

YIL: 2021 CİLT: 6 SAYI: 1 ISSN: 1308-3228 E-ISSN: 2651-4745

SU KAYNAKLARI



SU VAKFI

Yayın sahibi

Previlage owner

: Su Vakfı

: Turkish Water Foundation



SU VAKFI

Kurucu Editör/Foundation Editor
Zekai ŞEN

Baş Editör/Editor-in-Chief
İsmail DABANLI

Editörler/Editors

Adem AKPINAR

Ahmet DOĞAN

Ali UYUMAZ

Barış SEVİM

Bülent SELEK

Dilek Eren AKYÜZ

Eyüp ŞİŞMAN

Gökmen TAYFUR

Hatim ELHATİP

İsmail YÜCEL

Kasım YENİGÜN

Mehmet Ali YURDUSEV

Meral BÜYÜKYILDIZ

Mesut ÇİMEN

Muhammet Emin EMİROĞLU

Serdar KORKMAZ

Veysel GÜLDAL

Yavuz Selim GÜÇLÜ

Zekai ŞEN

Zeynel Fuat TOPRAK

Dizgi/Tasarım Editörü/Designing Editor

Muhiddin YENİGÜN

Yazışma Adresi

Adres

: Su Kaynakları Dergisi, Cumhuriyet Mahallesi Libadiye Caddesi Doğanay Sokak No:6
Çolak Plaza Kat:4, 34697 Üsküdar/İstanbul

Telefon

: +90-216 412 33 83

Faks

: +90-216-412 33 90

Elektronik posta

: bilgi@suvakfi.org.tr

Web

: <http://dergipark.gov.tr/su>

ISSN

: 1308-3228

E-ISSN

: 2651-4745

Dergide yayınlanan yazılar izinsiz başka bir yerde yayınlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz.

YIL : 2021
CİLT : 6
SAYI : 1

İÇİNDEKİLER

No Makaleler

- | | | |
|---|---|----|
| 1 | 22 Ağustos 2020 Tarihinde Giresun ve İlçelerinde Meydana Gelen Şiddetli Yağış ve Sel Olayının Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Analizi
Ali Ümran Kömüçü, Mehmet Aksoy, Seyfullah Çelik, Ömer Faruk Cıba, Alaattin Uğurlu, Ertan Turgu, Emel Ünal | 1 |
| 2 | Su jetlerinde oyulma karakteristiklerinin deneysel incelenmesi
Veysi Kartal, M. Emin Emiroğlu | 15 |



ARAŞTIRMA MAKALESİ

Yazışma yazarı:

Ali Ümran KÖMÜŞÇÜ,
aukomuscu@mgm.gov.tr

Referans:

Kömüşçü, A. Ü., Aksoy, M., Çelik, S., Cıba, Ö. F., Uğurlu, A., Turgu, E., Ünal E., (2021), 22 Ağustos 2020 Tarihinde Giresun ve İlçelerinde Meydana Gelen Şiddetli Yağış ve Sel Olayının Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Analizi, Su Kaynakları, 6, (1) 1-14

Makale Gönderimi : 4 OCAK 2021
Online Kabul : 15 MART 2021
Online Basım : 30 MART 2021

22 Ağustos 2020 Tarihinde Giresun ve İlçelerinde Meydana Gelen Şiddetli Yağış ve Sel Olayının Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Analizi

Ali Ümran Kömüşçü¹, Mehmet Aksoy², Seyfullah Çelik³, Ömer Faruk Cıba⁴, Alaattin Uğurlu⁵, Ertan Turgu⁶, Emel Ünal⁷¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Kalaba, Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0001-9930-2479²Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Kalaba, Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-0150-9031³Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Kalaba, Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-9433-716X⁴Tarım ve Orman Bakanlığı, Taşkın Tahmini ve Erken Uyarı Merkezi, Beştepe, Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0001-8297-2855⁵Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Kalaba, Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0003-0716-8036⁶Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Kalaba, Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-6462-2007⁷Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Kalaba, Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0001-6798-4284

