
Alansal Morfometri	Matematiksel İfade	Kaynak
Drenaj Yoğunluğu(D_d)(ΣL =Drenajın Toplam Uzunluğu(m), A=Havza Alanı(km ²))	$D_d = \Sigma L / A$	(Horton, 1945)
Uzunluk Oranı (R_e)(L_m =Havza Çevre Uzunluğu Uzunluğu(km), A=Havza Alanı(km ²))	$R_e = 2 / L_m * (A/\pi)^{0.5}$	(Schumm, 1956)
Havza Şekli (R_f)(A=Havza Alanı (km ²), L_b =Havza Uzunluğu(km))	$R_f = A / L_b^2$	(Horton, 1932; Horton, 1945)
Akarsu Sıklığı(F_s)(N=Toplam Dizin Sayısı, A= Havza Alanı (km ²))	$F_s = N / A$	(Horton, 1945)
Rölyef Morfometri	Matematiksel İfade	Kaynak
Rölyef Oranı (R_h)(H=Havza Rölyefi, L=Maksimum Havza Uzunluğu)	$R_h = H / L$	(Schumm, 1956; Patton, 1988)
Havza Rölyefi(B_h)(H_{max} =Maksimum Yükselti, H_{min} =Minimum Yükselti)	$B_h = H_{max} - H_{min}$	(Schumm, 1956)
Engelibelik Değeri(R_n)(B_h Havza Rölyefi, D_d =Drenaj Yoğunluğu)	$R_n = B_h * D_d$	(Schumm, 1956; Melton, 1957)
Akım Toplanma Süresi(T_c)(L=Maksimum Ana Akarsu Uzunluğu, S= Havza Eğimi)	$T_c = 0.0195 * L^{0.77} / S^{0.385}$	(Verstarpen, 1983; Kirpich, 1940)
Hipsometrik İntegral(H_i)Engelibelik Değeri(R_n)(B_h Havza Rölyefi, D_d =Drenaj Yoğunluğu)	$R_n = B_h * D_d$	(Schumm, 1956; Melton, 1957)

1.6.1. Çizgisel Morfometri

Çatallanma oranı (R_b): Strahler akarsu dizin metodlarına göre oluşturulan morfometrik bir orandır (Horton,1932; Strahler,1957; Pike,2009). Her akarsu kolunun kendi boyutları özelinde ana kola bir katkısı vardır (Strahler,1957). Strahler yöntemine bağlı olarak belirli bir dizinin havzadaki toplam sayısının, bir üst dizinin havzadaki toplam sayısına oranıdır ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$R_b = N_u / N_{u+1}$ Formülde;

N_u : Dizin sayısı,

N_{u+1} : Bir sonraki dizin sayısı'dır.

Çatallanma oranında dizin sayıları farklı değerlerde çıkabilmektedir. Çıkan sonuçlar sabit değerler olmayıp birden fazla havzaya uygulandığında anlamlı sonuçlar çıkmaktadır (Özdemir,2011:460). R_b değerlerine bakıldığında sonuçları 3 ile 5 arasında çıkan drenaj havzalarında litolojinin daha homojen olduğu ve topografik engebелiliğın çok ön planda olmadığı anlaşılmaktadır (Özdemir,2011; Utlu & Özdemir, 2018). 3 ile 5 arasındaki R_b değerleri aynı zamanda tektonizmanın drenajı bozucu yönde etki etmediğı anlamına da gelmektedir.

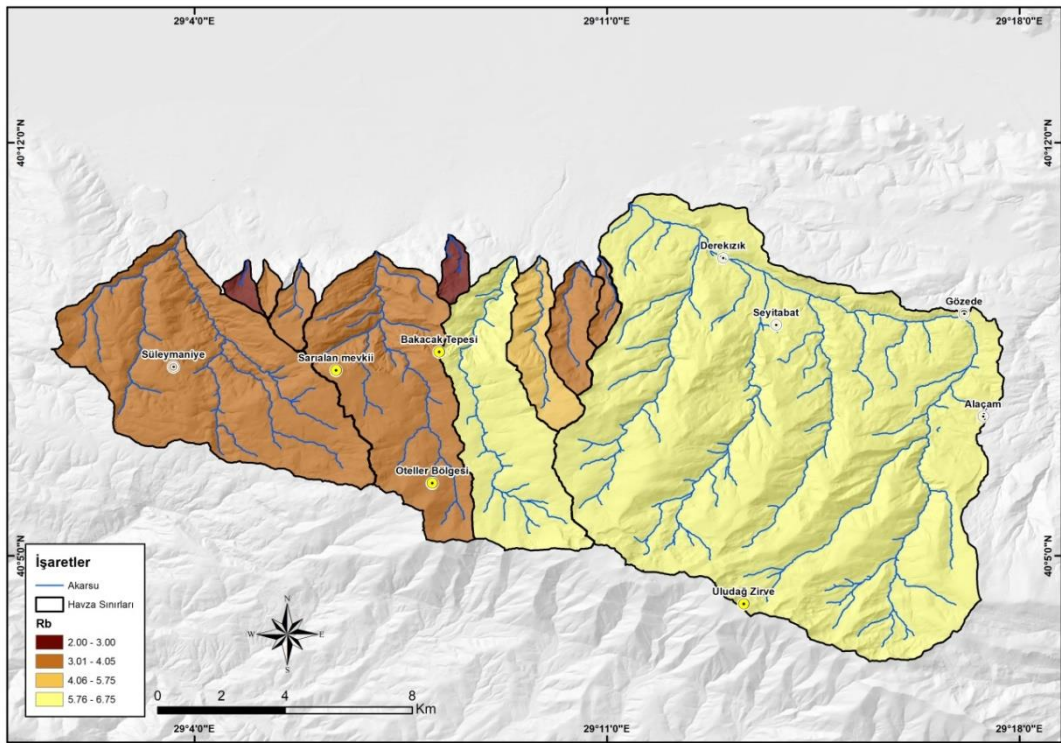
Düşük R_b değerlerine sahip havzalarda akımlara ait hidrograflara bakıldığında daha yüksek ve keskin olurken, yüksek R_b değerlerine sahip havzalarda ise daha devamlı ve düşük hidrograflar çıkmaktadır (Özdemir,2011:460-462). Düşük R_b değerleri, drenaj havzanın az geçirimli olduğuna ve düşük infiltrasyon kapasitesi ile birlikte yüzeysel akışının daha yüksek ve etkili bir akış ile meydana geldiğine ve ayrıca etkili bir debiye sahip olduğunun göstergesidir (Strahler, 1964:42 Verstappen, 1983). Yüksek R_b değerleri ise, sızma kapasitesi yüksek ve genellikle geçici drenaja sahip akarsularda yaygındır (Strahler, 1964:42). Yapılan araştırmaların sonuçları doğrultusunda, R_b değerinin düşük çıkması havzann taşkın piki üretme kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Drenaj havzalarındaki R_b oranlarına bakıldığında ortalama R_b değeri 4.35 iken, havzalar arasında değerler ise 2.00 ile 6.75 arasında değişmektedir (Tablo 5). Sonuçlar havza bazlı farklılıklar gösterebilmektedir. Burada Verstappen'in (1983), çatallanma

oranı standardında da belirttiği gibi değerler her zaman 3.00 ile 5.00 arasında çıkmamaktadır.

Tablo 5. Çizgisel morfometrik parametrelere ait sonuçlar

Havza Adı	Çatallanma Oranı (R _b)	Uzunluk Oranı (R _L)	Tekstür Oranı (T)
Devrengeç Havzası	4.00	0.40	0.99
Akçaalan Havzası	4.00	3.54	0.59
Çukuryayla Havzası	2.00	1.62	0.42
Erikli Havzası	3.00	1.05	0.58
Değirmenönü Havzası	4.00	1.58	0.61
Çardakseki Havzası	4.00	1.52	1.21
Küçükbalıklı Havzası	5.75	3.10	1.46
Gökdere Havzası	3.61	4.43	4.52
Hacıvat Havzası	4.05	2.26	2.68
Kocabalıklı Havzası	6.75	2.39	1.81
Deliçay Havzası	6.69	2.22	5.84
Havzaların Ortalaması	4.35	2.19	1.88

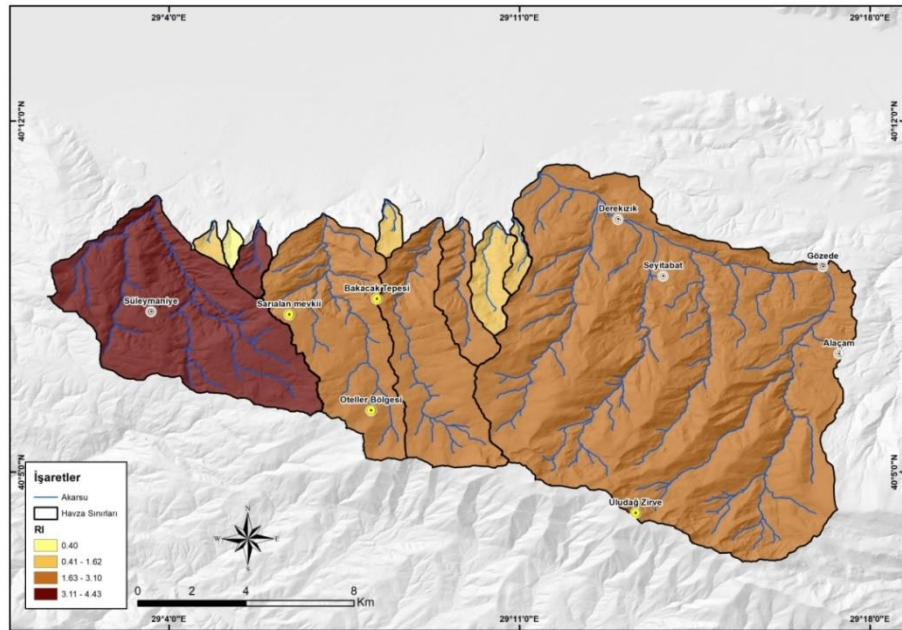


Şekil 16. Drenaj havzalarında çatallanma oranı (R_b) dağılışı.

Düşük R_b değerlerinin taşkın duyarlılığını arttırdığı gerçeği üzerinde durularak Çukuryayla havzası en düşük R_b değeri ile diğer havzalardan ayrılmaktadır. Özellikle Çukuryayla, Erikli, Devrengeç, Akçaalan, Değirmenönü, Çardakseki gibi boyutları itibariyle küçük olan bu drenaj havzaları çok fazla yan kola sahip olmamaları ve küçük

bir ana kol ve buna bağılı olarak hızla gelişen bir drenaj ağı sistemlerine sahip oldukları için değerleri bu şekilde çıkmaktadır (Şekil 16).

Uzunluk oranı (R_L): Hesaplamalarında akarsu dizinleri esas alınmaktadır (Horton, 1945; Strahler, 1964). Dizin sayılarının uzunluklarının, bir üst dizin sayısına uzunluğuna oranı ile hesaplanarak drenaj havzası için ortalama akarsu uzunluk oranı R_L bulunur. Drenaj havzalarındaki akarsuların alt dizinlerin sayısının yüksek olması, akarsu uzunluk oranı ortalama değerlerini bir alt dizine yakın olmasına neden olmaktadır. Uzunluk oranında genel prensip olarak; düşük R_L değeri olan havzalar dar ve uzun, yüksek R_L değerine sahip havzalar ise uzunluk ve genişliklerinin birbirine yakın olduğu daha oval havzalardır. R_L değeri yüksek olan drenaj havzalarında alt dizinlerden gelen yüzeysel sular hızla birleşerek bir araya gelir. Bu durum yüzeysel su kütlesinin artmasına ve hızla akarsu yatağındaki kanalın dolmasına neden olmaktadır. Hatta bu artış ile yatak taşıma kapasitesinin bile üstüne çıkan durumları meydana gelir (Özdemir,2011:460). Yüksek R_L değerine sahip drenaj havzalarında taşkın duyarlılığı daha yüksektir (Horton, 1945; Strahler, 1964). Açıklamalar doğrultusunda çalışma sahasındaki drenaj havzalarının R_L değerlerine bakıldığında ortalama R_L değeri 2.19 iken havzalar arasında değerler 0.40 ile 4.43 arasında değişmektedir (Tablo 5). Devrengeç havzası en düşük R_L değerlerine sahipken Gökdere havzası en yüksek değere sahiptir (Şekil 17).



Şekil 17. Drenaj havzalarında uzunluk oranı (R_L) dağılışı.

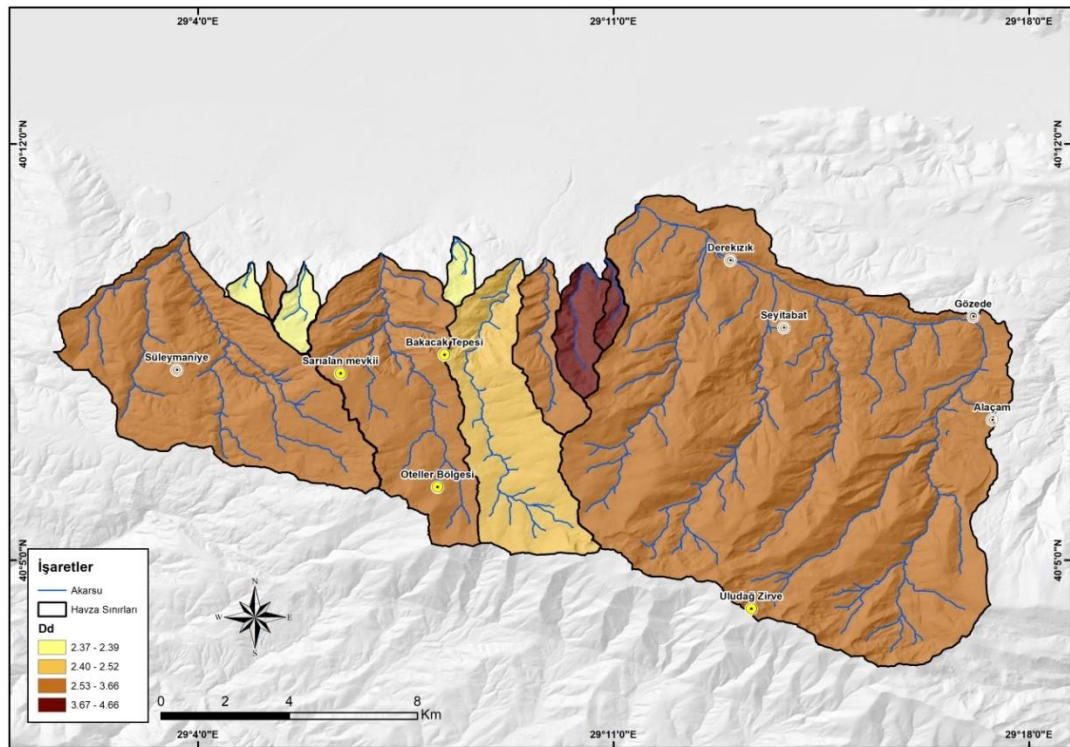
başlık altında drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, havza şekli ve uzunluk oranları incelenmiştir.

Drenaj yoğunluğu (D_d): Bir akarsu havzasındaki toplam drenaj uzunluğunun, toplam havza alanına bölünmesi ile elde edilir (Horton,1932; Strahler, 1975). Ayrıca drenaj havzalarının akarsular tarafından yarıлма derecesini gösteren önemli bir ölçüttür (Verstappen,1983). Drenaj yoğunluğunu etkileyen faktörlere bakıldığında zemin geçirgenliği, bitki örtüsü seyrekliği veya sıklığının durumu, rölyef özelliklerinin dağılışı ve iklim parametreleri karşımıza çıkmaktadır (Reddy vd.,2004; Verstappen,1983). Havzaların drenaj yoğunlukları değerlendirilirken sadece devamlı akarsular değil, kuru vadilerde çalışmaya dâhil edilmiştir. Taşkınlara neden olan düzensiz akışlarda sular bu kuru vadilerden akar ve bu vadilerin de hesaplamalara katılması havzaların taşkın üretmedeki katkılarını da ortaya koymaktadır (Özdemir,2011:464). Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu havzalar aynı zamanda taşkın duyarlılığının da yüksek olduğu havzalara karşılık gelmektedir.

Çalışma sahasındaki drenaj havzalarının yoğunluklarına bakıldığında Ortalama değer 3.1 iken havzalar arasında değerler 2.37 ile 4.66 değerleri arasında değişmektedir (Tablo 6). Havza bazında en yüksek D_d değerini 4.66 ile Değirmenönü havzası almakta iken en düşük D_d değeri ise Akçaalan ve Çukuryayla havzalarında görülmektedir (Şekil 19).

Tablo 6. Alansal morfometrik parametrelere ait sonuçlar

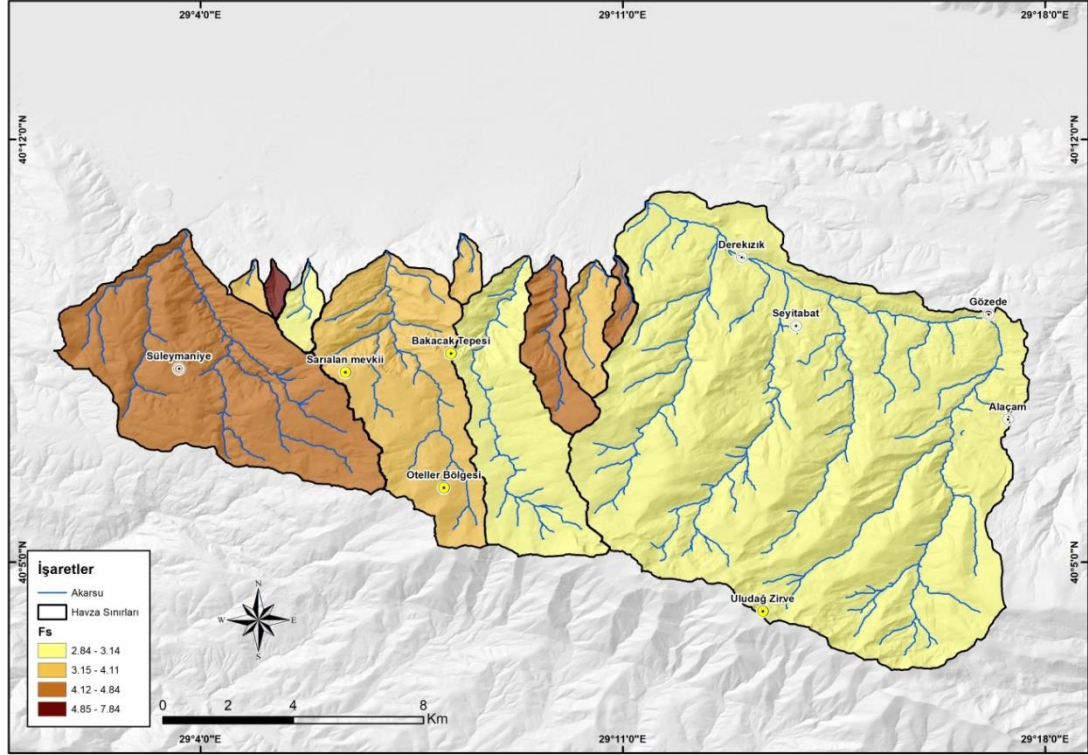
Havza Adı	Drenaj Yoğunluğu (D_d)	Akarsu Sıklığı (F_s)	Havza Şekli (R_f)	Uzunluk Oranı (R_e)
Devrengeç Havzası	3.12	7.84	0.19	0.49
Akçaalan Havzası	2.37	2.84	0.22	0.53
Çukuryayla Havzası	2.37	3.92	0.17	0.47
Erikli Havzası	2.39	3.55	0.23	0.54
Değirmenönü Havzası	4.66	4.34	0.14	0.43
Çardakseki Havzası	3.96	4.11	0.21	0.52
Küçükbalıklı Havzası	3.26	4.55	0.16	0.45
Gökdere Havzası	3.66	4.84	0.28	0.60
Hacıvat Havzası	2.98	3.89	0.25	0.56
Kocabalıklı Havzası	2.52	3.14	0.18	0.48
Deliçay Havzası	3.07	3.12	0.43	0.74
Havzaların Ortalaması	3.1	4.2	0.2	0.5



Akarsu sıklığı (F_s): Havzadaki toplam dizinlerin sayısının havza alanına bölünmesiyle elde edilir (Horton,1945). Akarsu sıklığının değerlerinin yüksek olması geçirimsiz zeminleri ve bitki örtüsü bakımından zayıf olan yerleri gösterirken aynı zamanda yüksek relief özelliklerine vurgu yapar. Düşük olan akarsu sıklığı verileri ise geçirimli jeolojik özelliklerin yanında arızalı olmayan relief özellikleri hakkında da bilgi verir (Reddy vd.,2004:6). Akarsu sıklığı değerinin yüksek çıkması yağışla gelen suyun infiltrasyon gibi kayıplardan minimum derecede etkilenip, hızla yüzeysel akışa geçmesine ve ani pikler yaparak, taşkın duyarlılıklarının da yüksek olmasına neden olmuştur.

Havzaların F_s değerlerine bakıldığında ortalama değer 4.2 iken havza bazlı değerler ise 3.12 ile 7.84 değerleri arasında değişmektedir (Tablo 6). Değerler itibariyle Devrengeç havzası en yüksek değerleri alırken Deliçay havzası ise en düşük F_s değerlerine sahiptir (Şekil 20). Burada dikkat çekilmesi gereken husus, alansal büyüklük olarak sahadaki en gelişmiş havzalar olan Gökdere, Deliçay, Kocabalıklı, Hacivat havzalarında alansal olarak küçük havzalara göre düşük F_s değerlerinin çıkması

büyük havzalardaki yüzey alanının, geçirimsizlik oranının ve bitki örtüsünün sıklığı ile ilgilidir.

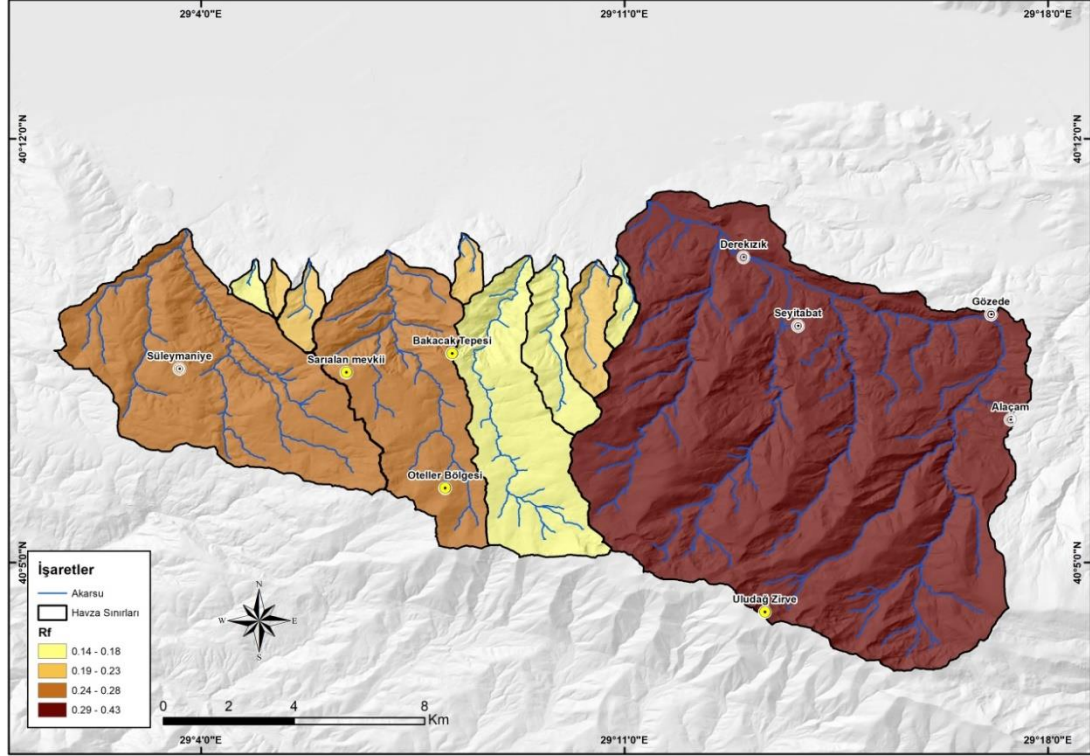


Şekil 20. Drenaj havzalarında akarsu sıklığının (F_s) dağılışı.

Havza şekli (R_f): Havza alanının havza uzunluğunun karesine bölünmesiyle elde edilen bir analizdir (Horton,1932). Bu yöntem kullanılarak havza şeklinin uzunlamasına mı yoksa dairesel mi olduğu hakkında çıkarımlar yapılmaktadır (Strahler,1975). Havza şekli analizinde R_f değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Değer 1'e yaklaştıkça havza dairesel görünüme doğru giderken, 0'a yaklaşan R_f değerlerinde ise havza uzunlamasına bir form kazanır. Yüksek R_f değerine sahip havzalarda yan kollar kısa sürede bir üst dizine bağlanır. Hızla birleşerek bir araya gelen bu akımlar yüksek miktarda yüzeysel akışlara neden olmaktadır. Bu kapsamda genel kanı yüksek R_f değerine sahip havzalarda taşkın duyarlılığının yüksek olduğudur (Özdemir, 2011).

Çalışma sahasındaki drenaj havzalarının R_f oranlarına bakıldığında ortalama değer 0.2 iken havza bazlı değerler ise 0.14 ile 0.43 arasında çıkmaktadır (Tablo 6). Burada Değirmenönü havzası en düşük değerleri verirken Deliçay havzası yüksek R_f değeri ile havzalar içerisinde en yüksek değerleri vermektedir (Şekil 21). R_f değerlerinin

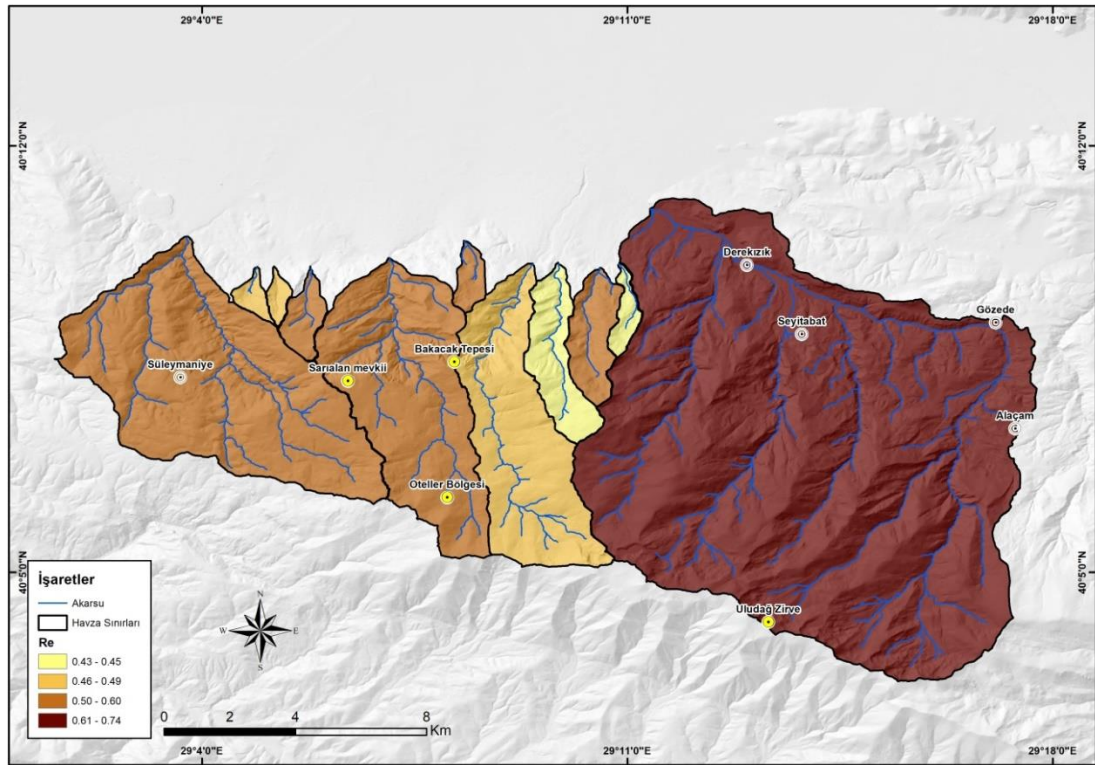
oluşmasındaki en önemli faktörün havza alanı ve uzunluğu olduğu düşünüldüğünde alansal olarak diğer havzalardan çok büyük olan Deliçay havzasında böyle bir sonuç çıkması olasıdır.



Şekil 21. Drenaj havzalarında havza şeklinin (R_f) dağılışı.

Uzunluk oranı (R_e): Havza ile aynı alana sahip bir dairenin çapı ile havzanın maksimum uzunluğu arasındaki oranla tanımlanır (Schumm, 1956). Uzunluk oranı değerleri havzanın infiltrasyon kapasitesi ve yüzeysel akışı hakkında bilgi verir. Düşük R_e değerleri yüksek geçirgenliğin ve düşük yüzeysel akışın olduğu alanları gösterirken, yüksek R_e değerleri ise erozif faaliyetlerin yüksek olduğunu ve sediman taşınımının fazla olduğunu gösterir. R_f değerlerinde olduğu gibi değerin 1'e yaklaşması havzanın aynı zamanda daha dairesel bir görünüm kazandığının da göstergesidir (Verstappen, 1983; Reddy vd., 2004:7-8). Yukardaki özellikler doğrultusunda yüksek R_e değeri taşkın duyarlılığını arttırmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde çalışma sahasındaki havzalarda ortalama R_e değeri 0.5 iken havza bazlı R_e değerlerine bakıldığında 0.43 ile 0.74 değerleri arasında sonuçlar çıkmaktadır (Tablo 6). Burada Değirmenönü havzası R_e açısından nispeten düşük ve daha uzunlamasına bir havzayı

temsil ederken, Deliçay havzasında ise yüksek ve daha dairesel bir havza karakteri görülür (Şekil 22). Çıkan sonuçlar R_f faktörü açısından da değerlendirildiğinde özellikle havza şekli bağlamındaki sonuçlara benzer sonuçları verir. Ancak en düşük çıkan sonuçlar arasında değişiklikler görülmektedir. R_e ve R_f faktörleri benzer alansal özellikleri yakalamalarına rağmen detayda bakıldığında bazı farklılıkları görülmektedir. Çalışmada iki faktöründe kullanılmasının temel amacı olası sonuç kaybının önlenmesidir. Bu analizde dikkat çekici bir nokta var ki; Deliçay, Gökdere, Kaplıkaya gibi alansal olarak büyük havzalar aynı zamanda geniş bir alanı drene ettikleri için bol miktarda sediman taşırlar. Bu üç büyük havzanın alansal büyüklüğü nispetinde infiltrasyon kapasiteleri de diğer havzalara oranla fazla olmaktadır. Ancak küçük boyutlu, dik eğimli ve hızlı yüzeysel akışa geçme potansiyeline sahip Değirmenönü, Küçükbalıklı, Çukuryayla ve Kocabalıklı gibi havzalarda ise R_e değeri düşük çıkmıştır. Aslında bu durum morfometrik analizin taşkına etkisini araştırırken hangi kriterleri daha öncelikli kılacağımız ile ilgili bir durumdur.



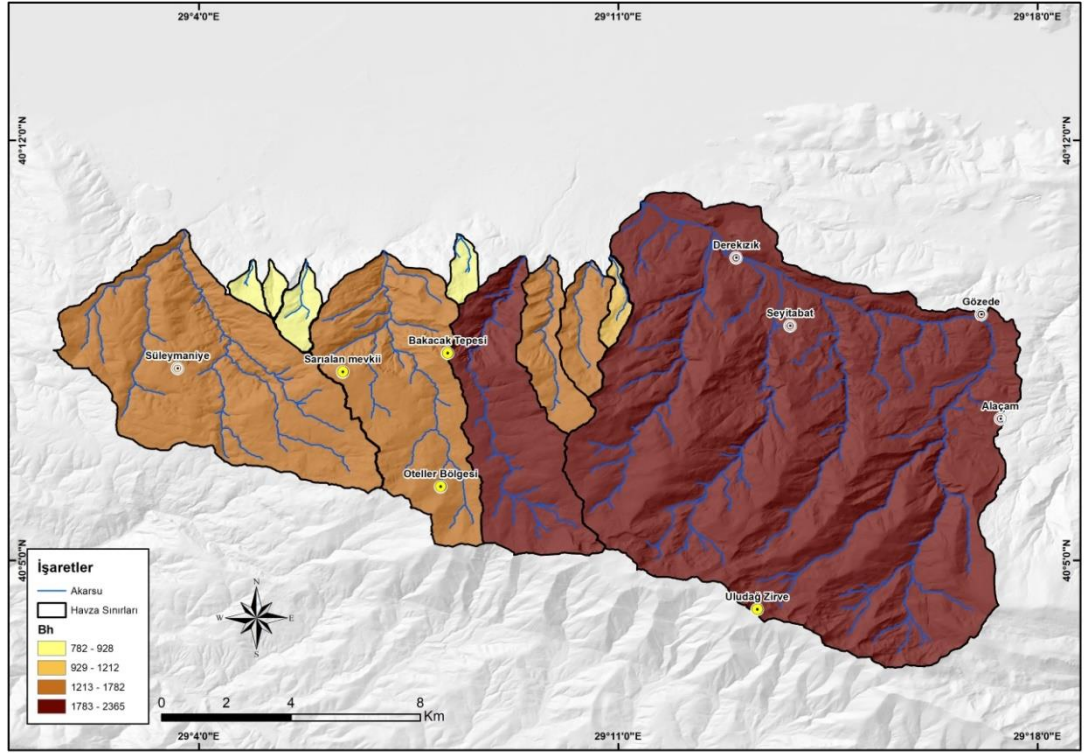
Şekil 22. Drenaj havzalarında uzunluk oranı (R_e) dağılışı.

1.6.3. Rölyef Morfometri

Havza rölyefi (B_h): Havzanın maksimum yüksekliği ile minimum yüksekliği arasındaki farkı ifade eder (Schumm, 1956). Drenaj havzasında B_h değerinin yüksek çıkması, engebililik değerinin yüksek, yamaç eğimlerinin ve akarsu yatak eğimlerinin fazla olduğunu gösterir. Havzadaki bu karakter yüzeysel akış hızını arttırır ve havzanın su toplama potansiyelinin artmasına olumlu yönde katkı sağlamaktadır (Özdemir,2011:464). Bu durum da havzanın taşkın duyarlılığının artmasında doğrudan etkilidir. Çalışma sahasındaki drenaj havzalarının B_h değerlerine bakıldığında ortalama değer 1429 metredir. Havza bazlı değerler ise 782m ile 2365m arasındadır (Tablo 7). En yüksek B_h değeri kaynağını Uludağ'ın zirvesinden alan Deliçay havzasında yer alır. En düşük B_h değeri ise Kuzey yamaçlardaki fay dikliklerinden akıma başlayan Devrengeç havzasındadır (Şekil 23).

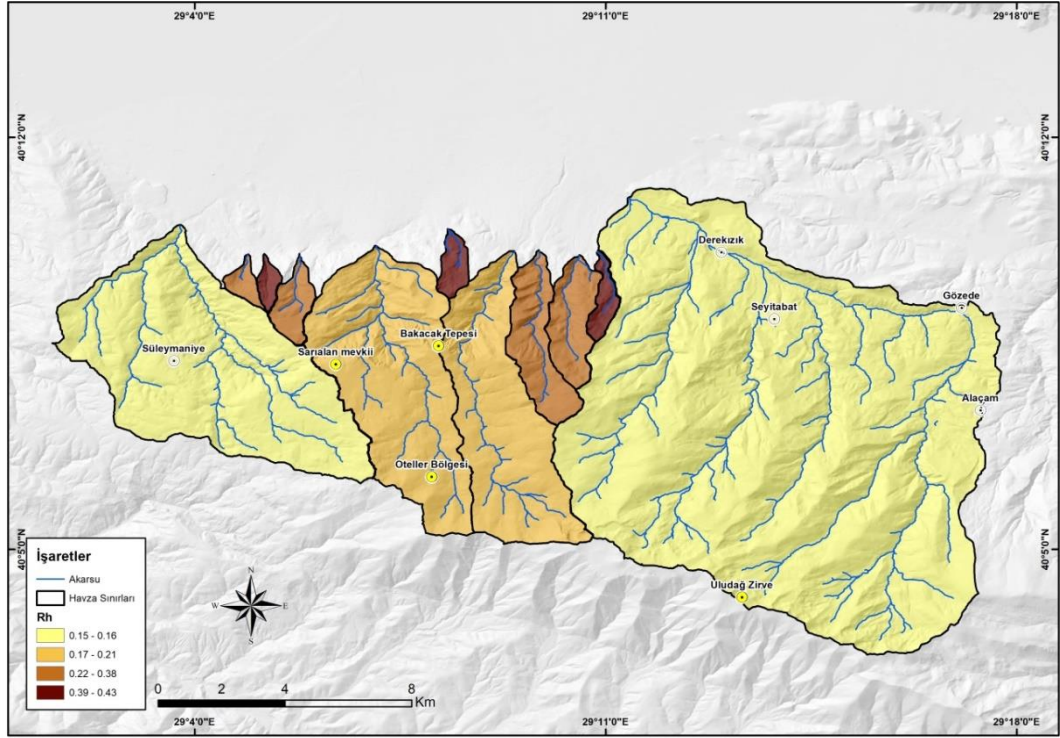
Tablo 7. Rölyef morfometrik parametrelere ait sonuçlar

Havza Adı	Havza Rölyefi (B_h)	Rölyef Oranı (R_h)	Engelibilik Oranı (R_n)	Akım Toplanma Zamanı (T_c)	Hipsometrik Eğri (H_i)
Devrengeç Havzası	782	0.43	2.44	4.33	0.59
Akçaalan Havzası	926	0.33	2.20	6.29	0.67
Çukuryayla Havzası	783	0.37	1.86	4.28	0.51
Erikli Havzası	928	0.42	2.22	5.06	0.51
Değirmenönü Havzası	1212	0.43	5.65	6.35	0.48
Çardakseki Havzası	1559	0.38	6.17	8.56	0.49
Küçükbalıklı Havzası	1638	0.30	5.34	10.50	0.59
Gökdere Havzası	1695	0.16	6.20	12.82	0.51
Hacıvat Havzası	1782	0.19	5.31	13.20	0.61
Kocabalıklı Havzası	2045	0.21	5.15	14.24	0.62
Deliçay Havzası	2365	0.15	7.26	21.39	0.53
Havzaların Ortalaması	1429	0.31	4.53	9.73	0.56



Şekil 23. Drenaj havzalarında havza rölyefi (B_h) dağılışı.

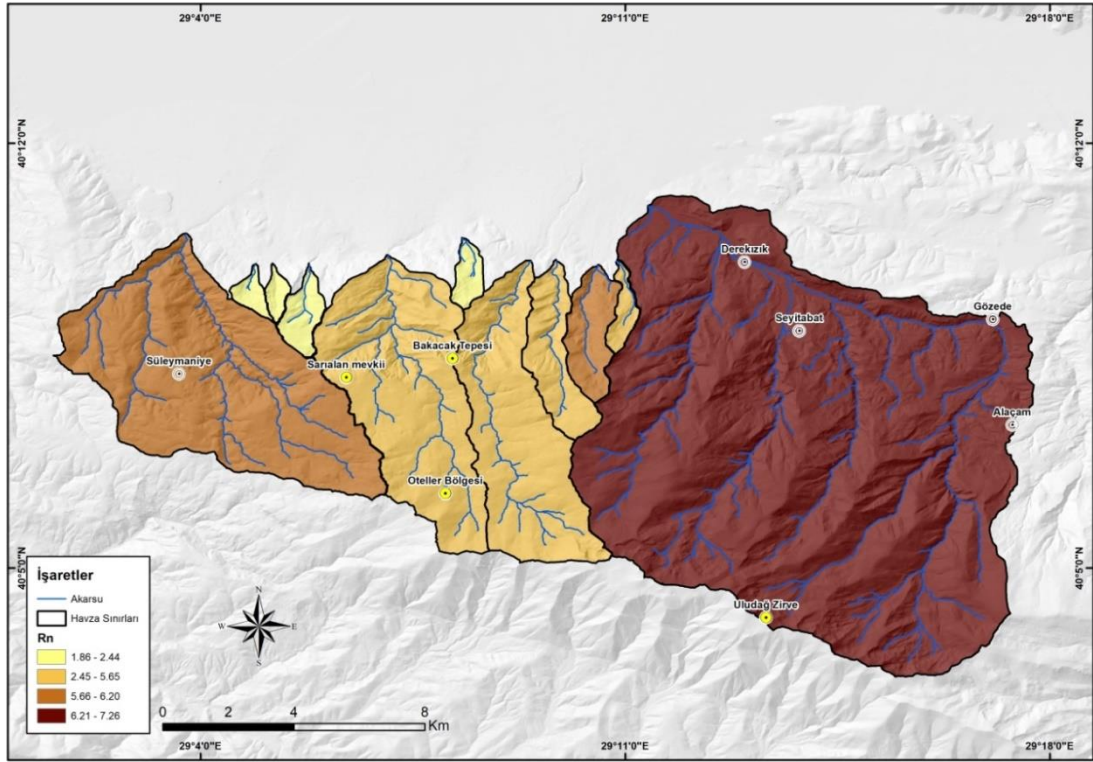
Rölyef oranı (R_h): Maksimum havza rölyefinin ana akarsuya paralel olan havza uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir (Schumm, 1956: 610; Patton, 1988: 56). Rölyef oranı drenaj havzalarındaki sediman kayıpları noktasında önemli bir parametredir. Rölyefin artması demek doğrudan yamaçların dikleşmesine ve yüzeysel akışın artmasına neden olmaktadır. Rölyef oranı ile drenaj yoğunluğu, akarsu yatak eğimi ve sediman arasında pozitif ilişki varlığı ispatlanmıştır (Horton, 1932; Verstappen, 1983; Patton, 1988: 62; Rana vd., 2016: 848). Rölyef oranının artması taşkın duyarlılığını pozitif yönde etkilemektedir. Bu bakımdan çalışma sahasındaki drenaj havzalarına bakıldığında ortalama R_h değeri 0.31 iken havza bazlı olarak 0,15 ile 0,43 değerleri arasında değişmektedir (Tablo 7). Burada taşkın duyarlılığı açısından Deliçay, Gökdere, Kaplıkaya gibi havzalar alansal büyüklüğü ve birçok yan koldan meydana gelmeleri dolayısıyla düşük R_h değeri verirken, Değirmenönü, Devrengeç, Erikli, Çardakseki gibi havzalar ise doğrudan yüzeysel akışa geçmeleri ve hızla yamaç aşağıya doğru ani pikler yapmaları dolayısıyla yüksek R_h değerleri vermektedir (Şekil 24).