Özet Ülkemizin Doğu Karadeniz Bölgesi topoğrafik ve hidrometeorolojik özelliklerinden dolayı sel olaylarının oluşumuna elverişli bir konumda yer almaktadır. Bu çalışmada 22 Ağustos 2020 tarihinde Giresun'da meydana gelen sel olayına zemin hazırlayan meteorolojik ve hidrometeorolojik faktörlerin analizinin yapılması amaçlanarak, yerel koşullarla birlikte sel olayının sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada öncelikle Bölgede meydana gelen şiddetli yağışlar sinoptik perspektiften ele alınarak, uydu-radar ve yer gözlemleri ile detaylı yağış analizi yapılmıştır. 22 Ağustos 2020 tarihinde bölgede meydana gelen şiddetli yağışlar Giresun'un Dereli, Espiye, Doğankent, Tirebolu, Güce, Görele ve Yağlıdere ilçelerinde sel ve heyelan olaylarına sebep olmuştur. Özellikle Giresun'un Dereli ilçesi sel felaketinden en fazla etkilenen yerleşim birimi olmuştur. Giresun ve çevresini etkileyen yağışlar yaklaşık 12 saat devam eden etkili ve aralıklı konvektif geçişler sonucunda gerçekleşmiştir. Meteorolojik açıdan deniz üzerinden kuzeybatı güneydoğu yönünde uzanan cephe hattının varlığı, sistemin sürekli denizden beslenmesi bölgede meydana gelen konvektif yağışların oluşumuna zemin hazırlamıştır. 24-saatlik toplam yağışlar Giresun Yağlıdere Sınırköy, Giresun Çanakçı ve Rize Güneysu mevkielelerinde en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Giresun Yağlıdere Sınırköy'de 24 saatlik yağış değeri 137,6 mm ile bölgedeki en yüksek değeri olmuştur. Bu yağışın 133 mm'si 8 saatlik bir sürede meydana gelmiş olup, 48-yıl tekerrür süresine sahiptir. Bu çalışma meydana gelen sel felaketinin oluşumunda şiddetli yağışların önemli rolü olduğunu ortaya koyarken, topoğrafik yapı, yerleşim alanlarının konumu ve dere havzalarının jeomorfolojik yapısının da felaketin boyutunun artmasında etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Karadeniz, Giresun, Sel ve Taşkın, Şiddetli Yağış

Meteorological and Hydrometeorological Analysis of Severe Rainfall and Associated Flood Occurred in Giresun on 22 August 2020

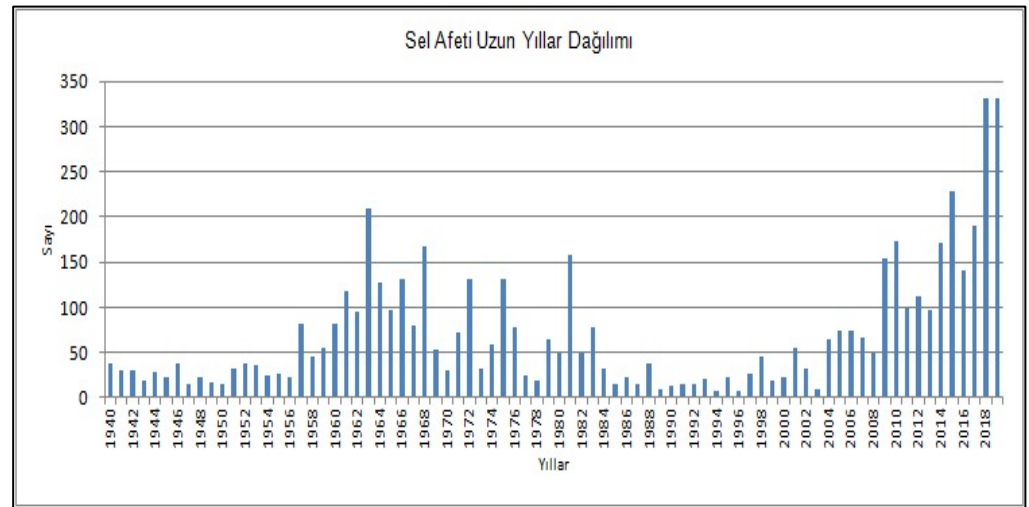
Abstract Eastern Black Sea region of Turkey is prone to occurrence of floods due its topographic and hydrometeorological characteristics. In this study, we aimed to investigate meteorological and hydrometeorological aspects of the flooding along with the other factor analysis and assess the resulting flooding. The severe rainfall conditions were analyzed from a synoptic perspective along with radar-satellite data and ground observations. Severe rainfall events occurred in the region on 22 August 2020 led to flooding and landslides in Giresun and its several districts.. Dereli district of Giresun was affected most from the floods. The severe rainfalls that affected Giresun lasted nearly 12 hours between 09:00-21:30 UTC and were in convective type mostly. Frontal system that extended in NW-SE direction over Black Sea continuously fed the convective system which enhanced further intense rainfalls. Maximum rainfalls recorded over 24-hour duration reached their peaks at Giresun Yağlıdere Sınırköy and Çanakçı districts. Giresun Yağlıdere Sınırköy recorded 137 mm of rainfall over the 24-hour period while 133 mm of it was received during 8 hours, corresponding 48-year recurrence period. The study concluded that not only severe rainfall but also topographic structure of the region, geographic position of the districts and geomorphological aspects of the basins also played major role in enhancement of the impacts of the floods.