Şekil 24. Drenaj havzalarında rölyef oranı (R_h) dağılışı.

Engebelilik değeri (R_n): Havza rölyef değerleri ile drenaj yoğunluğu değerlerinin çarpılması ile elde edilir (Melton, 1957). Ayrıca havzanın yarılma derecesi olarak da düşünülebilir. Rölyef değerinin artması ve drenaj yoğunluğunun fazla olması durumunda engebelilik değeri de artmaktadır. Bu yöntem havzada suyun yüzeyde kalması ve havzanın yarılma derecesi hakkında bilgiler vermektedir (Verstappen, 1983; Reddy vd., 2004). Engebelilik değeri arttıkça pik akımlarda artmalar meydana gelir, havzadaki erozif faaliyetler artar ve bu durumda da doğrudan sediman taşınımı etkilenir. Sonuç olarak böyle bir durumda taşkın duyarlılığı pozitif yönde artmaktadır (Özdemir, 2011: 465). Çalışma sahasındaki ortalama R_n değeri 4.53 iken havza bazlı değerler 1.86 ile 7.26 değerleri arasında değişmektedir (Tablo 7). Devrengeç, Çukuryayla, Erikli ve Akçaalan gibi havzalar kısa mesafelerde dik eğimlerde ani akışlar gösterdikleri için yarılma anlamında çok yüksek değerler vermemektedir. Bu tür havzalarda su yüzeyde fazla oyalanmaz ve direk akışa geçer. Deliçay gibi büyük havzalarda ise engebeliliğin fazla olmasıyla birlikte yarılma dereceleri de fazladır. Bu durum suyun bir şekilde havzadaki yarılmada oyalanmasına ancak bir noktadan sonra birleşerek yüksek akımlar

oluşturmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yüksek R_n değerlerine bağlı olarak Deliçay havzasında taşkın duyarlılığı diğer havzalara oranla yüksek çıkmaktadır (Şekil 25).

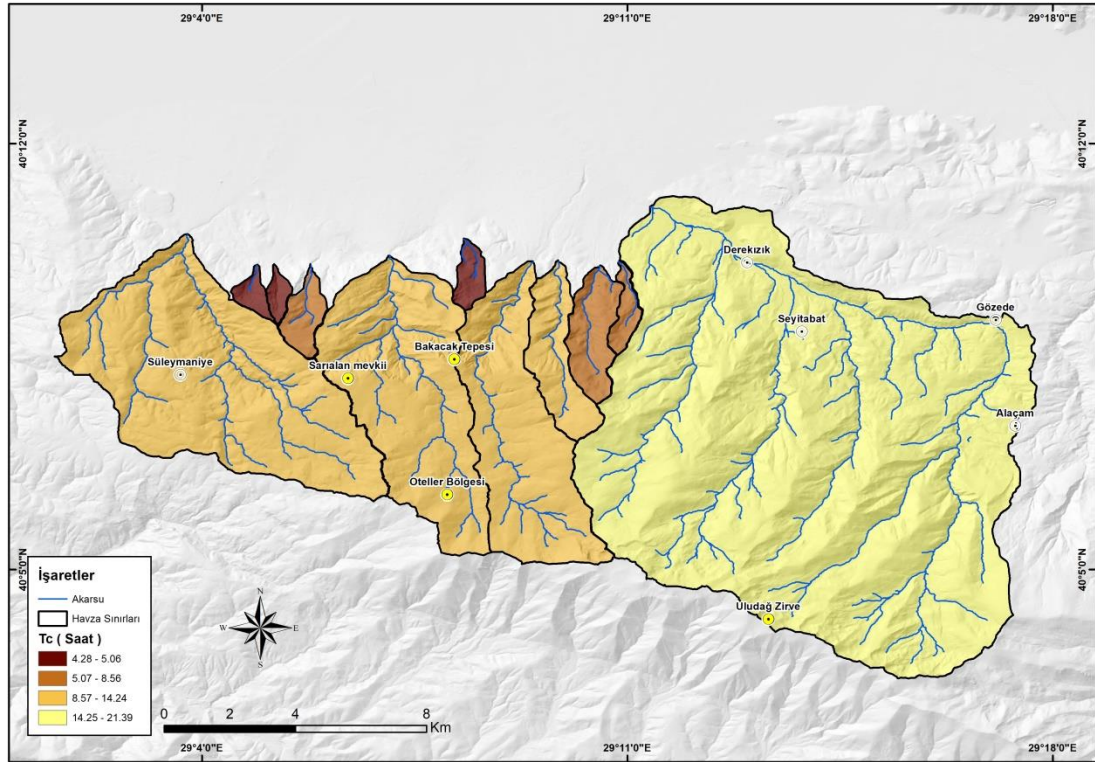


Şekil 25. Drenaj havzalarında engebелilik değeri (R_n) dağılışı.

Akım toplanma zamanı (T_c): Yüzeye düşen yağışın döküldüğü alandan havzanın en uzak noktasındaki ana kola veya denize döküldüğü yere kadarki geçen zamanı temsil eder (Kirpich, 1940:362 Fang, 2007:318). Topografya yüzeyindeki arızalı yüzeyler, kanal eğimi, kanal şekli, bitki örtüsü, zemin geçirimsizliği gibi koşullar akım toplanma zamanını değiştiren faktörlerdir (Kirpich, 1940:362). Akım toplanma zamanı ile taşkın duyarlılığı arasında ters orantı vardır. Yüksek T_c değerlerine sahip havzalarda taşkın duyarlılığı az olurken düşük T_c değerlerine sahip havzalarda taşkın duyarlılığı artmaktadır. Buradaki temel prensip, süre arttıkça suyun oyalanması da artar ve etkisi azalır. Ancak süre azaldıkça hızlı bir şekilde akım toplanır ve ani pikler yaparak taşkın meydana getirebilir.

Çalışma sahasındaki değerlere bakıldığında ortalama değer 9.73 (saat) iken havza bazlı değerler 4.33 (saat) ile 21.39 (saat) değerleri arasında değişmektedir (Tablo 7). Burada Devrengeç havzası akım toplanma verisi kapsamında taşkın duyarlılığının en

yüksek olduğu havzadır. Devrengeç, Akçaalan, Çukuryayla, Erikli gibi havzalardaki süreçler kısa mesafelerde yüksek eğim değerleri ve düşük drenaj yoğunluğuna bağlı olarak yağışın zaman kaybetmeden ve topografyada oyalanmadan hızla akışa geçmesine neden olmaktadır. Kısa tepki sürelerinde meydana gelen bu akışlar ani sellenmelere ve taşkınlara karşı duyarlı alanları meydana getirmektedirler. Bununla birlikte akım toplanma zamanı yüksek olan Deliçay, Kocabalıklı, Gökdere ve Kaplıkaya gibi havzalardır. Havza büyüklüğü, yan kolların birbirlerinden uzaklığı, yan kolların birleşim alanlarının farklı noktalarda olması ve akarsu yatağının eğiminin düşük olması gibi morfometrik özellikler neticesinde akım toplanma zamanının artmasına ve yüksek T_c değerlerine neden olmaktadır (Şekil 26).



Şekil 26. Drenaj havzalarında akım toplanma zamanı (T_c) dağılışı.

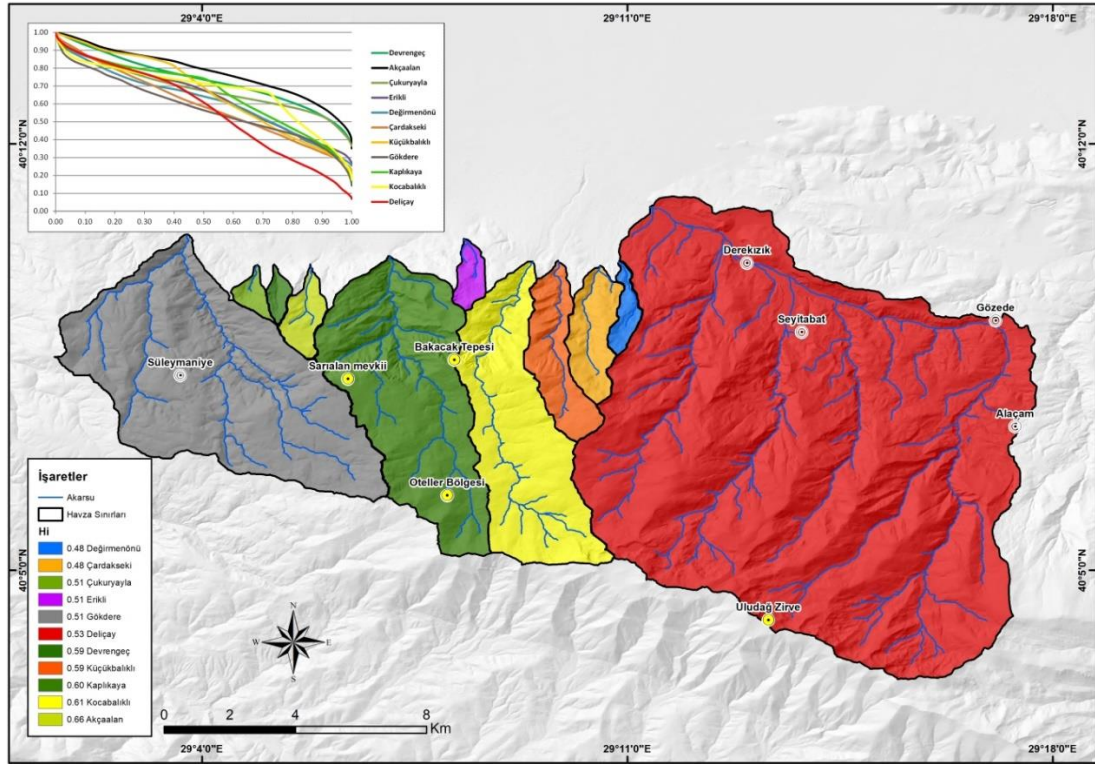
Hipsometrik eğri ve integrali (H_i): Bir morfolojik yüzeyin yükseklik dağılımını tanımlayan ve analiz eden en kullanışlı parametrelerin başında Hipsometri gelmektedir (Strahler,1952;Schumm,1956). Hipsometrik eğriler, hipsometrik integralin hesaplanması ile daha anlamlı olarak değerlendirilebilmektedir. Hipsometrik eğriden faydalanarak, belirli bir yükseltinin altındaki veya üstündeki alanın oranı temsil edilir.

Hipsometrik integral sonuçları ise Hipsometrik eğrinin altında kalan alanı temsil eder. Bu nedenle eğrinin şekli Hipsometrik integral değerlerini değiştirir (Pike ve Wilson, 1971:1081; Keller ve Pinter, 2002). Hipsometrik eğri ise, toplam yüksekliğin (h/H =rölatif yükseklik), toplam alana karşı (a/A =rölatif alan) iz düşüm hesabı yapılarak belirlenir (Strahler,1952). Rölatif alan değeri (a/A) her zaman için rölatif yüksekliğin (h/H) 0,0 olduğu havzanın en düşük noktasından, rölatif yüksekliğin (h/H)1,0 olduğu havzanın yüksek noktasına doğru 1,0 ile 0,0 değerleri arasında bir oranla değişiklik gösterir (Keller ve Pinter, 2002).

Hipsometrik integral esas olarak aşınma ve tektonik hareketler arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Drenaj havzaları jeomorfolojik gelişim olarak üç safhaya ayrılmaktadır. Bu ayrımlarının oluşmasında kuşkusuz hipsometrik eğri ve integral değerlerinin sayısal ifadeleri belirleyici olmuştur. Jeomorfolojik ayrımlara bakıldığında;

Gençlik safhası; dış bükey hipsometrik eğri ve 0,60'ın üzerinde bir Hipsometrik integral değeri ile meydana gelir. Bu tür havzalar erozyona karşı duyarlıdır. Olgunluk veya denge safhası; S şeklinde bir Hipsometrik eğri ile 0,30 ile 0,60 arasında bir hipsometrik integral değeri ile meydana gelir. Yaşlılık safhası; bu bölümde ise iç bükey bir hipsometrik eğri ile 0,30 değerinin altında bir hipsometrik integral değeri belirleyicidir. Bu tür havzalarda da aşınım süreçleri büyük oranda azalmış ve birikim süreçleri aktif rol almaktadır (Strahler, 1952; Strahler, 1964; Singh, 2008). Buna göre çalışma sahasındaki drenaj havzalarının H_i değerlerine bakıldığında (Tablo 7), Kaplıkaya, Kocabalık ve Akçaalan drenaj havzaları 0,60 üzerinde değerler gösterdikleri ve gençlik safhalarında oldukları anlaşılmaktadır. Benzer durum havzaların hipsometrik eğrilerinde de görülür. Belirgin bir şekilde dış bükeylik bu havzaların grafiklerinde de mevcuttur. Burada dikkatin çekilmesi gerek husus şurasıdır; belki değerleri itibariyle 0,60 üzerine çıkamamaları da özellikle Küçükbalıklı ve Devrengeç havzaları 0,59 çıkan değerleri ile olgunluk veya durağanlık safhası sınırlarında yer almalarına rağmen gençlik safhasına daha yakın olan havzaların olduğu bir görünüm çizmektedirler. Bu durum havzaların hipsometrik eğrilerine de bakıldığında açıkça görülmektedir. Alansal büyüklükleri ve drenaj özellikleri düşünüldüğünde çalışma alanındaki drenaj havzaları içerisindeki en büyük havzaları

oluşturan Deliçay (Hi değeri 0,53) ve Gökdere havzaları (Hi değeri 0,51) kısmen olgunluk safhalarında oldukları düşünülebilir (Şekil 27). Fakat yine de dikkat edilmesi gereken husus, Hi değerlerinin 0,50 üzerinde olması ve gençlik safhasına yaşlılık safhasına olduklarından daha yakın oldukları gerçeğidir. Hipsometrik eğrilerden de görüldüğü üzere özellikle Deliçay havzası ana kolu iç bükey bir görünüm kazanmaya başlamakta ve olgunluğa doğru gitmekte gibi görünse de bünyesinde yer alan güçlü yan kollar halen genç bir topografyayı temsil etmektedirler. Yine 0,51 ile 0,48 değerleri arasında değişen Değirmenönü, Çardakseki, Çukuryayla ve Erikli drenaj havzaları ise Hi değerleri itibariyle olgunluk seviyelerinde gibi görülseler de hipsometrik eğri grafiklerine bakıldığında halen genç formda değerler sunmaktadırlar.



Şekil 27. Drenaj havzalarındaki hipsometrik eğriler ve hipsometrik integral (H_i) dağılışı.

Sonuç olarak hipsometrik eğri ve hipsometrik integral değerlerine bakıldığında çalışma alanındaki drenaj havzalarının içerisinde yaşlılık safhasında yer alan veya aşındırma süreçlerini tamamlamış bir drenaj havzası bulunmamaktadır. Bununla birlikte dış bükeyliklerin birçok havzada görülmesi ve yüksek H_i değerlerinin olması havzaların

geneli itibariyle gençlik ve gençliğe yakın olgunluk safhalarında olduklarını gösterir. Gençlik safhasına yakın havzalarda Drenaj sistemlerinin aktif çalıştığı, aşındırma, taşıma ve biriktirme süreçlerinin yaygın olduğu bilenen bir gerçektir. Havzalardaki akarsular bu üretken ve enerjisi yüksek topografyadan aşağıya doğru inerek eğimin azaldığı yamaçlarda meydana gelen alüvyal fan alanlarına hızlı bir giriş yapmaktadırlar. Bu durum fan alanlarında taşkın duyarlılığını pozitif yönde etkilemektedir. Nitekim alüvyal fan analizlerindeki sonuçlara da bakıldığında bu durum desteklenecektir.

2. ALÜVYAL FANLARDA TAŞKIN DUYARLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Alüvyal fan alanları, eğim değerlerinin düşük olması, verimli toprak yapısına sahip olmaları ve kolay yerleşilebilir olmaları nedeniyle şehirleşme ve tarımsal üretim için tercih edilen yoğun nüfuslu alanlardır. Ancak yine aynı nedene bağlı olarak taşkın duyarlılığı anlamında da tehlikeli yerler olarak tanımlanırlar.

Uludağ'ın kuzey ve kuzeydoğusundaki yamaçlarda, birleşik alüvyon fanlardan oluşan Piedmont alanları yaygın bir jeomorfolojik birimdir. Genellikle dağın kuzey yamacındaki paleozoik gnays ve mika şistleri çevreleyen dik yamaçların eteklerinde bulunurlar. Mevcut alüvyal fanlar, yüksek akış enerjisine ve kısa tepki sürelerine sahip drenaj havzaları tarafından beslenmektedir. Bu havzaların genelinde akışlar düzensiz ve düşüktür. Kısmen Deliçay ve Gökdere havzalarında düzenli akış görülmektedir. Bununla birlikte drenaj havzalarındaki akışlar, yoğun yağış dönemlerinde meydana gelir. Ayrıca alüvyal fan alanları yüksek oranda kentleşmiştir.

Alüvyal fan alanlarındaki taşkın duyarlılığını etkileyen faktörlerin başında havza/fan morfometrik analizlerinden çıkan akış süreçleri ve fan eğim koşulları gelmektedir. Fan duyarlılığını etkileyen bir diğer faktör ise aşağıda detaylı olarak açıklanacak olan arazi kullanım özellikleridir.

2.1. HAVZA/FAN MORFOMETRİSİ

Havza/Fan morfometrik analizleri taşkın duyarlılığı çalışmalarında sıklıkla kullanılan en temel yöntemlerin başında gelmektedir (Ryder,1971; Melton,1965; Kostaschuk vd.,1986; Harwey,1987; welsh,2007; Santangelo vd.,2011;2012; Santo vd.,2015; Kain vd.,2018; Mokarram vd.,2021;2022). Havza/Fan morfometrik

çalışmaların temelini, drenaj havzalarından elde edilen parametrelerin sonuçlarının alüvyal fan alanlarını etkilemesi olarak yorumlayabiliriz. Havza/Fan morfometrik analizlerinde kullanılan parametreler ayrıca verilmiştir (Tablo 3 ve tablo 8).

Tablo 8. Fan morfometrik parametrelerine ait sonuçlar

Fan Adı	Fan Alanı (Km ²)	Fan Eğimi (Derece)	Melton İndeks (R)
Deliçay	33.8	1.3	0.23
Gökdere	13.6	4.1	0.30
Kaplıkaya	11.5	6.3	0.38
Balıklidere	11.5	7.9	0.80
Akçaalan	2.2	15.9	0.70
Çukuryayla	1.7	15.3	0.89
Erikli	0.7	29.6	0.87
Devrengeç	0.3	15.0	0.98

Akış süreçleri: Alüvyal fanlarda taşkın duyarlılığını belirlemek için öncelikli olarak, fanı meydana getiren havzadaki akarsu akış süreçlerinin doğru tanımlanması gerekmektedir. Temel olarak akarsu akış süreçlerine bakıldığında, su akışları (water flow) ve moloz akışları (debris flow) olarak ikiye ayrılırlar (Costa,1988:115-117). Baskın taşıma süreçlerine göre havzadaki alüvyal fanlar sınıflandırılmıştır. Su akışları tipindeki akışlar bundan sonraki süreçte (W_f), moloz akışları tipindeki akışlar ise (D_f) olarak adlandırılacaktır. D_f akışlarının etkisinde olan alüvyal fanlarda yüksek viskoziteli akışlar görülür. D_f akışlarda yüksek miktarda döküntü malzemesi taşınır. Bu nedenle özellikle D_f gurubundaki alüvyal fanlar yüksek tehlike seviyelerine ve taşkın duyarlılıklarına sahiptirler (Aulitzky,1980: 303-304; Welsh ve Davies, 2011: 185). D_f akış sürecinin kontrol ettiği fanlarda daha yüksek tepe deşarjları ve içlerindeki sediman yükleri nedeniyle W_f karakterli fanlardan daha tehlikeli olarak kabul edilirler (Hungry vd.,2001: 667; Santangelo vd., 2012: 807).

Bir alüvyal yelpazedeki taşkın duyarlılığını belirleyebilmek için baskın çevresel faktörlerin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Önceki çalışmaların birçoğunda akarsuların egemen süreç olduğu alüvyal fanlarla, moloz akışının hakim olduğu alüvyal fan sistemlerinin karşılaştırılmıştır (De Scally ve Owens,2004: 316; Santangelo vd.,2012: 811). Ortaya çıkan sonuçlarda moloz akışlarının hâkim olduğu

havza sistemlerinin boyutları itibariyle daha küçük fakat eğim değerleri itibariyle daha yüksek oldukları anlaşılmaktadır.

Fan sistemleri morfolometrik özellikler açısından değerlendirildiklerinde fanı tanımlamada en önemli kriterlerin başında yukarıda da bahsedildiği gibi eğim koşulları gelmektedir. Melton (1965)'a göre, fan eğiminin oluşmasında sadece gelen sedimanın boyutları değil aynı zamanda drenaj havzalarının güçleri ve boyutları da etkilidir. Melton, D_f karakterli moloz ve yüksek viskoziteli akışların meydana geldiği alüvyal fanların, daha küçük boyutlu ve yüksek enerjili havzalarla ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Bu çerçevede havza engebeliliği ve havza büyüklüğünü temel alarak alüvyal fanlardaki akış süreçlerini sınıflandırmayı amaçlayan boyutsuz bir indeks önermiştir (Melton İndeksi). Bu indeks birçok araştırmacı tarafından özellikle havza ve fan morfolometriklerinin birbirlerini ne derecede etkilediklerini test etmek amacıyla da dünya üzerindeki farklı iklim tiplerinde ve farklı büyüklüklerdeki havza/fan morfolojilerinde de defaten kullanılmıştır (Kostaschuk vd.,1986; Harvey,1988; Pasuto vd.,1992;Guzzetti vd.,1997; Melton,1957; Santangelo,2012).