Keywords: Eastern Black Sea, Giresun, floods, severe rainfall

1. Giriş

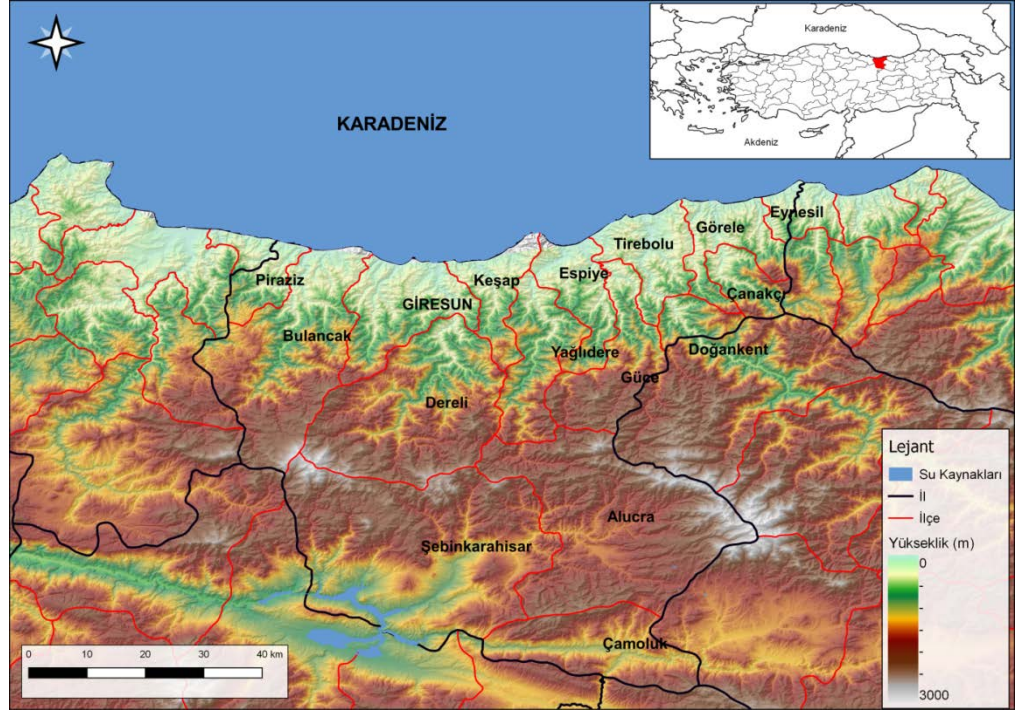
Doğal afetlerin büyük bir kısmı meteorolojik karakterli doğal afetlerdir. Sel ve taşkınlar en yaygın görülen meteorolojik karakterli doğal afetlerin başında gelmektedir (Ceylan ve Kömüştü, 2007). Sel ve taşkınlar, yerleşim ve tarım alanları başta olmak üzere şehir altyapılarına verdikleri zararlar ve can ve mal kayıplarına sebep olmaları nedeniyle insan yaşamını ve sosyo-ekonomik faaliyetlerini önemli ölçüde kesintiye uğratan doğal afetlerdir. Sel ve taşkın olayları kuvvetli ve uzun süreli yağışlara bağlı olarak meydana gelmekle birlikte, sele ve taşkına maruz kalan bölgenin jeolojik ve jeomorfolojik yapısı, topoğrafik yapı ve eğim koşulları ve toprak yapısı akışın hız ve büyüklüğüne etki eden önemli faktörlerdir. Diğer taraftan, sel ve taşkınların afete dönüşmesinde ise plansız ve yanlış arazi kullanımı, çarpık yapılaşma, hızlı şehirleşme, havza ve dere yatakları ile taşkın alanlarında yapılaşma en büyük etkenler arasında yer almaktadır (Kömüştü ve Çelik, 2012).