Melton indeksi (R), havza rölyefinin havza alanının kareköküne bölünmesiyle elde edilir (Melton,1965). Hesaplamaya bakıldığında, $R = H_b / \sqrt{A_b}$ Olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada drenaj alanı (A_b), rölyef (H_b) olarak tanımlanmaktadır.

Melton indeksi sonuçlarına göre(R):

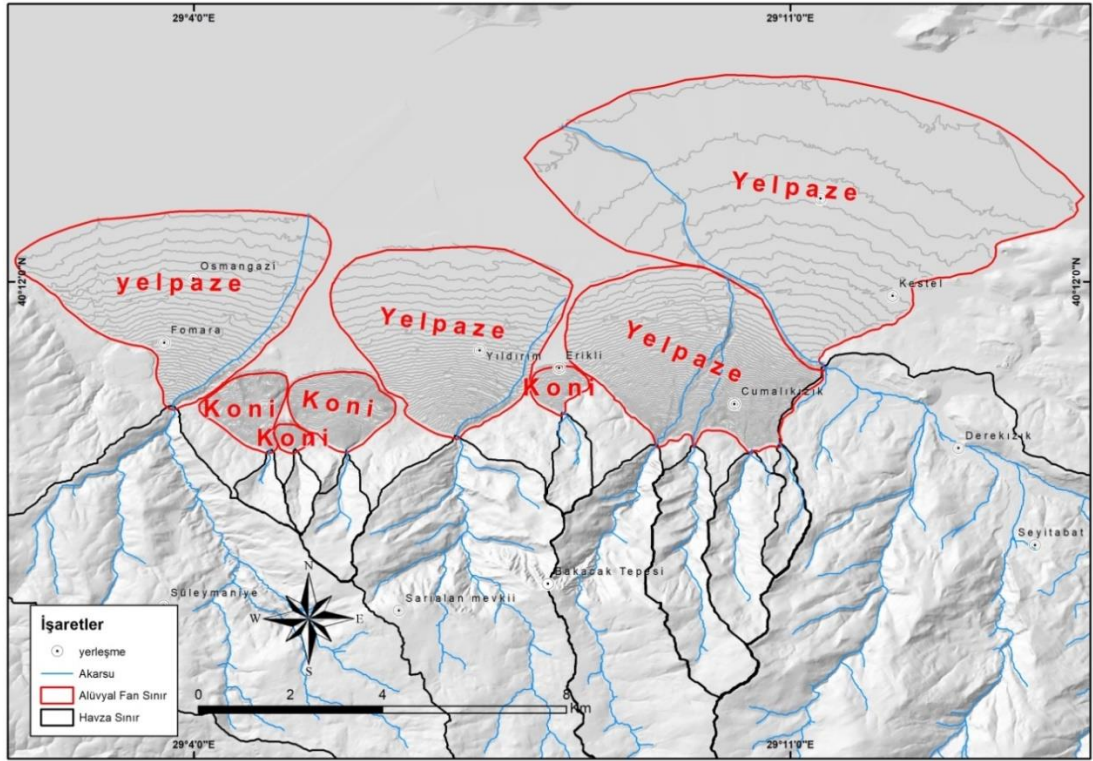
- $R \leq 0.30$ ise drenaj havzalarında geleneksel akarsu süreçleri yani genellikle yüzey suları ile gelen akışlar (W_f) vardır.
- $0.30 < R < 0.60$ ise drenaj havzalarında yüzey suları ve aralıklı moloz akışlarının olduğu akışlar (W_f ve D_f) vardır.
- $R \geq 0.60$ ise drenaj havzalarında moloz akışları (D_f) hâkimdir.

Yukarıda havza/fan morfolometrik özellikleri dikkate alınarak oluşturulan Melton indeksi fanlardaki akış karakterinin tespit edilmesi için çalışma sahasına uygulanmıştır. Yapılan morfolometrik analizler sonucunda, Deliçay ve Gökdere alüvyal fanlarında W_f akışları görülürken, Kaplıkaya alüvyal fanında ise D_f ve V_f akışları karışık şekilde oluşabilmektedir. Bununla birlikte Balıklıdere, Akçaalan, Devrengeç, Çukuryayla ve

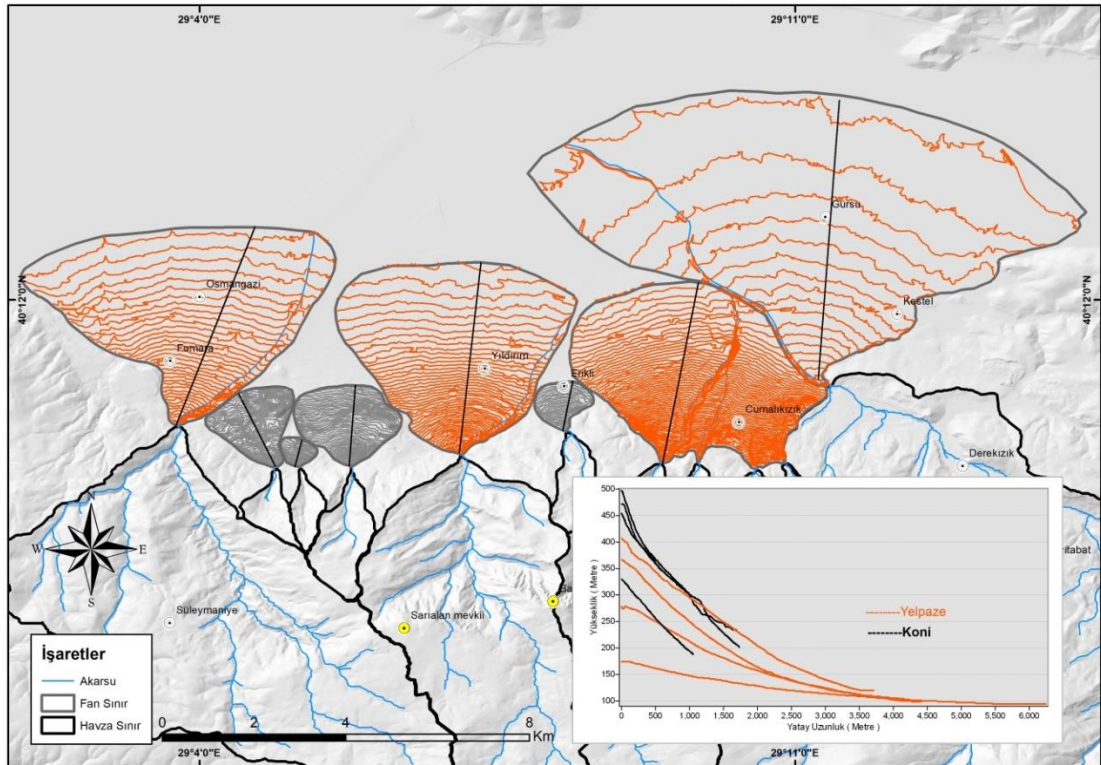
Alüvyal yelpazeler ve birikinti konileri oluşum mekanizmaları itibariyle benzer prensipte olmalarına ve üst kavram olarak alüvyal fan olarak adlandırılmalarına rağmen mevcut eğim değerlerine göre düşünüldüklerinde farklı isimlerle adlandırılmaktadırlar (Erinç, 2012; Hoşgören, 2010). Fakat dünya literatüründeki çalışmalara bakıldığında alüvyal yelpaze veya alüvyal koni ayrımının yapılmasında belirlenecek eğim değerlerinin ne olduğunu açıklamak noktasında birbirinden farklı görüşler hâkimdir. Bu durum hangi eğim derecesindeki alanlara alüvyal yelpaze veya alüvyal koni denmesi gerektiğinin net bir şekilde ortaya konulmasına engel olmaktadır.

Bull'a göre mekanizmanın alüvyal yelpaze olması için 20 derecenin altında yüzey eğim koşullarında olması yeterlidir. 20 derecenin üstü ise alüvyal koni olarak tanımlanmaktadır (Bull,1977). Erinç ve Hoşgören'e göre ise 10 dereceye kadar eğimli olan alanlara alüvyal yelpaze veya birikinti yelpazesi denirken, 10-25 derece arasındaki eğimli alanlara ise alüvyal koni denmesi gerektiği vurgulanmıştır (Erinç, 2012; Hoşgören, 2010). Blair ve Mcpherson (1994)'e göre ise 1,5 derece ile 25 arasındaki eğimli alanların alüvyal yelpaze olduğu, 25 derecenin üstünün ise alüvyal koni olduğu öne çıkarılmıştır.

Çalışma sahasındaki alüvyal fan alanlarının eğim değerlerine bakılarak ve arazi çalışmalarında yerinde incelemeler yapılarak eğim sınıflaması olarak Erinç ve Hoşgören'in sınıflaması tercih edilmiştir (Şekil 26). Buna göre Deliçay-Gökdere, Hacivat ve Balıklıdere havzalarının oluşturduğu morfolojik birim alüvyal yelpaze olarak belirlenirken Devrengeç, Çukuryayla, Akçaalan ve Erikli havzalarının oluşturduğu morfolojik birim ise alüvyal koni olarak belirlenmiştir (Tablo 10). Alüvyal fanlardaki eğim koşulları tıpkı havzalar özelinde de incelendiği gibi taşkın duyarlılığını artırma noktasında önemli bir fizyografik faktördür. Eğim açısının artması yüzeysel akışı arttırması ve süzülme oranının azalması ile ilişkidir (Şekil 29-30). Bu durum doğrudan taşkına pozitif bir ortam yaratır (Khosravi vd., 2016). Kuşkusuz eğim değerlerinin fazla olduğu ve daha kısa mesafelerde akış gösteren ve tepki süreleri daha ani olan alüvyal konilerde taşkın duyarlılıkları daha yüksektir. Eğim değerleri daha düşük olan ve boyutları itibariyle daha büyük olan alüvyal yelpazelerin taşkın duyarlılıkları konilere göre kısmen düşüktür (Bull, 1977).



Şekil 29. Fan eğimlerine bağlı olarak alüvyal yelpaze ve konilerin dağılışı.



Şekil 30. Alüvyal yelpaze ve konilerin boyuna profilleri.

Tablo 9. Alüvyal fanlardaki morfolojik şekil ve eğim tablosu

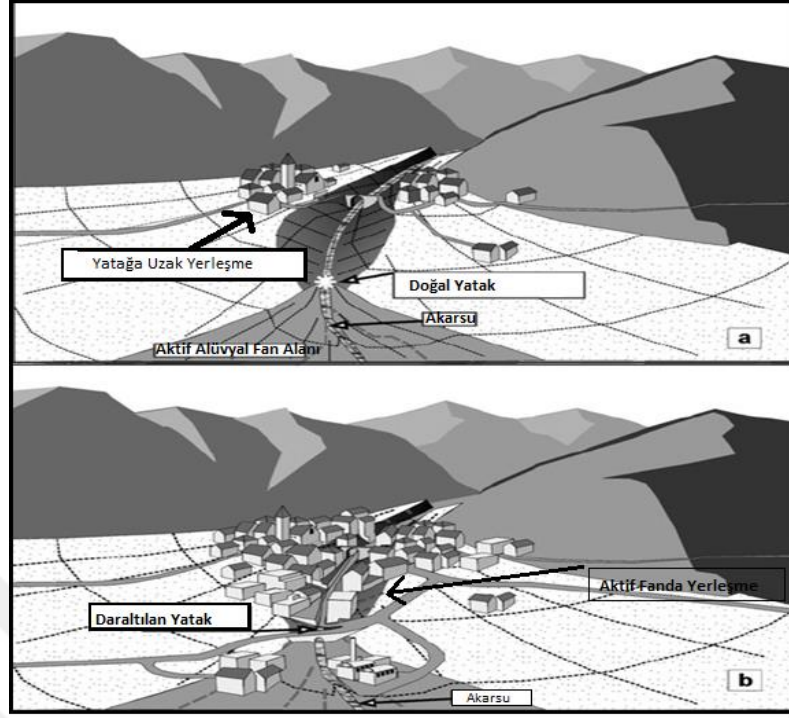
Fan Adı	Morfolojik Şekil	Fan Eğimi(°)
Deliçay	Alüvyal Yelpaze	1.33
Gökdere	Alüvyal Yelpaze	4.13
Hacıvat	Alüvyal Yelpaze	6.25
Balıklidere	Alüvyal Yelpaze	7.89
Devrengeç	Alüvyal Koni	15
Akçaalan	Alüvyal Koni	15.88
Çukuryayla	Alüvyal Koni	15.29
Erikli	Alüvyal Koni	29.61

2.2. BEŞERİ FAKTÖRLER

Çalışma sahasındaki alüvyal fanların morfometrik özellikleri ve çoğunun D_f karakterli olması, taşkın duyarlılığı anlamında önemli parametreleri içermesine rağmen çalışmada tek başına yeterli görülmemişlerdir. Bu kapsamda özellikle uluslararası literatürde de yeni yöntemler denenmeye başlanmıştır. Alüvyal fan alanlarında taşkın duyarlılığını belirlemede morfometrik parametreler dışında kullanılmaya başlanan yeni yöntemlerin başında beşeri koşullar gelmektedir. Bu kapsamda fanlarda arazi kullanım özellikleri, fanlardaki ana caddelerin uzanış doğrultuları, fanlar üzerindeki akarsularda yapılan ıslah çalışmaları ve köprülerin varlığı gibi ek etki faktörleri oluşturulmuştur (Santangelo;2012). Bu parametrelerin alüvyal fan alanlarında taşkın duyarlılıklarına ne gibi etkileri olacağı çalışmamız kapsamında da tartışılmıştır.

Arazi Kullanım Özellikleri: Taşkınların meydana gelmesindeki en önemli beşerî faktörlerin başında gelmektedir. Normal şartlar altında tehlike meydana getirmeyecek durumda olan akarsularda bile insan müdahaleleri ile yapılan yapıların (set, baraj, HES vb.) bir şekilde sahanın taşkın duyarlılıklarını arttırdığı yapılan uygulamalarda görülmektedir (Özdemir, 2007: 158; 2006: 23).

Taşkınlar sadece hidrolojik ve meteorolojik faktörlerin özelinde meydana gelmez, plansız arazi kullanımı da bu konuda taşkın duyarlılığını etkilemesi açısından önemlidir. Son yıllarda artan kentleşme nedeniyle yıllık yağış miktarının sınırlı olduğu yerlerde bile taşkın haberleri artmaktadır (Şekil 31).



Şekil 31. Alüvyal fanda zamanla yatak içerisinde yerleşme (Santangelo vd.,2011'den değiştirilerek)

Yapılan birçok taşkın araştırmalarında yüzeysel akış ve kentleşme etkileri tartışılmaktadır (Fernandez ve Lutz,2010: 93). Bu konuda yapılan çalışmaların birçoğunda da değinildiği üzere kentsel alanın artması geçirimsiz yüzeyleri artırır. Bu durum bitki örtüsünün yoğunluğunun azalmasına neden olur ve toprak infiltrasyonunu da olumsuz yönde etkiler. Kentleşmenin yanında akarsu doğal yataklarında da yapılan ıslah çalışmaları ile birlikte yüzeydeki betonlaşma artmaktadır (Fotoğraf 6). Geçirimsizden geçirimsiz doğru giden topografyada doğal pürüzlülük azalır ve bu durum da yüzeysel akışı artırarak pik akımlara ve toplam akış hacminin artmasına neden olarak yüksek akımlara sebebiyet verir (Helmio,2002: 96).

Yüzeysel akış ile gelen su miktarı ile akarsu havzasına gelen su miktarı arasında basit bir bilanço vardır. Bu bilanço doğrultusunda yüzeyde su kayıpları ne kadar azalırsa akışa geçen ve biriken su miktarı da o denli artar (pozitif bilanço). Pozitif bilançonun artması taşkın duyarlılığını doğrudan artırır. Yapılaşmalar, beton, asfalt vb. geçirimi azaltan zeminler pozitif bilançoğu arttıran şehirselleştirme faktörleridir (Turoğlu, 2010b:40).

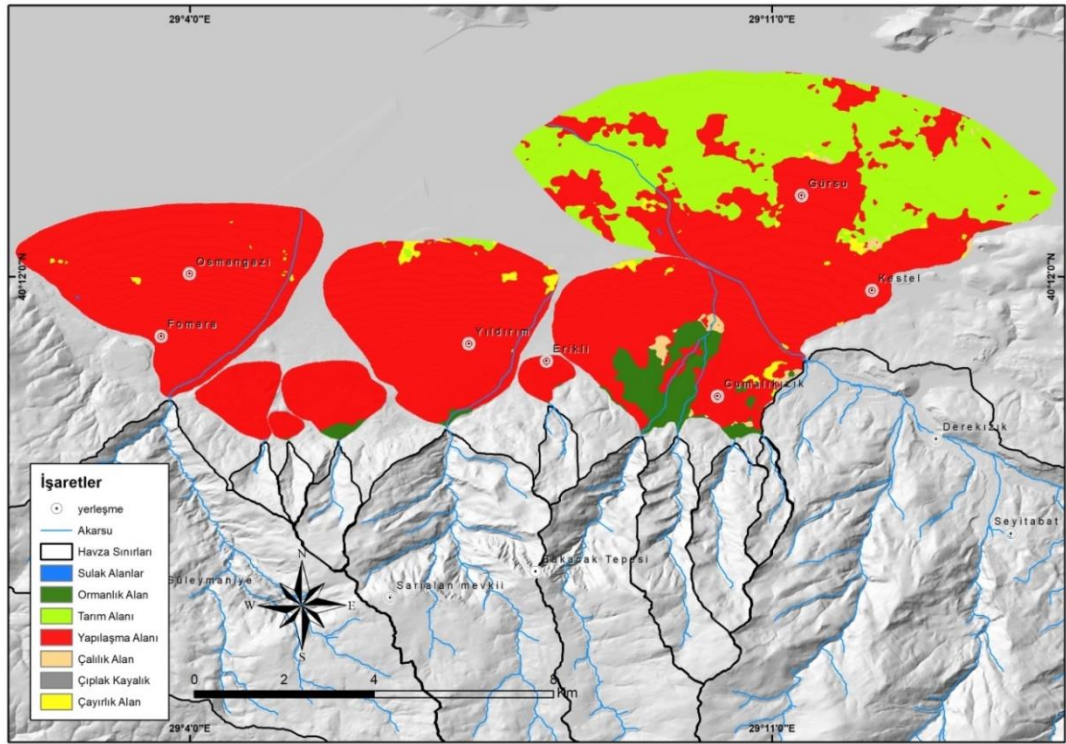


Fotoğraf 6. Yapay kanallar ve oluşan geçirimsiz yüzeyler

Alüvyal fanlar üzerindeki güncel şehirselleşmeyi incelemek adına 2020 yılına ait arazi kullanım haritası üretilmiştir (Şekil 32). Alüvyal fan alanlarının toplamı 75 km²'dir. Bu alanın 52 km²'lik bölümü yoğun bir şekilde kentleşmiş durumdadır. Bu miktar toplam fan alanının % 70'ine denk gelmektedir. Bununla birlikte alüvyal fan alanlarının tamamı aynı oranda kentleşmemiştir. Özellikle Gökdere alüvyal yelpazesi ve Çukuryayla alüvyal konisi %100'lük bir oran ile kentleşmiştir. Erikli ve Devrengeç alüvyal konilerinde de %99 olan kentleşme oranı Hacıvat yelpazesinde %96, Balıklıdere yelpazesinde ise %75'lerdedir. Burada özellikle alansal olarak en büyük alüvyal fan mekanizması olan Deliçay yelpazesinde ise kentleşme oranında %44'le en az orana sahiptir (Tablo 10). Bu bölgedeki tarım alanların varlığı ve mevcut alanların en azından şimdilik büyük oranda imara kapalı olması kısmen Deliçay yelpazesinde yerleşmenin düşük olmasına neden olmaktadır. Ancak artan şehirleşme baskısı bu durumun ileride değişebileceğini göstermektedir.

Tablo 10. Alüvyal fanların 2020 yılına ait şehirleşme oranları

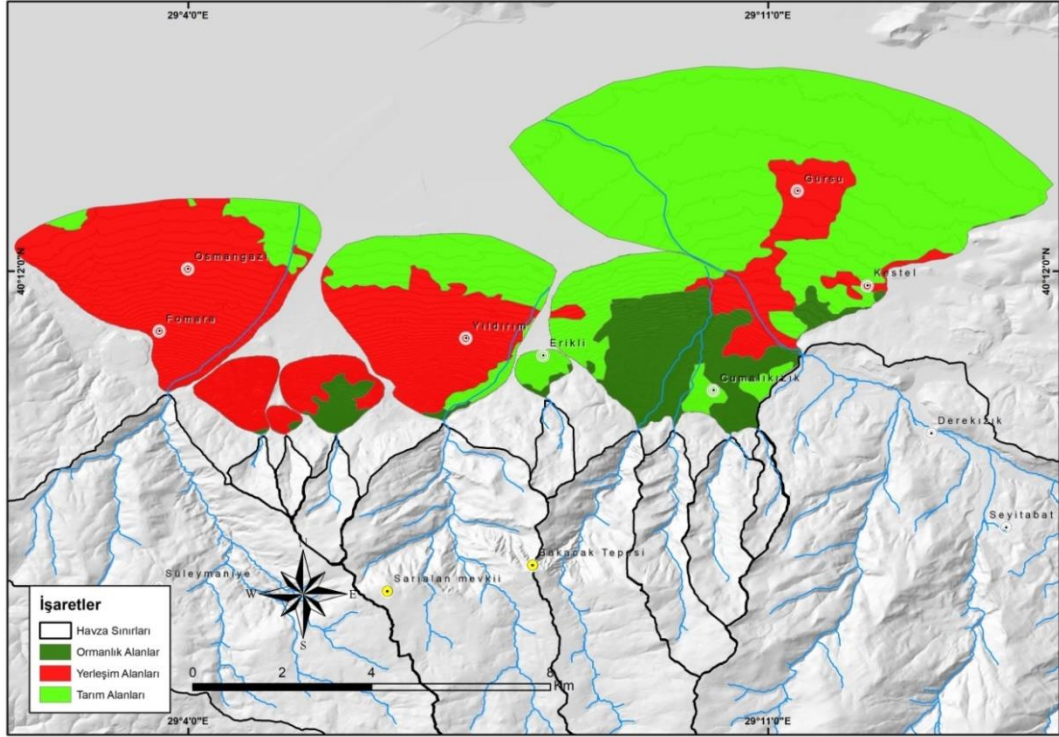
Alüvyal Fan Adı	Alan (Km ²)	Şehirleşme Oranı (%)
Deliçay	33.7	44
Gökdere	13.6	100
Kaplıkaya	11.5	96
Balıklidere	11.5	75
Akçaalan	2.2	93
Çukuryayla	1.7	100
Erikli	0.7	99
Devrengeç	0.3	99
Toplam	75	88



Şekil 32. Alüvyal fanlar arazi kullanım haritası 2020

Büyükşehirlerde artan nüfus ve göç baskısı maalesef kentsel arazi kullanımının yıllar içerisinde artmasına neden olmuştur. Bu durum 1990 ve 2020 yıllarındaki arazi kullanım değişiminde net bir şekilde görülmektedir. 1990 yılında %35 olan şehirleşme oranı 2020 yılında %88 olmuştur. Doğrudan tarım alanları ve ormanlık alanlar tahrip edilerek yerleşime açılan alanlar aynı zamanda fan yüzeyindeki betonlaşmayı arttırdığı gibi şehir merkezindeki drenaj ağlarında da betonlaşmayı beraberinde getirmiştir (Fotoğraf 6). 1990 yılında özellikle Balıklıdere alüvyal fanını içerisine alan bölgede çok

sınırlı bir yerleşim görülürken bu oran yıllar içerisinde çok hızlı şekilde artmıştır (Şekil 33).



Şekil 33. Alüvyal fanlar arazi kullanım haritası 1990.

Köprüler: Arazi kullanım özellikleri içerisinde geçmişten günümüze ulaşım ağlarının en önemli yapı unsurlarındandır. Bu bağlamda insan faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda ve doğal çevre ile iç içe bulunmaktadırlar. Taşkın zamanlarında yerleşim yerlerindeki duyarlılığını arttırmada itici bir güç durumuna dönüşen köprülerin hidrolojik ve statik açıdan iyi bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Akarsular üzerinde bulunan köprülerde meydana gelen yıkımların ve tahribatların başında hidrolojik etkenler gelmektedir.

Köprüler karmaşık bir dinamik sistemin içerisinde yer alan ve birbirleriyle ilişkili olan birçok unsurdan etkilenirler. Arazi kullanımındaki değişimler ile birlikte gelen bitki örtüsündeki azalmalar, yağış akış değişiklikleri ve buna bağlı akışa geçen su miktarı artışı, ani kar erimeleri, kısa ve şiddetli yağışlar, akarsu yataklarından bilinçsiz ve plansız kum ve çakıl çekilmesi gibi faktörler akarsu yataklarını etkilerler. Akarsu

yataklarının etkilenmesi yataklar üzerinde inşa edilen köprüleri de doğrudan etkilemektedir (Koçyiğit, Akay & Yanmaz 2016: 526).

Taşkın sırasında akarsudaki su miktarı ve taşıdığı sediman miktarında belirgin bir artış görülmektedir. Öyle ki birçok kez meydana gelen taşkınlarda da görüldüğü üzere su miktarı köprülerin üst tabliyelerine kadar ulaşabilmektedir. Sedimana bağlı olarak köprülerin alt kısımlarının oyulması birçok köprünün bu sebeple yıkılmasına neden olmuştur. Akarsu yataklarında köprülerin konumu önemlidir. Özellikle dik yamaç ve eteklerinde veya yüksek eğime sahip havzalarda şiddetli yağış ve buna bağla meydana gelen ani kar erimelerine bağlı olarak oluşan debi büyük bir hızla ve ani bir şekilde akarsu yatağını doldurur. Bu durum bir şekilde köprüler üzerindeki flüviyal baskıyı arttırır (Koçyiğit, Akay & Yanmaz 2016: 526). Köprüler özellikle yoğun yağışlı dönemlerde gelen basınçlı sedimanlarla birlikte yoğun bir flüviyal stresi taşımak zorundadır.



Fotoğraf 7. 2011 yılındaki selde yıkılan Seyitabat köprüsünün yeni hali

Bu noktada köprülerin altından suyun drene edilmesi son derece önemlidir. Aksi durum oluşup drenaj mümkün olmadığında, gelen sedimanlar bir şekilde köprüyü tıkayabilir ve suyun drene olmasının önüne geçebilir ki, akarsu yataklarına inşa edilen köprüler için en istenmeyecek durum budur. Bu koşullar oluştuğunda su geriye doğru birikip göllenme yapar. Köprü ardında biriken bu su çok daha şiddetli bir basınç kuvveti

meydana getirerek köprünün yıkılmasına ve daha basınçlı bir akış göstermek suretiyle taşkın oluşumuna neden olur. 2011 yılının bahar ayında Deliçay Deresi'nin yan kolu olan Güvercinlik deresi üzerindeki Seyitabat köprüsü bu nedenle yıkılmıştır (Fotoğraf 7). Köprü önünde büyük bir yerleşim alanının bulunmaması o dönem önemli bir facianın yaşanmamasına neden olmuştur. Yaşanan bu gelişme sonra Derekızık bölgesindeki mesire alanında önemli maddi hasarlar meydana gelmiştir.

Çalışma sahasındaki alüvyal fanlar üzerinde ulaşım sistemlerinin aksamaması için birçok farklı noktada farklı büyüklük ve özelliklerde köprüler inşa edilmiştir. Özellikle yoğun şehirleşmeyi bünyesinde bulunduran Gökdere alüvyal fanında 13 adet ana ulaşım hattını bağlayan köprü bulunmaktadır. Gökdere'yi sırasıyla Kaplıkaya ve Deliçay alüvyal fanları 4'er ulaşım köprüleri ile izlemektedir. Balıklı alüvyal fanında ise 3 adet ana ulaşım hatlarını bağlayan köprü yer almaktadır (Fotoğraf 8).

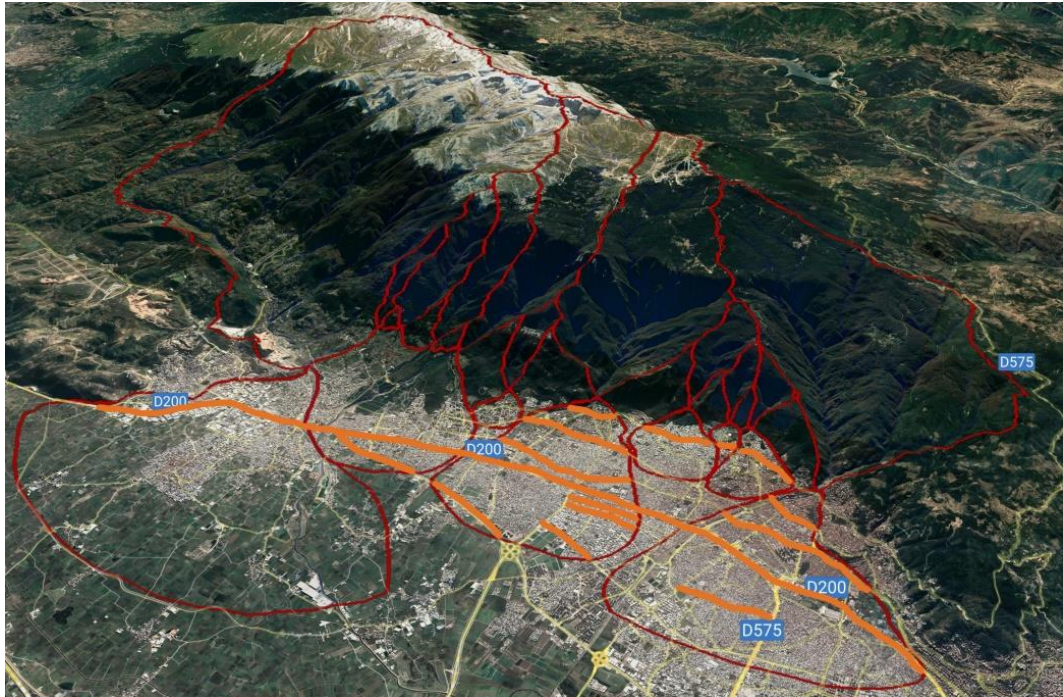
Erikli, Devrengeç, Akçaalan ve Çukuryayla alüvyal konileri üzerinde ise Daimi bir drenaj ağı olmadığı için köprü yapıları mevcut değildir. Ancak burada da dikkat edilmesi gereken temel husus bu koniler %95'lerin üzerindeki oranlar ile şehrsel yapıyı üzerlerinde taşırlar. Bu durum köprüye sahip olmasalar bile havzadan çıkan suyun doğrudan şehrsel yapının üzerinde doğru drene olması nedeniyle bir şekilde köprülerin taşkını etkilediği duruma benzer bir durumda olduklarını gösterir (Şekil 34).



Fotoğraf 8. Alüvyal fanlar üzerindeki köprülere örnekler.

Yolların uzanış doğrultuları: Fan yüzeyinde taşkın duyarlılığının arttıran bir diğer faktördür. Yolların uzanış doğrultusu doğrudan şehrsel yapının dağılışını da şekillendirir. Eğimli yamaçlarda inşa edilen yollar, morfolojik yapı üzerinde gelişen yüzeysel akışların da yönlendirilmesi bakımından son derece önemlidir.

Çalışma sahasındaki alüvyal fan alanlarında yüzeysel akışı engelleyecek ana yolların genel uzanış doğrultusu kabaca birbirlerine paralel olacak şekilde doğu-batı yönlüdür. Ana yolları kuzey-güney yönlü kesen ikincil caddeler mevcuttur. İkincil caddeler, eğim doğrultusunda uzandıkları için fanlardaki yüzeysel akışı kolaylaştıran yollar olarak karşımıza çıkar. Doğru-batı yönlü uzanan ve şehri baştan sona geçen D200 karayolu ve bu yola paralel uzanan anayollar Uludağ'ın dik yamaçlarından alüvyal fanlara inen akarsular için yapılaşmaları bu cadde uzanışlarına paralel geliştirmesinden dolayı akışı engelleyen unsurlar olarak yorumlanmışlardır (Fotoğraf 9).

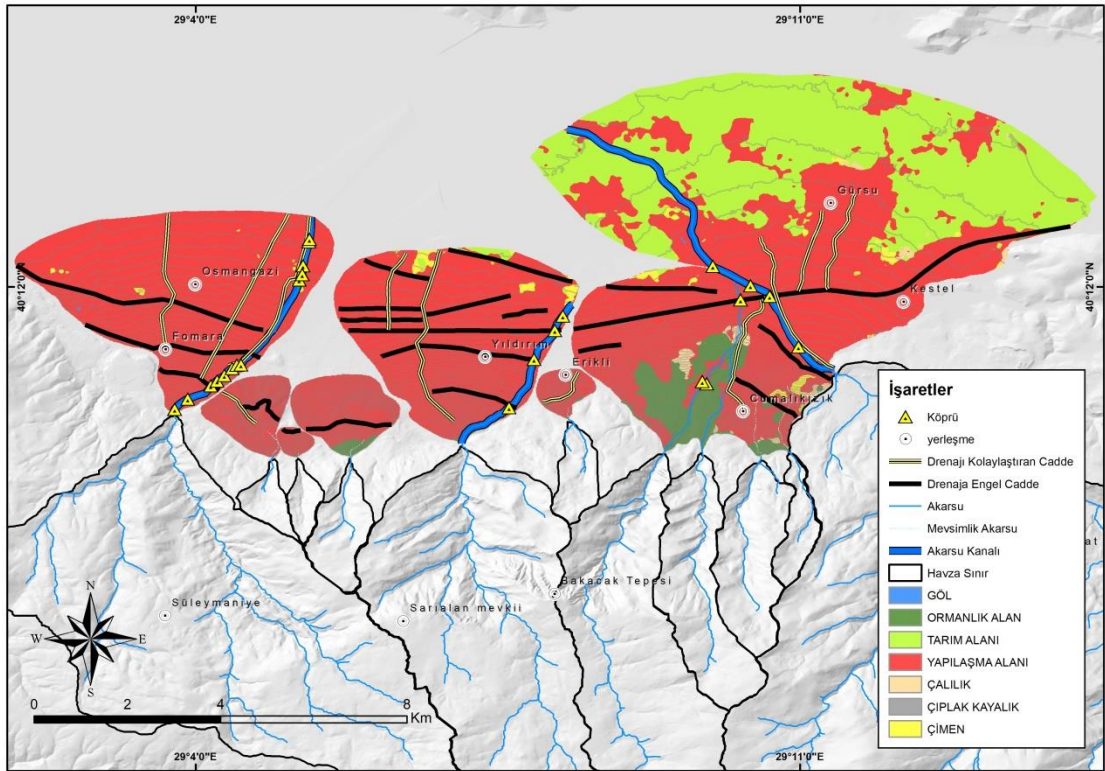


Fotoğraf 9. Alüvyal fanlar üzerindeki akışa engel ana caddeler

Her ne kadar köprüler ve menfezlerle akarsuların kolaylıkla drene edilmesi sağlanmaya çalışılmış olsa bile paralel yolların varlığı ve fazlalığı taşkın zamanlarında adeta yapay setler ve platformlar görevi görür. Bu durum bolca sediman gelen ani yağışlı dönemlerde fanlardaki taşkın duyarlılığının artmasına neden olmaktadır. Bu

doğrultuda yol uzanırlarının taşkın duyarlılığına olan etkisini analiz etmek için yollar; akışa engel caddeler ve akışı kolaylaştıran caddeler olarak 2 ye ayrılarak değeriendirilecektir.

Güncel uydu görüntüleri ve topografya haritaları üzerinden alüvyal fan alanlarındaki ana yollar sayısallaştırılmıştır. Yollar, yüzeysel akışı engellemesi veya kolaylaştırması noktasında da ayrıca kategorize edilmiştir (Şekil 33). Taşkın duyarlılığını etkilemesi açısından akışa en fazla engel teşkil edecek yol sayısı Kaplıkaya alüvyal yelpazesinde mevcut iken onu sırasıyla Gökdere ve Balıklıdere alüvyal yelpazeleri takip etmektedir. Boyutları itibariyle Devrengeç, Çukuryayla, Akçaalan ve Erikli alüvyal konilerinde ise 1'er adet akışa engel teşkil edecek ana cadde mevcuttur. Bununla birlikte Deliçay alüvyal yelpazesinde akışa engel tek cadde D200 karayoludur (Şekil 34).



Şekil 34. Alüvyal fanlar üzerinde yol-köprü-yapay kanal dağılışı.

Akarsu yataklarındaki ıslah çalışmaları: Taşkınların en önemli sebeplerinden bir diğeriştir. Ülkemizde yapılan ıslah çalışmalarının ekseriyetine bakıldığında şehir

içinden veya şehrin çevresinden geçen derelerin bir şekilde ıslah projesi adı altında beton bir kanala alınarak yönlendirilmesi şeklinde olmaktadır. Yapılan çalışmaların birçoğunda ise bu süreç maalesef yatakların en kesitlerinin daraltılıp beton kanala alınmasından ileri gitmemektedir (Karakuyu,2002: 102). Bu durum drenaj ağlarında önemli değişiklikler yapmaktadır. Flüviyal morfolojiye ait temel özellikler dikkate alınmadan yapılan dere ıslah çalışmaları son derece tehlikelidir. Betonlaşma yüzeysel akışı hızlandırdığı gibi toprak ve bitkiler tarafından infiltre edilen suyun azalmasına ve yağış-akış ilişkisindeki doğal dengenin bozulmasına neden olmaktadır.

Taşkın riski bulunan alanlarda akarsu ıslah çalışmaları son derece önemlidir. Ayrıca afet yönetiminin önemli bir zarar azaltma adımını oluşturur. Normal şartlar altında akarsu ıslahlarının temel amacı mevcut yatağın yetersiz kalmasının önüne geçerek sel ve taşkınların önlenmesidir. Ancak çalışma sahasındaki bazı noktalarda yapılan eksik ıslah çalışmaları akarsu yataklarında en kesitlerin daraltıldığını ortaya koymaktadır (Fotoğraf 10).



Fotoğraf 10. Alüvyal fanlar üzerindeki akarsularda daraltma ve betonlama çalışması örnekleri

Alüvyal fanlar üzerinde yapılan ıslah çalışmalarına bakıldığında özellikle Deliçay, Gökdere ve Kaplıkaya derelerinin alüvyal fan alanlarına girdikleri noktalardan itibaren başlayan ıslah çalışmaları mevcuttur (Şekil 34). Özellikle Kaplıkaya alüvyal yelpazesi üzerinde yer yer doğal kanal daraltılarak yapılan beton setler, akış hızını arttırdığı gibi infiltrasyona da engel olmaktadır. Deliçay deresinde ise alüvyal fan alanına girilen noktada 1990'lı yıllarda DSI tarafından yapılan bir su regülatörü bulunmaktadır. Bu regülatör ile taşkın zamanlarında suyun kontrol edilerek şehrsel yapıya zarar vermeden havza içerisinde bekletilmesi amaçlanmıştır. Ancak yıllar geçtikçe regülatör ve yakın çevresi aşırı yapılaşma ile birlikte yoğun nüfus bulunduran bir nokta haline gelmiştir (Fotoğraf 9). Bu duruma ek Deliçay deresinden gelen sedimanlar yıllar içerisinde regülatör ve çevresinin alüvyal malzeme ile dolmasına neden olmuştur. Suyu bekletme ve zaman kazanarak taşkına etkisini azaltma amacıyla inşa edilen regülatör günümüzde içi alüvyal malzeme ile dolu bir depo görevi görmektedir (Fotoğraf 11). Bu durum bahar dönemlerinde gelen yüksek debilerle birleştiğinde Deliçay gibi yüksek taşkın duyarlılığı içeren bir havza içerisinde büyük problemlere neden olmaktadır.



Fotoğraf 11. Deliçay havzasındaki taşkın regülatörünün zaman içerisindeki değişimi.



Fotoğraf 12. Gelen alüvyonlarla zaman içerisinde dolan taşkın bekletme havuzu.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ

Duyarlılık, kelime itibariyle yerel anlamdaki arazi koşullarında meydana gelen tehlike olgusunun olasılığı olarak yorumlanır. Genellikle heyelan çalışmalarında kullanılan duyarlılık analizi aslında her türlü afeti kapsayacak şekilde genişletilebilir. Bir anlamda gerçekleşecek olan tehlikenin etkilenme derecesi gibi de düşünülebilir. Duyarlılık, olayın zamansal olasılığı ile ilgilenmez. Tehlikenin ne zaman ve ne aralıklarla olacağı gibi kavramları duyarlılık başlığı altında göremeyiz. Duyarlılık yaklaşımı zaman aralığı hakkında yeterli bilgi sahibi olamadığımız alanlar için kullanılan bir yaklaşımdır (Santangelo, vd.,2011:2766).

Bu bölümde ikinci bölümde incelenen drenaj havzaları ve alüvyal fanların taşkın duyarlılığını etkileyen faktörler kullanılarak birtakım analizler yapılmıştır. Analiz kapsamında gerek drenaj havzalarının gerekse de alüvyal fanların taşkın duyarlılık parametreleri oluşturulmuştur. Bu parametrelerden hangilerinin analizlerde kullanıldığı ikinci bölümde sebepleriyle birlikte açıklanmıştır. Elde edilen duyarlılık parametreleri havzalar ve fanlar özelinde sıralanarak, sayısal etki faktörleri olarak belirlenmiştir. Son aşamada sayısal etki faktörleri sonuçları, taşkın duyarlılığı açısından düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılarak havzaların ve fanların taşkın duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Havzaların ve fanların ayrı ayrı taşkın duyarlılıklarının elde edildiği bu analizde ayrıca, bir nevi sonuç kapsamında da olacak şekilde Havza/Fan taşkın duyarlılık analizi haritası da üretilmiştir.

1. DRENAJ HAVZALARININ TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ

Özellikle ikinci bölümde ortaya konulan duyarlılığı etkileyen faktörlere bağlı olarak vektör tabanlı morfometrik parametrelerin her biri taşkın duyarlılığı açısından değerlendirilmiştir (Tablo 11). Değerlendirmenin sonunda her bir analiz sonucu 11 havza içerisinde sıralamaya konularak ilgili analizin duyarlılığa etkisi, sayısal etki faktörü olarak belirlenmiştir. Son olarak her havzanın morfometrik analiz sonuçlarından elde edilen sayısal etki faktörleri toplanarak ilgili havzanın taşkın duyarlılık değeri belirlenmiştir (Tablo 12). Bu yöntem ile elde edilen taşkın duyarlılık değerleri çalışma alanındaki drenaj havzalarının kendi içlerinde 1-11 değerleri arasında taşkın duyarlılık sınıflaması oluşturmuştur.