Türkiye'de son 20-30 yıl içerisinde sel olaylarında belirgin bir artış görülmektedir (Şekil 1). Özellikle 2000'li yıllardan itibaren sel olaylarında artış daha bariz hale gelmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020). 2019 yılı 1940 yılından bu zamana kadar sel afetinin en fazla görüldüğü yıl olmuştur. Ülkemizin Doğu Karadeniz Bölgesi, topoğrafik ve hidrometeorolojik özellikleri bakımından, sel olaylarının oluşumuna hassas bölge konumundadır. Bu bölgemizde havzaların morfolojik özellikleri ile bu havzaların iklimi ve yanlış arazi kullanımı birleştiğinde sel-taşkın duyarlılığı artmaktadır (Avcı ve Sunkar, 2015). Bölge ile ilgili yapılan çalışmalar yağış koşulları dışında havza jeomorfolojisinin, havza topoğrafyasının ve yerleşim yerlerini konumlarının da sel felaketlerinin yaşanmasında önemli rolü olduğu belirlenmiştir. Giresun Batlama deresi ve Aksu çayı havzalarının morfolojisi üzerine yapılan çalışmalarda, düzensiz yapılaşma ile bitki örtüsünün sel oluşumunda etkili olduğu ve son 20-30 yılda yapılan yeni yerleşimlerin dere yataklarına doğru olması nedeniyle yatakların daraltılması ile de taşkın frekansının arttığı tespit edilmiştir (Avcı ve Sunkar, 2018). Giresun Aksu çayı ve Batlama deresinde meydana gelen taşkınların sebebinin kuvvetli yağışlar ve derelerin havzalarının jeomorfolojik özellikleri olduğu aynı çalışmada ortaya konmuştur. Topoğrafik yapı nedeniyle akarsu yatak eğimlerinin yüksek olması, yağışların hızlı bir şekilde kıyıya ulaşmasına neden olmaktadır (Coşkun ve Aksoy, 2010; Yurt, 2013).



Şekil 1. Türkiye'de meydana gelen sel olaylarının uzun yıllar değişimleri (Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2019).

22 Ağustos 2020 tarihinde Giresun ve çevresinde oluşan sel felaketinde; yağışla birlikte oluşan akış alanlarının durumu, topoğrafik yapı, yerleşim alanlarının konumu vb. şartlarda etkili olmuştur (Şekil 2). Yağış çok şiddetli ya da ekstrem olarak olmamakla beraber, 12 saatlik bir zaman dilimine yayılmış, ancak derelerden çamur ve taş gelmesi selin olası etkisini daha da ağırlaştırmıştır. Yağışlar kümülatif olarak kademeli bir şekilde artmış ve dere yatağını ve etrafındaki toprak kısa sürede doygun hale gelmiştir. 22 Ağustos akşam saatlerinde 1 saatte havza geneline düşen 35-45 mm'lik yağış dere yatağında ve etrafında hızlı ve etkili akışa neden olmuş ve önündeki bütün yapılarla ve yerleşim birimlerine zarar vermiştir (Şekil 3). 19 binanın yıkıldığı, 361 yapının hasar gördüğü kentte, alt ve üst yapı ile elektrik, su ve telefon hatları da zarar görmüş ve ayrıca sel nedeniyle 118 köy yolu ulaşımına kapanmıştır. Derelerin etrafında bulunan fındık bahçeleri ve ekili tarım arazileri de selden zarar görmüştür. Aksu Deresi'nin bazı noktalarda taşması sonucu Giresun-Dereli-Sivas yolu ulaşımına kapanmıştır. Ayrıca, aşırı yağışların ardından Yağlıdere Deresi'nin taşması sonucu Yağlıdere ilçesine bir süre ulaşım sağlanamamıştır.