Tablo 11. Drenaj havzaları taşkın duyarlılık parametrelerine ait değerler.

HAVZA ADI	ÇİZGİSEL MORFOMETRİ			ALANSAL MORFOMETRİ				RÖLYEF MORFOMETRİ				
	Çatalanma	Uzunluk	Tekstür	Drenaj	Akarsu	Havza	Uzunluk	Havza	Rölyef	Engebelilik	Akım	Hipsometrik
	Oranı R_b	Oranı R_l	Oranı T	Yoğunluğu D_d	Sıklığı F_s	Şekli R_f	Oranı R_e	Rölyefi B_h	Oranı R_h	Oranı R_n	Toplanma T_c	Eğri H_i
Devrengeç Havzası	4.00	0.40	0.99	3.12	7.84	0.19	0.49	782	0.43	2.44	4.33	0.59
Akçaalan Havzası	4.00	3.54	0.59	2.37	2.84	0.22	0.53	926	0.33	2.20	6.29	0.67
Çukuryayla Havzası	2.00	1.62	0.42	2.37	3.92	0.17	0.47	783	0.37	1.86	4.28	0.51
Erikli Havzası	3.00	1.05	0.58	2.39	3.55	0.23	0.54	928	0.42	2.22	5.06	0.51
Değirmenönü Havzası	4.00	1.58	0.61	4.66	4.34	0.14	0.43	1212	0.43	5.65	6.35	0.48
Çardakseki Havzası	4.00	1.52	1.21	3.96	4.11	0.21	0.52	1559	0.38	6.17	8.56	0.49
Küçükbalıklı Havzası	5.75	3.10	1.46	3.26	4.55	0.16	0.45	1638	0.30	5.34	10.50	0.59
Gökdere Havzası	3.61	4.43	4.52	3.66	4.84	0.28	0.60	1695	0.16	6.20	12.82	0.51
Hacıvat Havzası	4.05	2.26	2.68	2.98	3.89	0.25	0.56	1782	0.19	5.31	13.20	0.61
Kocabalıklı Havzası	6.75	2.39	1.81	2.52	3.14	0.18	0.48	2045	0.21	5.15	14.24	0.62
Deliçay Havzası	6.69	2.22	5.84	3.07	3.12	0.43	0.74	2365	0.15	7.26	21.39	0.53

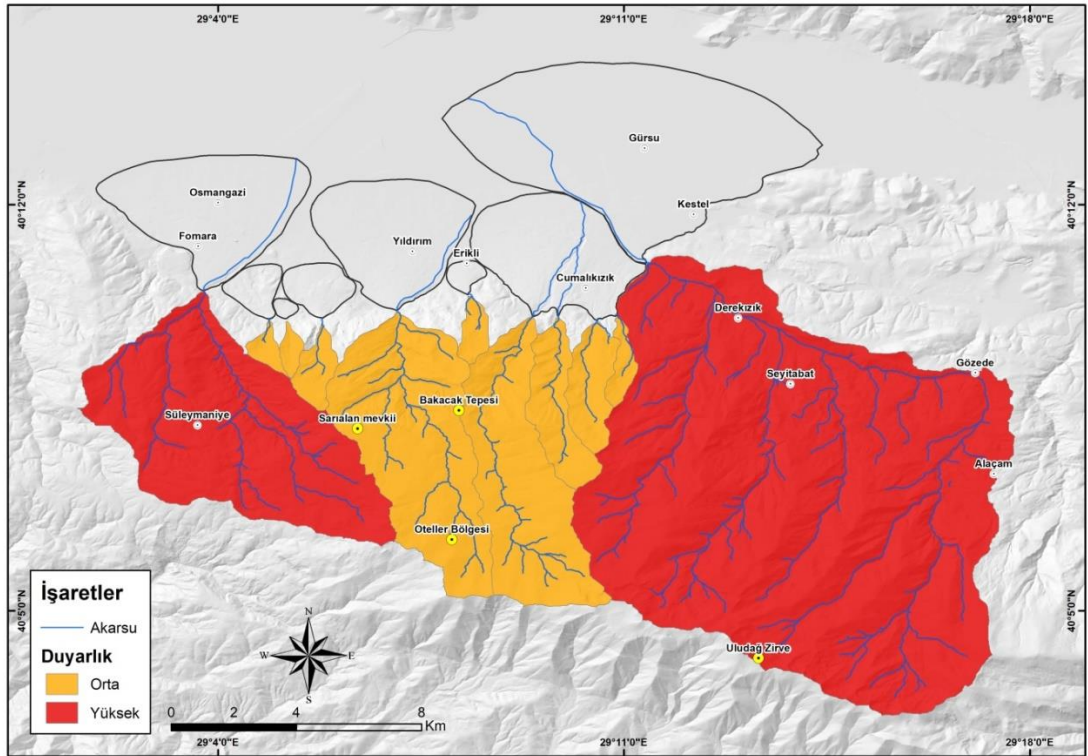
Tablo 12. Drenaj havzaları sayısal etki faktörleri.

HAVZA ADI	Çatalanma	Uzunluk	Tekstür	Drenaj	Akarsu	Havza	Uzunluk	Havza	Rölyef	Engebelilik	Akım	Hipsometrik	Toplam
	Oranı R_b	Oranı R_l	Oranı T	Yoğunluğu D_d	Sıklığı F_s	Şekli R_f	Oranı R_e	Rölyefi B_h	Oranı R_h	Oranı R_n	Toplanma T_c	Eğri H_i	Değer
Devrengeç Havzası	7	1	2	4	11	3	3	1	11	2	11	7	63
Akçaalan Havzası	7	9	1	1	1	4	4	2	7	2	10	11	58
Çukuryayla Havzası	11	4	1	1	3	2	2	1	9	1	11	3	49
Erikli Havzası	9	3	1	1	2	4	5	2	11	2	11	3	53
Değirmenönü Havzası	7	4	1	11	4	1	1	4	11	8	10	1	63
Çardakseki Havzası	7	4	2	8	4	4	4	6	9	9	8	1	66
Küçükbalıklı Havzası	3	8	3	5	4	2	2	6	6	7	7	7	61
Gökdere Havzası	8	11	9	7	5	6	6	7	1	9	6	3	77
Hacıvat Havzası	7	6	5	4	3	5	5	7	2	7	6	8	65
Kocabalıklı Havzası	1	6	4	2	2	2	3	9	3	7	5	8	51
Deliçay Havzası	1	6	11	4	2	11	11	11	1	11	1	4	73

Toplamda 11 adet drenaj havzası bulunmaktadır. Her bir drenaj havzası için 12 parametre kullanılarak taşkın duyarlılık sınıflaması yapılmıştır. Minimum duyarlılık değeri 12 olup maksimum duyarlılık değeri ise 132 olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasındaki drenaj havzalarından elde edilen duyarlılık değerleri ise 49 ile 77 arasında değişmektedir. Değerler düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört seviyede toplanmıştır. Değerler itibariyle Çukuryayla havzasında taşkın duyarlılığı düşük çıkmıştır. Kocabalıklı, Erikli, Akçaalan, Küçükbalıklı, Devrengeç, Değirmenönü, Kaplıkaya ve Çardakseki havzalarında ise orta değerler tespit edilmiştir. Son olarak drenaj havzaları içerisinde en büyük alana ve en fazla akarsu dizin sayılarına sahip iki büyük havza olan Gökdere ve Deliçay havzalarında ise yüksek taşkın duyarlılık değerleri hesaplanmıştır (Tablo13). Yapılan analizlerin sonucunda Drenaj havzaları için duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 35).

Tablo 13. Drenaj havzaları duyarlılık değerleri ve tanımlamaları

Havza Adı	Duyarlılık Değeri	Seviye Aralıkları	Tanım
Çukuryayla Havzası	49	42-72	Orta
Kocabalıklı Havzası	51		
Erikli Havzası	53		
Akçaalan Havzası	58		
Küçükbalıklı Havzası	61		
Devrengeç Havzası	63		
Değirmenönü Havzası	63		
Kaplıkaya Havzası	65		
Çardakseki Havzası	66		
Deliçay Havzası	73	72-102	Yüksek
Gökdere Havzası	77		



Şekil 35. Drenaj havzalarının taşkın duyarlılık haritası

Çalışma sahasının %60'ından fazlasını oluşturan Deliçay ve Gökdere havzalarında yüksek duyarlılık değerlerine ulaşılması çalışma sahasının büyük bölümünde taşkın duyarlılığının yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

2. ALÜVYAL FANLARIN TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ

Analizlerin bir diğer kısmını çalışma alanındaki alüvyal fanlar oluşturmaktadır. Alüvyal fanlar üzerinde de, havza morfometrik özelliklerinin bir kısmından yararlanarak bazı duyarlılık parametreleri belirlenmiş ve analize tabi tutulmuştur (Tablo 14).

Tablo 14. Alüvyal fanların taşkın duyarlılık parametreleri

Alüvyal Fan Adı	Morfolojik Şekil	Alan (Km ²)	Eğim %	Melton İndeks (R)	Şehirleşme Oranı (%)	Doğal Akışa Engel Cadde Sayısı	Köprü Sayısı	Akarsu Yatağının Kanala Alınma oranı (%)	Fan Uzunluğu Km ²	Çevre Uzunluğu Km	H _{max}	H _{min}	Fan Hacmi M ³
Deliçay	Yelpaze	33.7	1.3	0.23	44	1	4	100	6.32	24.55	183	95	386347060
Gökdere	Yelpaze	13.6	4.1	0.30	100	3	13	100	4.8	15.1	292	99	477699024
Kaplıkaya	Yelpaze	11.5	6.3	0.38	96	8	4	100	4.2	13.0	368	102	640315565
Balıklidere	Yelpaze	11.5	7.9	0.80	75	5	3	0	3.8	14.2	445	114	1182585503
Akçaalan	Koni	2.2	15.9	0.70	93	1	Köprü yok	Kanal yok	1.8	5.5	500	196	2225639
Çukuryayla	Koni	1.7	15.3	0.89	100	1	Köprü yok	Kanal yok	1.7	5.2	475	194	1674618
Erikli	Koni	0.7	29.6	0.87	99	1	Köprü yok	Kanal yok	1.1	3.2	332	186	695616
Devrengeç	Koni	0.3	15.0	0.98	99	1	Köprü yok	Kanal yok	0.6	2.0	457	344	283705

Parametrelerin analiz sonuçlarının her biri çalışma sahasındaki 8 alüvyal fan içerisinde sıralamaya tabi tutularak analizlerin duyarlılığa etkisi, sayısal etki faktörü ile belirlenmiştir. Son olarak her fan mekanizmasının etki faktörü değerleri toplanarak ilgili fanın duyarlılık değerleri belirlenmiştir (Tablo 15).

Tablo 15. Alüvyal fanların sayısal etki faktörleri

Alüvyal Fan Adı	Eğim %	Melton İndeks (R)	Şehirleşme Oranı (%)	Doğal Akışa Engel Cadde Sayısı	Köprü Sayısı	Akarsu Yatağının Kanala Alınma oranı (%)	Toplam Değer
Deliçay	1	1	1	1	5	8	17
Gökdere	2	2	8	3	8	5	27
Kaplıkaya	2	2	8	8	5	8	33
Balıklidere	3	6	5	5	3	1	23
Akçaalan	5	5	7	1	8	8	34
Çukuryayla	4	7	8	1	8	8	37
Erikli	8	7	8	1	8	8	40
Devrengeç	4	8	8	1	8	8	37

Toplamda 8 adet alüvyal fan alanı bulunmaktadır. Her bir alüvyal fan için 6 parametre kullanılarak taşkın duyarlılık sınıflaması yapılmıştır. Minimum duyarlılık değeri 6 olup maksimum duyarlılık değeri ise 48 olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasındaki alüvyal fanlardan elde edilen duyarlılık değerleri ise 17 ile 40 arasında değişmektedir (Tablo 16). Minimum ile maksimum arasındaki değerler düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört seviyede toplanmıştır. Değerler itibariyle Deliçay ve Balıklidere

alüvyal yelpazeleri orta duyarlılıktadır. Gökdere ve Kaplıkaya alüvyal yelpazeleri ile Akçaalan alüvyal konisi yüksek duyarlılık değerlerine sahiptir. Çukuryayla, Devrengeç ve Erikli alüvyal konileri ise çok yüksek duyarlılık değerlerine sahiptir.

Tablo 16. Alüvyal fanların sayısal duyarlılık değerleri ve tanımlamaları

Fan Adı	Duyarlılık Değeri	Seviye Aralıkları	Tanım
Deliçay Alüvyal Yelpazesi	17	16-26	Orta
Balıklidere Alüvyal Yelpazesi	23		
Gökdere Alüvyal Yelpazesi	27	26-36	Yüksek
Kaplıkaya Alüvyal Yelpazesi	33		
Akçaalan Alüvyal Konisi	34		
Çukuryayla Alüvyal Konisi	37	36-48	Çok Yüksek
Devrengeç Alüvyal Konisi	37		
Erikli Alüvyal Konisi	40		

Sonuçlara bağlı olarak Bull (1977)'un da yayınlarında birçok kez değindiği üzere özellikle alüvyal konilerde taşkın duyarlılıkları alüvyal yelpazelere göre yüksek çıkmaktadır. Yapılan analizlerin sonucunda alüvyal fanlar için taşkın duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 36). Özellikle alüvyal konilerdeki bu denli yüksek taşkın duyarlılık değerlerinin çıkması düşündürücüdür. Bu alanlar aynı zamanda alüvyal fan alanları içerisinde en yüksek şehirleşme oranlarına sahip bölgeleri meydana getirmektedir. Bu fanları meydana getiren drenaj havzalarının küçük çaplı olması ve orta değerlerde taşkına duyarlı sonuçlar vermesi sonucu yanıltmamalı. Her ne kadar havzalar büyük potansiyeller taşımaları da fanlar taşkına karşı son derece hassas alanlardır. Santangelo'nun (2011) özellikle İtalya'daki alüvyal fanlar üzerine yaptığı çalışmalarda, ekstrem yağışlı dönemlerde bu tarz küçük havzaların önündeki alüvyal konilerde beklenmeyen çok ağır yıkımların meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bilindiği üzere ekstem yağışlar düzenli aralıklarla olmamakta ve uzun periyotlar içerisinde meydana gelmektedir. Sahadaki bu küçük drenaj havzalarında özellikle, ilkbahardaki kar erimelerinin de olduğu bir dönemde bu denli ekstrem bir yağışla karşılaşılırsa, olabilecek sonuçlar hakkında hiçbir ön bilginiz bulunmamaktadır. Bu durum alüvyal koniler üzerinde özellikle düşünülmesi gereken bir noktaya dikkat çekmektedir.

Alüvyal yelpazeler içerisinde de özellikle Kaplıkaya ve Gökdere yüksek duyarlılık değerlerine sahip olmaktadır. Bu durumun ortaya çıkmasında moloz akışların varlığı, yüksek oranda şehirleşme, akışa engel yolların fazlalığı, eğim ve yelpaze alanının

Deliçay alüvyal yelpazesi eğim değerlerinin düşük olması, en düşük W_f akış değerlerinin görülmesi, şehirleşme oranının en az olduğu, akışa engel tek bir ana caddesinin bulunduğu bir alüvyal yelpazedir. Bu nitelikler itibariyle sonuçlarının bu şekilde olması son derece doğaldır. Gerisinde drenaj anlamında çok yüksek bir taşkın duyarlılık potansiyeli bulunduran Deliçay alüvyal yelpazesi alansal büyüklüğü ve sahip olduğu özellikleri itibariyle orta duyarlılık ile sonuçlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, bu denli çok yüksek duyarlılığa sahip bir drenaj havzası önünde artan şehirleşme baskısı ile birlikte, yelpaze yüzeyinde meydana gelebilecek yanlış bir arazi kullanımının büyük sonuçları olacağıdır.

3. HAVZA/FAN TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ

Bu bölümde drenaj havzaları ve alüvyal fanlarda yapılan taşkın duyarlılık analizleri bir bütün olarak incelenmeye çalışılmıştır. Morfolojik olarak drenaj havzaları ve alüvyal fanlar çok farklı birimlerdir. Eğim, yükselti, iklim, bitki örtüsü, yerleşme özellikleri, morfolojik çeşitlilik olarak aynı yapıda değildirler. Havzalar aşınım ağırlıklı sahaları meydana getirirken, fan yüzeyleri ise genellikle birikim sahaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Akarsu süreçleri drenaj havzalarında çok karmaşık şekillerde işlerken fanlarda ise sadece ana akarsu kolunun varlığı söz konusudur. İki morfolojik birimin bu denli farklılıklar içermesi kuşkusuz gerek havzaların gerekse de fanların duyarlılık analizlerinde farklı parametreler kullanılarak analizlerin yapılmasına neden olmuştur. Havza duyarlılık analizlerinde ağırlık olarak morfometrik analizler kullanılmışken fanlarda ise morfometrik ve beşeri parametreler birlikte kullanılmıştır. Çalışma bu yönüyle Bölgede yapılan çalışmalar içerisinde özgün bir konumda bulunmaktadır. Sonuçlar itibariyle havza/fan taşkın duyarlılık analizleri kapsamında Balıklıdere ve Gökdere alüvyal yelpazeleri ve drenaj havzaları dışındaki tüm havza/fan alanlarında duyarlılık sonuçlarında herhangi bir ortaklık söz konusu değildir. Analizlerde elde edilen sonuçlar batıdan doğuya doğru havza/fan bazında incelenmeye çalışılmıştır. Yapılan tüm analizlerin sonucunda havza/fan taşkın duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 37).

Gökdere drenaj havzası sahip olduğu morfometrik özelliklerin toplamında yüksek taşkın duyarlılığına sahip bir drenaj havzası meydana getirmiştir. Gökdere alüvyal yelpazesi de yüksek taşkın duyarlılığına sahiptir. Çukuryayla, Devrengeç, Akçaalan ve

Erikli nispeten daha küçük drenaj havzalarına ve morfometrik sonuçları itibariyle orta seviyelerde taşkın duyarlılığına sahiptirler. Uludağ'ın kuzey yamacında fay diklerindeki yüzeyleri aşındırarak oluşan bu drenaj havzaları yüksek eğim değerleri ile dikkat çekmektedir. Sel karakterli akışlar üreten bu drenaj havzaları özellikle ani sağanak yağışlarda ve bahar dönemindeki kar erimelerinde önemli yüzeysel akışlar meydana getirmektedir. Havza önünde meydana gelen alüvyal konilerde ise yüksek ve çok yüksek taşkın duyarlılık değerleri ortaya çıkmaktadır. Konilerdeki eğim koşullarının yüksek olması, sel karakterli akışların görülmesi ve yoğun şehrsel yapıya sahip olmaları bu durumun ortaya çıkmasında son derece önemlidir.

Kaplıkaya drenaj havzası ve alüvyal yelpazesi sonuçları itibariyle diğer diğer havza/fan yapılarından ayrılmaktadır. Burada önemli olan orta düzeyli bir drenaj havzasına sahip olmasına rağmen yüksek düzeyde taşkın duyarlılığı olan bir alüvyal yelpaze meydana getirmiştir. Kaplıkaya drenaj havzası kaynaklarını Uludağ'ın zirvesine yakın noktalardan almakta, Deliçay ve Kocabalıklı havzasından sonra sahadaki en yüksek rölyef özelliklerini meydana getirmektedir. Kaplıkaya havzası özellikle 1600-1800 metre yüksekliklerindeki noktalarında 80 derecenin üzerinde eğim değerlerine sahiptir. Kaplıkaya alüvyal yelpazesi D_f ve W_f akışların birlikte görüldüğü tek fan mekanizmasıdır.

Çalışma sahasındaki en kompleks alüvyal fan yapısını Balıklıdere alüvyal yelpazesi meydana getirmektedir. Kocabalıklı, Küçükbalıklı, Çardakseki ve Değirmenönü havzalarının başlangıç noktaları birleşerek oluşan Balıklıdere alüvyal yelpazesi havzaların ortalama değerlerinden oluşmuştur. Fanı meydana getiren drenaj havzaları orta düzeyde taşkın duyarlılık değerlerine sahiptir. Balıklıdere alüvyal yelpazesi de havzalar gibi orta düzeyde taşkın duyarlılık değerine sahiptir. Alüvyal fana ulaştıktan kısa bir süre sonra birleşen Balıklıdere fanı drenaj havzaları, ova içerisinde Deliçay'ın sularına katılmadan önce Balıklıdere adını alarak akışını sürdürürler. Alüvyal fanlar içerisinde bünyesinde tek orman örtüsü barındıran fan Balıklıdere'dir. 1990'ların başlarında yerleşme alanlarını Cumalıkızık, Hamamlıkızık, Değirmenönü gibi tarihi köyler oluşturan bu bölge günümüzde hızla yerleşilen alanların başında gelmektedir. Balıklıdere Deliçay'a katılana kadar ki bölümünde doğal drenaj yatağında akış göstermektedir.

Sahadaki en büyük drenaj havzası ve alüvyal fan morfolojisi Deliçay vadisinde yer almaktadır. Kaynağını Uludağ'ın zirve noktasından alan Deliçay sahip olduğu güçlü yan kollarla birlikte Uludağ kütlesinin sularının büyük bölümünü drene etmektedir. Morfometrik özellikler bakımından sahadaki en karmaşık yapıyı oluşturan Deliçay aynı zamanda fanlar içerisindeki en büyük yapıyı meydana getirmiştir. Morfometrik analizlerde de detaylı açıklandığı üzere eğim, yükselti, rölyef, iklim, bitki örtüsü, drenaj ağı çeşitliliği vb. havza özelindeki parametreleriyle diğer havzalardan önemli ölçüde ayrılmaktadır. Yüksek taşkın duyarlılık değerine sahip olan Deliçay havzası alüvyal fan anlamında da orta düzeydedir. Son yıllarda özellikle bünyesinde barındırdığı şelaleler, mesire alanları ve doğal güzellikleri ile yerli ve yabancı turistlerin uğrak yeri haline gelen Deliçay vadisinde beşeri koşulların etkisi hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak vadi içerisindeki köylerde yerleşim oranlarında belirgin değişiklikler olmuştur. Turizm faaliyetleri kapsamında vadi içerisinde birçok noktada oluşturan cazibe merkezlerinin de varlığı havzanın doğal yapısında önemli değişiklikler meydana getirmiştir. Artan beşeri baskı drenaj havzalarındaki doğal süreçleri olumsuz yönde etkilemektedir. Havzanın alüvyal fanında ise durum çok farklı değildir. Özellikle fanın merkezinde kurulmuş olan Gürsu ilçesi çok yoğun göç alan merkezlerin başında gelmektedir. TÜİK verilerine göre 1990 yılında 18.000 olan ilçe nüfusu 2020 yılında 96.000 civarına ulaşmıştır. Bu oran beş kattan fazladır. Şehirleşme doğrudan verimli topraklar üzerindeki tarım alanlarında inşa edilmiştir. Her ne kadar DSİ'nin fan yüzeyinde inşa ettiği geniş beton yataklar sayesinde yakın tarihte önemli bir taşkın haberine tanıklık edilmemiş olsa da Deliçay drenaj havzası Uludağ'ın en yüksek taşkın üretme potansiyeline sahip havzalarının başında gelmektedir. Unutulmamalı ki böylesi büyük bir alüvyal fanı meydana getirebilecek bir drenaj havzası fan yüzeyinde hatalı arazi kullanımına bugün olmasa da gelecekte müsaade etmeyecektir.

Havzalar içerisinde alansal olarak en büyük Deliçay havzası iken (107 km^2) en küçüğü ise Devrengeç havzasıdır (1 km^2). Drenaj havzaları geometrik olarak farklılıklar barındırmaktadır. Özellikle Deliçay ve Gökdere havzaları Uludağ'ın kuzey yamacının yarısından fazlasını drene etmektedirler. Deliçay havzası hariç Drenaj havzalarının tamamında gençlik safhası, aşındırma ve biriktirme süreçleri hâkimdir. Taşkın duyarlılığı bakımından en yüksek değerlerden birine sahip olan Deliçay havzası yıllar içerisinde en fazla orman örtüsü tahrip edilen havza olmuştur. Drenaj havzalarında taşkın duyarlılık analizlerinin sonuçları belli bir hiyerarşik düzende gitmemektedir. Bunda kuşkusuz havza büyüklükleri, şekil özellikleri, yükseklik, eğim, yamaç oluşumları, engebelilik gibi jeomorfolojik değişkenlerin varlığı söz konusudur. Bununla birlikte arazi kullanım şartları, litolojik faktörler ve bitki örtüsü ve toprak gibi mekânsal faktörlerinde etkisi vardır. Taşkın duyarlılığı açısından Deliçay ve Gökdere yüksek, Kaplıkaya, Çardakseki, Akçaalan, Devrengeç, Küçükbalıklı, Değirmenönü, Kocabalıklı, Erikli ve Çukuryayla havzaları orta duyarlılık değerlerinde çıkmıştır. Çalışma sahasındaki drenaj havzalarında çok yüksek ve düşük değerlerde taşkın duyarlılık değerleri tespit edilmemiştir. Çalışma sahasındaki drenaj havzaları sahip oldukları konum ve yükseltileri itibarıyla özellikle kış aylarında yüksek miktarda kar yağışı almaktadırlar. Kış aylarında biriken kar yağışları özellikle ilkbahar aylarında ısınmayla birlikte ani akışlar meydana getirmektedir. Bununla birlikte ilkbaharda meydana gelen ani sağanak yağışlar ve bu aylarda Bursa bölgesinde meydana gelen lodos rüzgârlarının da etkisiyle, yer yer havzalarda ani ve yüksek miktarlarda yüzeysel akışları oluşturmaktadır. Eğim değerlerinin yüksek olduğu bu havzalarda, akıma katılan sular yüzeyde çok fazla infiltrasyona uğramadan direk akışa geçmektedirler. Eğim koşullarının da etkisiyle hızlı bir akış gösteren bu akarsular dağ yamacındaki eğimin azaldığı noktalarda alüvyal fan alanlarına güçlü bir şekilde ulaşmaktadırlar. Bu durum normal şartlarda bile akış belirsizliğine sahip alüvyal fanlar üzerinde taşkın risklerini arttırmaktadır.

Alüvyal fanlar içerisinde en büyük alana sahip olan 33.7 km^2 ile Deliçay alüvyal yelpazesi iken, en küçük alüvyal fan ise 0.3 km^2 ile Devrengeç alüvyal konisidir. Deliçay ve Gökdere alüvyal yelpazeleri hariç diğer fanlarda debris karakterli taşkına son derece duyarlı akış karakterleri görülmektedir. Deliçay alüvyal yelpazesini %44 ile

istisna kabul edersek diğer alüvyal fanlar yaklaşık olarak %100 lük oranlarla şehirleşmişlerdir. Gökdere, Kaplıkaya ve Deliçay alüvyal yelpazeleri üzerindeki akarsu yatakları tamamen yapay kanallarda akış göstermektedirler. Fanlar üzerinde en fazla köprü Gökdere alüvyal fanı üzerinde inşa edilmiştir. Alansal olarak en küçük fanlarda en yüksek taşkın duyarlılık sonuçları çıkmıştır. Gökdere ve Balıklıdere alüvyal yelpazeleri ve drenaj havzaları dışındaki havza/fan analizlerinde ortak sonuçlar çıkmamıştır. Alüvyal fanlarda taşkın duyarlılığı açısından Erikli, Devrengeç ve Çukuryayla çok yüksek, Akçaalan, Kaplıkaya ve Gökdere yüksek, Balıklıdere ve Deliçay alüvyal fanı ise orta duyarlılık değerlerine sahiptir. Alüvyal fanlar içerisinde düşük duyarlılıkta bir fan mekanizması bulunamamıştır.

Drenaj havzaları dağlık alanlarda olduğu ve beşeri koşullardan çok fazla etkilenmediği için bu noktada havzalar bağlamında çok fazla bir öneri yapılamamıştır. Buna rağmen sonuçlar itibariyle zaten yüksek olan taşkın duyarlılıklarının daha fazla artmaması açısından özellikle arazi kullanım özellikleri korunmalı ve özellikle ormanlık alanlarda herhangi bir azaltma faaliyeti meydana getirilmemelidir. Yıllar içerisinde özellikle Deliçay havzasında yapılan bu tahribat durdurulmalıdır. Bu durumun artması, ileride havzadaki yağış akış ilişkisine olumsuz anlamda zarar verecektir.

Alüvyal fan alanlarında doğal akış koşulları gözetilmeli, akımı arttıracak veya doğal akışa engel olacak daraltma ve öteleme gibi beşeri faaliyetlerden kaçınılmalıdır. Özellikle Kaplıkaya havzasında olduğu gibi dere yatakları ıslah adı altında daraltılmamalıdır. Akarsu yatakları planlanırken taşkın yataklarını da içerisine alacak şekilde çalışmalar yapılmalı, suyun anlık veya mevsimlik aktığı sınırlar akarsu sisteminin sınır hattı gibi düşünülmemelidir.

Özellikle yerleşmenin yoğun olduğu alüvyal fanlardaki akarsuların taşkın yatakları geçirimsiz zeminler içermeyen rekreasyon alanları haline dönüştürülmeli hem şehrin yeşil alan ihtiyacı karşılanmalı hem de taşkından etkilenecek yerleşim alanları azaltılmadır. Bununla birlikte bu alanlar kesinlikle imara açılmamalıdır.

Devrengeç, Çukuryayla, Akçaalan, Erikli gibi küçük drenaj havzalarına ve bunların alüvyal konilerine ayrıca dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu havzalar mevsimlik fakat ani pik akımlar üretebilecek alt yapıdadırlar. Uzun yıllardır pik akımlar üretmemiş

olmaları havzalarda aşındırma süreçlerinin bittiği anlamına gelmez. Alüvyal konileri ise son derece yüksek taşkın duyarlılıklarına sahiptir. Bu iki durum doğrultusunda fan alanlarında taşkın duyarlılıklarını azaltmaya yönelik beşeri tedbirler artırılmalıdır. Olası bir ekstrem yağış ve pik akım döneminde bu havzalar çok tehlikeli yüzeysel akışlar meydana getirebilir. Böylesi durumlarda zaten yoğun olan şehirselleşme içerisinde rahatlıkla drene edilmeleri gerekmektedir. Aksine meydana gelebilecek bir durumda bu konilerde afet düzeyinde taşkınlar meydana gelecektir.

Alüvyal yelpaze ve koniler verimli toprakları bünyesinde bulundurur. Özellikle Gürsu bölgesini içerisine alan Deliçay alüvyal yelpazesindeki tarım alanları korunmalıdır. Küçük ve mevsimlik drenaj havzaları önemsenmeli yağışlı dönemlerde sağlıklı çalışmaları için yıl boyunca izlenmelidirler.

KAYNAKÇA

- ABDEL-LATTIF, A., SHERIEF, Y., “Morphometric Analysis And Flash Floods Of Wadi Sudr And Wadi Wardan, Gulf Of Suez, Egypt: Using Digital Elevation Model”, *Arabian Journal Of Geosciences*, 2010, 1–15.
- ALAM, A., Ahmed, B., & Sammonds, P., “Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh”, *Quaternary International*, 575, 2021, 295-307.
- ALEOTTI, P., CHOWDHURY, R., “Landslide Hazard Assessment: Summary Review And New Perspectives”, *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58, 1999, ss.21–44.
- ALTAF, S., MERAJ, G. VE ROMSHOO, S. A., “Morphometry And Land Cover Based Multi-Criteria Analysis For Assessing The Soil Erosion Susceptibility Of The Western Himalayan Watershed”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(12), 2014, 8391–8412. doi:10.1007/s10661-014-4012-2
- ARABAMERİ, A., TİEFENBACHER, J. P., BLASCHKE, T., PRADHAN, B., & TİEN BUI, D., “Morphometric analysis for soil erosion susceptibility mapping using novel gis-based ensemble model”, *Remote Sensing*, 12(5),2020, 874.
- ARDEL,A., “Marmara Bölgesinin Güneydoğu Havzalarının Morfolojik Karakterleri”, *Türk Coğrafya Dergisi Sayı 2*,Ankara, 1943 , ss.1-4.
- ARINÇ, K., “Ekolojik Yönleriyle; Bursa Ovası’nda Arazi Kullanılışı Ve Çevresel Etki Değerlendirmesi/Ecological Aspects Of Environmental Impact Assessment And Land Use Of Bursa Plain”, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 8(10),2011, ss.83-111.
- ARNOUS, M. O., ABOULELA, H. A. VE GREEN, D. R., “Geo-Environmental Hazards Assessment Of The North Western Gulf Of Suez, Egypt”, *Journal of Coastal Conservation*, 15(1), 2011, 37–50.
- ATALAY İbrahim, “Türkiye Coğrafyası (4. Baskı)”, İzmir,1994, Ege Üniversitesi Basımevi

- AULİTZKY H., “Preliminary Two-Fold Classification Of Torrents. Proceedings International Symposium Interpraevent”, *Bad Ischl 4*, 1980, ss.285–309.
- BAŞARI, E., “Bursa İl Merkezi Zeminlerinde Dinamik Zemin Davranış Analizleri”, *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi: 142*, Manisa, 2003
- BATER, C. VE COOPS, N., “Evaluating Error Associated With Lidar-Derived Sym Interpolation”, *Computers And Geosciences*, 2009, ss. 289-300.
- BAUMGARDNER, R., “Morphometric Studies Of Subhumid And Semiarid Drainage Basin, Texas Panhandle And Northeastern New Mexico”, *The 93 University Of Texas At Austin, Bureau Of Economic Geology Rep.Invest.*,1987, 66.
- BBB, (Bursa Büyükşehir Belediyesi), “Bursa İli Nilüfer İlçesi Ertuğrul Mahallesi H21C04C2D Pafta 3550 Ada 1,2,3,4,5,6 Parsele Ait 1/1000 Ölçekli İmar Planı Değişikliğine Esas Jeolojik Etüd Raporu” (Yayınlanmamış),Bursa, 2012
- BLAIR, T.C., MCPHERSON, J.G., “Alluvial Fans And Their Natural Distinction From Rivers Based On Morphology, Hydraulic Processes,Sedimentary Processes, And Facies Assemblages”, *Journal Of Sedimentary Research, Section A, Sedimentary Petrology And Processes* 64, 1994, ss. 450– 489.
- BOGOLOMOV, L.A., “Topografical Interpretation Of Aerial Photographs Of Natural Landscape”, *Moscow, Gosgeoltekhizdat, Jprs*,1963, ss.17-771.
- BULL, W. B. “The Alluvial-Fan Environment”, *Progress In Physical Geography*, 1(2),1977 , ss. 222-270.
- CEOS, “The Use Of Earth Observing Satellites For Hazard Support: Assessments And Scenarios”, *Final Report Of The Ceos Disaster Management Support Group (Dmsg)*, U.S. Department Of Commerce, National Oceanic And Atmospheric Administration, 2003, ss. 1-218.
- COSTA JE., “Rheologic, Geomorphic And Sedimentologic Differentiation Of Water Floods, Hyperconcentrated Flows, And Debris Flows”, *In Flood Geomorphology*, Baker Rr, Kochel Rc, Patton C (Eds).Wiley: New York,1988, ss.113–122.

- COSTA, J. E., “Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States”, *Journal of hydrology*, 93(3-4),1987, 313-338.
- COŞKUN, M., & ÖZTÜRK, A., “Havza Önceliklendirmesi Bakımından Ermenek Çayı Havzası Ve Gökçay Havzasının Karşılaştırmalı Morfometrik Analizi”, *Turkish Journal of Forestry*, 23(1),2021, 1-10.
- DEMOULIN, A., “Testing The Tectonic Significance Of Some Parameters Of Longitudinal River Profiles:The Case Of The Ardenne (Belgium, Nw Europe)”, *Geomorphology* 24,1998, ss. 189-208.
- DEVLET SU İŞLERİ (Dsi), “Bursa Ve Çayırköy Ovalarının Hidrojeolojik Etüt Raporu”, *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler Ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı*, Bursa,1973.
- ELBAŞI Emre & ÖZDEMİR Hasan, “Marmara Denizi Akarsu Havzalarının Morfometrik Analizi”, *Coğrafya Dergisi*, 36 , 2018, ss. 63-84.
- EMRE Ö., DOĞAN A., DUMAN T.Y., ÖZALP S., “1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bursa (NK 35-12) Paftası. Seri No: 9”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye*,2011a.
- EMRE Ö., DOĞAN A., ÖZALP S., YILDIRIM C., “1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Bandırma (NK 35-11b) Paftası MTA 1:250.000 Ölçekli Diri Fay Haritaları Serisi”, *Seri No: 3*, 55 s., Ankara-Türkiye,2011b
- EMRE Ö., DUMAN T.Y., ÖZALP S., “1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Kütahya (NJ 35-4) Paftası, Seri No: 10”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye*,2011
- EMRE, Ö., DOĞAN, A., YILDIRIM, C., ŞAROĞLU, F., “Active Fault Pattern And Bend Kinematics İn Nw Anatolia.International Symposium On The Geodynamics Of Eastern Mediterranean: Active Tectonics Of The Aegean Region”, *15-18 June 2005, Kadir Has University, Abstracts, P. 98*, İstanbul, Turkey. Ss. 1-17.
- EMRE, Ö., DUMAN, T. Y., DOĞAN, A., ÖZALP, S., YILDIRIM, C., KÜRÇER, A., ÖZAKSOY, V., ELMACI, H. VE KOÇ, G., “Batı Türkiye’nin Diri Fay

- Geometrisi Ve Güncel Kinematığı”, 62. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan 2009, Bildiriler, Ankara, 2009*, ss.47-82.
- ERENDİL, M., GÖNCÜOĞLU, C., TEKELİ, O., AKSAY, A., KUŞÇU, İ., ÜRGÜN, B., TÜNAY, G., TEMREN, A., “Armutlu Yarımadasının Jeolojisi” , *Mta Rapor No: No. 9165, Ankara, 1991*, ss.259-271.
- ERGİNAL, A. E. VE CÜREBAL, İ., “Soldere Havzasının Jeomorfolojik Özelliklerine Morfometrik Yaklaşım: Jeomorfik İndisler İle Bir Uygulama”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17,2007*
- ERİNÇ Sırrı , “*Jeomorfoloji I*”, 6. Baskı, Der Yayınları, İstanbul,2012
- ERİNÇ Sırrı, “Uludağ Üzerinde Glasyal Morfoloji Araştırmaları”, *Türk Coğrafya Dergisi, 0 (11-12) ,1949*, ss.79-94 .
- ERİNÇ Sırrı, “Uludağ’ın Periglasyali Hakkında”, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi, 8, İstanbul, 1957*, ss. 91-94.
- ERKAL, T. VE EMRE, Ö., “Nilüfer Çayı (Bursa) Drenajının Kuruluşu Ve Evrimi: Tektonizma-Drenaj İlişkileri”, *Tübitak, Proje No: Ydabçag-426, Ankara,1997*,ss.135-139
- F.A. DE SCALLY, I.F. OWENS, “Morphometric Controls And Geomorphic Responses On Fans İn The Southern Alps”, *New Zealand Earth Surface Processes And Landforms, 29, 2004*, ss. 311-322
- FANG, X., THOMPSON, D.B., CLEVELAND, T.G. VE PRADHAN, “Variations Of Time Of Concentration Estimates Using Nrcs Velocity Method”, *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*, Doı: 10.1061/(Asce)0733-437,133(4), 2007, ss. 314-322.
- FARHAN, Y., ANBAR, A., ENABA, O. VE AL-SHAikh, N., “Quantitative Analysis of Geomorphometric Parameters of Wadi Kerak , Jordan , Using Remote Sensing and GIS”, *Journal of Water Resource and Protection*, 2015 (7), 2015, 456–475.

- FERNÁNDEZ, D.S., LUTZ, M.A., “Urban Flood Hazard Zoning In Tucumán Province, Argentina, Using GIs And Multicriteria Decision Analysis”, *Eng. Geol.* 111 (1), 2010, ss. 90–98.
- FREEMAN, T. G., “Calculating Catchment Area With Divergent Flow Based On A Regular Grid”, *Computers Ve Geosciences*, 17(3), 1991, ss.413–422.
- GARDINER, V., “Drainage Basin Morphometry”, *Geomorphological Techniques*, 1990, S. 71-81, London: Unwin Hyman.
- GÖKÇEOĞLU, C., SÖNMEZ, H., NEFESLİOĞLU, H.A., DUMAN, T.Y., CAN, T., “The March 17, 2005 Kuzulu Landslide (Sivas, Turkey) And Landslide Susceptibility Map Of Its Close Vicinity”, *Engineering Geology*, 81, 2005, ss.65-83.
- GÖNGÖRDÜ Mutlu, “Güney Marmara Bölümü (Doğu Kesimi) Bitki Örtüsünün Coğrafi Şartları”, *İ.Ü. Coğrafya Dergisi S.,İstanbul*,1985, ss. 77-94.
- GÖRÜMT., B. GONENCGİL, C. GOKCEOGLU, H.A. NEFESLİOGLU, “Implementation Of Reconstructed Geomorphologic Units In Landslide Susceptibility Mapping: The Melen Gorge (Nw Turkey)”, *Natural Hazards*, 46 ,2008, ss.323-351.
- GUZZETTİ F., MARCHETTİ M., REICHENBACH P., “Large Alluvial Fans In The North-Central Po Plain (Northern Italy)”, *Geomorphology* 18, 1997, ss.119–136.
- HARVEY AM., “Controls Of Alluvial Fan Developments: The Alluvial Fans Of The Sierra De Carrascoy, Murcia, Spain”, *Catena Supplement* 13, 1988, ss.123–137.
- HARVEY, A. M., “Alluvial fan dissection: relationships between morphology and sedimentation” , *Geological Society, London, Special Publications*, 35(1),1987, 87-103.
- HELMİO T., “Unsteady 1d Flow Model Of Compound Channel With Vegetated Floodplains”, *J Hydrol* 269(1–2), 2002, ss.89–99.