Şekil 2. 22 Ağustos 2020 tarihinde meydana gelen selin etkili olduğu Giresun ve çevresine ait yükseklik haritası.

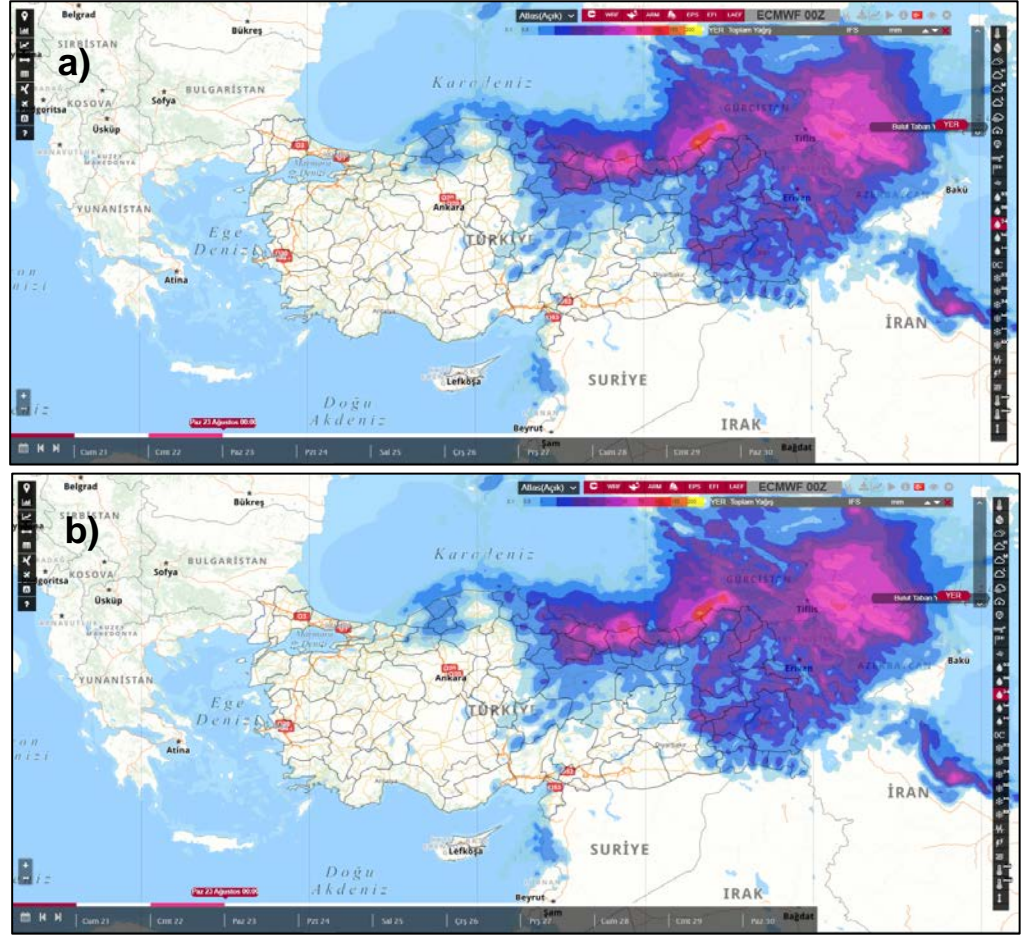


Şekil 3. Sel sonrası Giresun Dereli İlçe merkezinden bir görüntü (Kaynak: Anadolu Ajansı, 2020).