- HORTON, R. E., “Drainage Basin Characteristics”, *American Geophysics Union*, 1932, ss.350–361.
- HORTON, R.E., “Erosional Development Of Streams And Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach To Quantitative Morphology”, *Bull. Geol. Soc. Am.* 56, 1945, ss.275–370.
- HOŞGÖREN, M. Y., “*Jeomorfoloji'nin ana çizgileri I*”, Çantay kitabevi, 2010
- IBRAHİM BATIS, K., AHMED, S. A., “Evaluation Of Morphometric Parameters –A Comparative Study From Cartosat DEM , SRTM And SOI Toposheet İn Karabayyanahalli Sub-Watershed , Karnataka”, *International Journal of Research*, (11), 2014, 679–688.
- JENSON, S. VE DOMİNGUE, J., “Extracting Topographic Structure From Digital Elevation Data For Geographic Information System Analysis”, *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, 1988, ss. 1593–1600.
- K. KHOSRAVİ, H.R. POURGHASEMİ, K. CHAPİ, M. BAHİRİ, “Flash Flood Susceptibility Analysis And Its Mapping Using Different Bivariate Models İn Iran”, *A Comparison Between Shannon's Entropy, Statistical İndex, And Weighting Factor Models Environ. Monit. Assess.*, 188 (12), 2016, P. 656
- KABITE, G., & Gessesse, B., “Hydro-geomorphological characterization of Dhidhessa River basin, Ethiopia”, *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 2018, 175-183.
- KAIN, C. L., Rigby, E. H., & Mazengarb, C., “A combined morphometric, sedimentary, GIS and modelling analysis of flooding and debris flow hazard on a composite alluvial fan, Caveside, Tasmania”, *Sedimentary Geology*, 364, 2018, 286-301.
- KARABACAK, V., SANCAR, T., SELÇUK, A. S., & BÜYÜKDENİZ, Y., “Ulubat Fayı'nın Paleosismisitesi: Kuzey Anadolu Fay Zonu Güney Kolunun Deprem Davranışı Üzerine Çıkarımlar, Güney Marmara”, *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 3(1), 2021, 1-19.

- KARABULUT, M., KÜÇÜKÖNDER M., TOPUZ, M., “Alata (Erdemli) Deresi’nin Jeomorfometrik Analizi”, *Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi Bildiriler Kitabı*, 19-21 Haziran, İstanbul, 2013, s. 450-459,
- KARAKUYU, M. “Şehirleşmenin Küresel İklim Sapmaları Ve Taşkınlar Üzerindeki Etkisi”, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 6, 2002, ss. 97-108.
- KELLER, E. A. VE PINTER, N., “Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape”, 1996
- KELLER, E.A. AND PINTER, N., “Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape”, 2nd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002, 1-362 p.
- KETİN İhsan, “Uludağ Masifinin Tektoniği Hakkında (Über Die Tektonik Des Uludag Massivs)”, *Bull. Geol. Soc. Turk.*1,1947, ss.61-88.
- KHOSRAVİ, K., NOHANI, E., MAROUFINİA, E. & POURGHASEMİ, H.R., “A GIS-Based Flood Susceptibility Assessment And Its Mapping In Iran: A Comparison Between Frequency Ratio And Weights-Of-Evidence Bivariate Statistical Models With Multi-Criteria Decision-Making Technique”, *Natural Hazards*, 83(2), 2016, ss.947-987.
- KILIÇER Ü., DEĞİRMENCİOĞLU N., YAYVAN M., “Meteorolojik Kaynaklı Doğal Afetler Alt Komisyon Raporu”, *Dpt Doğal Afetler Özel İhtisas Komisyonu Başkanlığı*, Ankara, 2000 , ss.1-28.
- KIRKBY, M.J., ATKINSON, K., AND LOCKWOOD, J.G., “Aspect, Vegetation Cover And Erosion On Semi-Arid Hillslope”, *In J.B. Thornes (Ed.), Vegetation And Erosion*, 1990, ss. 25-39.
- KİRPİCH, Z.P., “Time Of Concentration Of Small Agricultural Watersheds”, *Civil Engineering*, 10 (6), 1940, P.362.
- KOÇYİĞİT, M. B., AKAY, H., & YANMAZ, A. M., “Taşkınlar Ve Akarsu Köprülerine Etkileri”, *Flooding And Its Effect On River Bridge*, ss.525-530.

- KOSTASCHUK RA, MACDONALD GM, PUTMAN PE., “Depositional Processes And Alluvial Fan-Drainage Basin Morphometric Relationship Near Banff, Alberta, Canada”, *Earth Surface Processes And Landforms* 11, 1986, ss.471–484.
- KUTLUKAN, E., “Bursa Ovası Sismik Etüdü”, *Mta Yayını, No:5070*, Ankara,1973.
- MARTZ, L. W. VE JONG, E. D., “A Fortran Program For Measuring Catchment Area From Digital Elevation Models”, *Computer And Geosciences*, 14, 1988, ss.627-640.
- MCKENZİE, D.P., “Active Tectonics Of The Mediterranean Region”, *Geophysical Journal Of The Royal Astronomical Society*, 30,1972, ss. 109-185.
- MELTON MA., “The Geomorphic And Paleoclimatic Significance Of Alluvial Deposits İn Southern Arizona”, *Journal Of Geology* 73, 1965, Ss.1–39.
- MELTON, M.A., “An Analysis Of The Relation Among Elements Of Climate, Surface Properties And Geomorphology”, *Department Of Geology, Columbia University*, New York, Technical Report, 11, Project Nr 389-042,1957
- METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, *İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri-Bursa*, (18.06.2021), Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler/istatistik.aspx?M=Bursa>
- MOKARRAM, M., POURGHASEMİ, H. R., & TIEFENBACHER, J. P., “Morphometry of AFs in upstream and downstream of floods in Gribayegan”, Iran. *Natural Hazards*, 108(1), 2021, 425-450.
- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A,R, “Digital Terrain Modeling: A Review Of Hydrological, Geomorphological, And Biological Applications”, *Hydrological Processes*, 5, 1991, ss.3-30.
- MORRIS, M. E. VE HEERDEGEN, R. G., “Automatically Derived Catchment Boundary And Channel Networks And Their Hydrological Applications”, *Geomorphology*, 1,1988,ss. 134-141.

- MTA, “Bursa İli Kentsel Alanların (İl-İlçe Merkezleri) Yerbilim Verileri”, *Mta Rapor* No: 11163, Ankara,2009,ss.52
- MTA,Http://Www.Mta.Gov.Tr/V2.0/Bolgeler/Kocaeli/Bursa/Bursa-Jeolojisi.Doc.Erişim Tarihi: 06.03.2022Ss.12,2015
- NATİONAL RESEARCH COUNCİL (NRC), “Alluvial Fan Flooding, National Academy Press”,1996,ss.1-131.
- NEFESLİOĞLU, H. A., DUMAN, T. Y., DURMAZ, S., “Landslide Susceptibility Mapping For A Part Of Tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea Region Of Turkey)”,*Geomorphology*, In Press,2006
- NOUH, M.A., “ Wadi Flow İn The Arabian Gulf States”, *Hydrol. Process*, 20,2006,ss.2393–2413.
- O. HUNGR, G.C. MORGAN, R. KELLERHALS, “Quantitative Analysis Of Debris Torrent Hazards For Design Of Remedial Measures Canadian”, *Geotechnical Journal*, 21, 1984, ss. 663-677
- OKAY, A. İ., “Distrubition And Characteristics Of The North-West Turkish Blue Schists İn The Geolocical Evolution Of The Eastern Mediterranean”, *Special Publ. Of The Geological Society*, 17, 1987, Ss.455-466.
- OKAY, A. İ., & TÜYSÜZ, O., “Tethyan sutures of northern Turkey”, *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 1999,ss.475-515.
- OKAY, A.İ., “Ağvanis Metamorfitleri Ve Civarının Jeolojisi”, *Mta Derg.*, 99/100, 1984, ss.16-31.
- ONUŞLUEL, G., & HARMANCIOĞLU, N. B., “Su kaynaklı doğal afet: Taşkın”, *Türkiye mühendislik haberleri*, (420-421),2002.
- OZAKSOY V., “On The Distinction Of Tectonic And Nontectonic Faulting İn Palaeoseismological Research: A Case Study From The Southern Marmara Region Of Turkey”, *International Journal of Earth Sciences* 107, 2018, 1777-1788.

- OZAKSOY V., ELMACI H., OZALP S., KARA M., DUMAN T.Y., “Holocene activity of the Orhaneli Fault based on palaoseismological data, Bursa, NW Anatolia”, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 156,2018, 1-16.
- OZALP S., EMRE O., DOGAN, A., “The Segment Structure Of Southern Branch Of The North Anatolian Fault And Paleoseismological Behaviour Of The Gemlik Fault, NW Anatolia”, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 147, 2013, 1-17.
- ÖDEKER, B., & TÜRKOĞLU, N., “Sabuncular Deresi Havzası'nın Rize/Çayeli Morfometrik Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Cbs İle Belirlenmesi”, *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 60(1), 2020, 14-38.
- ÖZDEMİR, H., BIRD, D., “Evaluation Of Morphometric Parameters Of Drainage Networks Derived From Topographic Maps And SYM İn Point Of Floods”, *Environmental Geology*, 56, 2009, 1405–1415
- ÖZDEMİR Hasan, “Taşkın Çalışmaları Açısından Topografik Haritalardan Ve Dem’den Üretilmiş Akarsu Morfometrik Özelliklerin Karşılaştırılması”, *1. Uzaktan Algılama-Cbs Çalıştay Ve Paneli-2006 (Uzal-Cbs-2006)*, ss.20-28.
- ÖZDEMİR Hasan, “Farklı Senaryolara Göre Taşkın Risk Analizi: Havran Çayı Örneği (Balıkesir)”, *Tmmob Afet Sempozyumu*, 5-7 Aralık 2007, Ankara, ss .155-165.
- ÖZDEMİR, Hasan, “Havza Morfometrisi Ve Taşkınlar”, *Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistematik Ve Bölgesel*, Editör: Deniz Ekinci, İstanbul,2011, ss.457-474.
- ÖZTÜRK, B., “Biga Yarımadasında Asimetrik Havza Gelişimi Ve Yapı İlişkisine Bir Örnek: Yapıldak Dere Havzası”, *Çanakkale Araştırmaları Türk Yıllığı Dergisi*,2008
- ÖZTÜRK, B., ERGİNAL, A. E., “Bayramdere Havzasında (Biga Yarımadası,Çanakkale) Havza Gelişiminin Morfometrik Analizler Ve Jeomorfik İndislerle İncelenmesi”, *Türk Coğrafya Dergisi*, 50, 2008, 61–68.

- ÖZTÜRK, M. Z., “Uludağ'daki Periglasiyal Süreçlerin, Periglasiyal Yerçekillerinin Ve Bunları Denetleyen Etmenlerin İncelenmesi”, *Nilüfer Akkılıç Kütüphanesi Yayınları*,2012
- ÖZTÜRK, M., “Uludağ (Zirve) Ve Bursa Meteoroloji İstasyonlarının Karşılaştırmalı İklimi”, 2010, ss.14-24
- PASUTO A, MARCHİ L, TECCA PR., “Tipologia Del Trasporto Solido Torrentizio Su Conoidi Alluvionali Nell’alto Bacino Dell’avisio (Dolomiti)”, *Bollettino Della Societa Geologica Italiana* ,111, 1992, ss. 41–51.
- PATTON, P. C., & BAKER, V. R., “Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls”, *Water resources research*, 12(5), 1976, 941-952.
- PATTON, P.C., “Drainage Basin Morphometry And Floods”, *In: Baker Vr, Kochel Rc, Patton Pc (Eds) Flood Geomorphology*, Wiley, 1988, ss. 51–65.
- PEKTEZEL Halid, “Gençali Fayı’nın (Bursa) Tektonik Jeomorfoloji Özellikleri”, *Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature And History Of Turkish Or Turkic Volume* ,10/2 Winter 2015, ss. 773-798.
- PHİLİPPSON,A., “Reisen Und Forsegungen İm Westlichen Kleinasien Iıı.Heft”,*Ergaennungshefzu Petermans,Mitteilungen* ,Gotha:Justus Perthes, 1913, ss.1- 177.
- PIKE, R., EVANS, I., HENGL, T., “Geomorphometry: A Brief Guide”.*Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*, Amsterdam: Elsevier,2009, s. 3-30.
- PIKE, R.J., VE WILSON, S.E., “Elevation-Relief Ratio, Hypsometric Integral And Geomorphic Area-Altitude Analysis”, *Geological Society Of America Bulletin*, 82, 1971, ss.1079-1083.
- PINCOTT-MILLER, D., MCGARRY, D., FAIRWEATHER, H., SRIVASTAVA, S. K., “Review And Framework Development For Addressing Flash Flood Potential

Using GIS Assisted Spatial-Hydrologic Modelling” , *The Queensland Surveying and Spatial Conference*, 2012, 1–16.

RADOANE, M., RĂDOANE, N., & DUMÎTRIU, D., “Geomorphological evolution of longitudinal river profiles in the Carpathians”, *Geomorphology*, 50(4), 2003, ss. 293-306.

RANA, N., SINGH, S., SUNDRIYAL, P.Y., RAWAT, S.G. & JUYAL, N., “Interpreting The Geomorphometric Indices For Neotectonic Implications: An Example Of Alaknanda Valley”, *Journal Of Earth System Science*, 125(4) , 2016, ss.841–854.

REDDY, G.P.O., MAJI, A.K., GAJBHIYE, K.S., “Drainage Morphometry And Its Influence On Landform Characteristics In Basaltic Terrain, Central India – A Remote Sensing And Gis Approach” , *International Journal Of Applied Observation And Geoinformation*, 6, 2004, P. 1-16.

RYDER, J. M., “Some aspects of the morphometry of paraglacial alluvial fans in south-central British Columbia”, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8(10), 1971, 1252-1264.

SANTANGELO, N., DAUNIS-Ì-ESTADELLA, J., DÌ CRESCENZO, G., DÌ DONATO, V., FAÏLLACE, P., MARTÌN-FERNANDEZ, J. A.SCORPÌO, V., “Topographic Predictors Of Susceptibility To Alluvial Fan Flooding, Southern Apennines” , *Earth Surface Processes And Landforms* , 37, 2012, ss. 803–817.

SANTANGELO, N., SANTO, A., DÌ CRESCENZO, G., FOSCARI, G., LIUZZA, V., SCIARROTTA, S., & SCORPÌO, V. “Flood Susceptibility Assessment In A Highly Urbanized Alluvial Fan: The Case Study Of Sala Consilina (Southern Italy)”, *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 11(10), 2011, ss. 2765-2780.

SANTO, A., SANTANGELO, N., DÌ CRESCENZO, G., SCORPÌO, V., DE FALCO, M., & CHIRICO, G. B., “Flash flood occurrence and magnitude assessment in an alluvial fan context: the October 2011 event in the Southern Apennines, *Natural Hazards*, 78(1), 2015, 417-442.

- SCHULTZ, G.A. AND ENGMAN, E.T., “Remote Sensing In Hydrology And Water Management, Springer-Verlag” , Berlin, 2000, ss.1-475.
- SCHUMM, S. A., “Evolution Of Drainage Systems And Slopes In Badlands At Perth Amboy”, *Geological Society Of America Bulletin*, 67(5), New Jersey ,1956, ss.597-646.
- SELİM H.H., TUYSUZ O., “The Bursa-Gönen Depression, NW Turkey: A Complex Basin Developed On The North Anatolian Fault”, *Geological Magazine* 150 (5),2013, 801-821.
- SELİM H.H., TUYSUZ O., KARAKAS A., TAS K.O., “Morphotectonic Evidence From The Southern Branch Of The North Anatolian Fault (NAF) And Basins Of The South Marmara Sub-Region, NW Turkey”, *Quaternary International* 292, 2013, 176-192.
- SELİM, H.S., TÜYSÜZ, O. VE BARKA, A.A., “Güney Marmara Bölümünün Neotektoniği”, *İtü Dergisi Mühendislik/D*, C.5, S.1, K.2, İtü Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 34469, Ayazağa, İstanbul,2006, ss.151-160.
- SEYİTOĞLU G., KAYPAK B., AKTUG B., GURBUZ E., ESAT K., GURBUZ A., “An Alternative Route For The Southern Branch Of The North Anatolian Fault Zone”, NW Turkey. *Geological Bulletin of Turkey* 59 (2), 2016, 115- 130.
- SHREVE, R. L., “Statistical law of stream numbers”, *The Journal of Geology*, 74(1), 1966, 17-37.
- SİNGH, O., SARANGİ, A. & SHARMA, M.C., “Hypsometric Integral Estimation Methods And Its Relevance On Erosion Status Of Northwestern Lesser Himalayan Watersheds”, *Water Resources Management*, 22, 2008, ss.1545-1560.
- SÖRENSEN, R., ZİNKO, U., & SEİBERT, J. “On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1), 2006, ss.101-112.

- SÖZEN,M., “Bursa Ve Çayırköy Ovaları Jeofizik Rezistivite Etüd Raporu”,*Dsi Jeoteknik Hizmetleri Ve Yeraltıuları Dairesi*, Rapor No:0351/1a-B,Ankara, 1969
- STRAHLER, A. N., “Quantitative Analysis Of Watershed Geomorphology”, *Trans. Am. Geophys. Union* 38, 1957, ss.913–920.
- STRAHLER, A. N., “Dynamic Basis Of Geomorphology”, *Geological Society Of America Bulletin*, 63(9), 1952 , ss.923-938.
- STRAHLER, A. N., “Quantitative Geomorphology Of Drainage Basins And Channel Networks”, *In Handbook Of Applied Hydrology*, (V.T. Chow, Ed.), Newyork, 1964, ss.4-40-4-74.
- SUNKAR, M. VE TONBUL, S., “Hydrographic Analysis Of Iluh River (Batman) İn Relation To Flood And Torrent Events”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 19, 2011, 537–546. doi:10.1016/j.sbspro.2011.05.167
- ŞENGÖR, A.M.C., “The North Anatolian Transform Fault: İts Age, Offset And Tectonic Significance”, *Journal Of The Geological Society Of London*, 136,1979, ss.269-282.
- ŞENGÖR, A.M.C., “Türkiye’nin Neotektoniğinin Esasları”, *Türkiye Jeol. Kur. Yayını.*, 40 S, Ankara,1980, ss.167-185.
- ŞENGÖR, A.M.C., VE YILMAZ, Y., “Tethyan Evolution Of Turkey: A Plate Tectonic Approach”, *Tectonophysics*, 75, 1981, ss.181-241.
- ŞENYUVA, T.K., “Bursa Ovası’nın Hidrojeoloji İncelemesi”, *İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İstanbul,1991.
- TAHA, M. M., ELBARBARY, S. M., NAGUİB, D. M., & EL-SHAMY, I. Z., “Flash flood hazard zonation based on basin morphometry using remote sensing and GIS techniques: A case study of Wadi Qena basin, Eastern Desert, Egypt” , *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, 2017, 157-167.

- TAYLOR, P., BHATT, S., AHMED, S. A., “Morphometric Analysis To Determine Floods In The Upper Krishna Basin Using Cartosat DEM”, *Geocarto International*, 29, 2014, 878–894. doi:10.1080/10106049.2013.868042
- TOLUN, N., “Bursa Ovası’nın Hidrolojisi Hakkında Not”, *Mta Rapor No: 1799*, Ankara,1948
- TOPUZ, M., “Silifke-Erdemli Arasındaki Derelerin Jeomorfometrik Analizi”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*,2014.
- TUROĞLU Hüseyin, ve ÖZDEMİR Hasan, “*Bartın’da Sel Ve Taşkınlar: Sebepler, Etkiler, Önleme Ve Zarar Azaltma Önerileri*”, Çantay Kitabevi, İstanbul,2005
- TUROĞLU, H., 2010b., “8–10 Eylül 2009 Tarihlerindeki Yağışların Silivri-Selimpaşa Sahil Kuşağında Neden Olduğu Sel Ve Taşkınlar”, *Dsi Genel Müdürlüğü 2. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, Afyon 22–24 Mart 2010, Tebliğler Kitabı, ss.31–43.
- TUROĞLU, H., GÜNEYSU, C., ERTEK, A., MATER, B., “Tabiat Parkı Çalışmalarında Bir Uygulamalı Jeomorfoloji Örneği: Ballıkayalar Vadisi”, *Türk Coğrafya Dergisi*, 29, 1994, 315–346.
- TÜRKEŞ Murat, “Influence Of Geopotential Heights, Cyclone Frequency And Southern Oscillation On Rainfall Variations In Turkey”, *International Journal Of Climato-Logy* 18,1998, ss. 649–680.
- TÜRKEŞ Murat, “Spatial And Temporal Analysis Of An-Nual Rainfall Variations In Turkey”, *International Journal Of Climatology* ,16, 1996, ss.1057-1076.
- UTLU M., TOPRAK A., ÖZDEMİR H., “Köyceğiz Gölü Kuzey Havzalarının Jeomorfometrik Analizlere Bağlı Değerlendirilmesi”, *III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu* , Hatay, Türkiye, 4-6 Ekim 2012,ss.768-776
- UTLU Mustafa & ÖZDEMİR Hasan, “Havza Morfometrik Özelliklerinin Taşkın Üretmedeki Rolü Biga Çayı Havzası Örneği”, *Türk Coğrafya Dergisi* , (36) ,2018, ss. 49-62.
- VERSTAPPEN, H. T., “*Applied Geomorphology*”, Enschede, ITC,1983.

WELSH A, DAVIES T., “Identification Of Alluvial Fans Susceptible To Debris Flow Hazards”, *Landslides* 8, 2011, ss.183–194.

WELSH, A. J., “Delineating debris-flow hazards on alluvial fans in the Coromandel and Kaimai regions”, New Zealand, using GIS, 2007

WHEELER D.A. , “The Overall Shape Of Longitudinal Profiles Of Streams A.F. Pitty (Ed.)”, *Geographical Approaches To Fluvial Processes*, *Geoabstracts*, Norwich, 1979, ss.241-260.

YOUSSEF, A. M., PRADHAN, B., HASSAN, A. M., “Flash Flood Risk Estimation Along The St. Katherine Road, Southern Sinai, Egypt Using GIS Based Morphometry And Satellite Imagery”, *Environmental Earth Sciences*, 62(3), 2011, 611–623.

YUNUS, A. P., OGUCHI, T., HAYAKAWA, Y. S., “Morphometric Analysis of Drainage Basins in the Western Arabian Peninsula Using Multivariate Statistics”, *International Journal of Geosciences*, 2014 (April), 527–539.