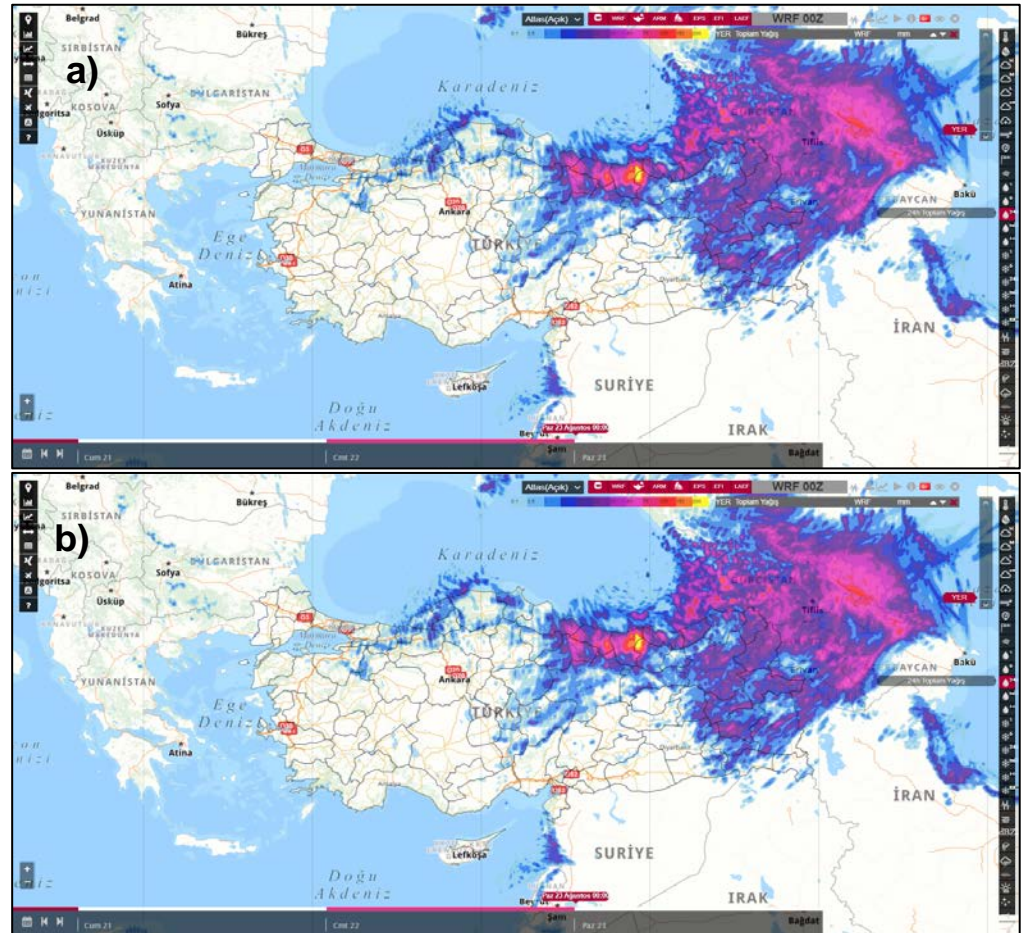
2. Meteorolojik Analiz

2.1 Sayısal Hava Tahmin Model Öngörülleri

21.08.2020 günü akşamı ve 22.08.2020 gündüz saatlerinde koşulan Sayısal Hava Tahmin (SHT) Ürünleri Doğu Karadeniz için yüksek yağış öngörmektedir. Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) Bütünleşik Tahmin Sistemi (IFS) Modeli hem 21 Ağustos ve 22 Ağustos tarihlerinde Doğu Karadeniz Bölgesi için 24 saatlik periyotta 50-75 mm arası ve bazı lokasyonlar için ise 100 mm civarında yağış tahmininde bulunmuşlardır (Şekil 4). Benzer şekilde Hava Tahmin ve Araştırma (WRF) modeli de 24 saatlik periyotta Giresun ve çevresi için yer yer 100 mm'yi aşan yağış tahmininde bulunmuştur (Şekil 5).



Şekil 4. ECMWF IFS 24 saatlik toplam yağış tahminleri: a) 21 Ağustos 2020 00:00 UTC, b) 22 Ağustos 2020 00:00 UTC.

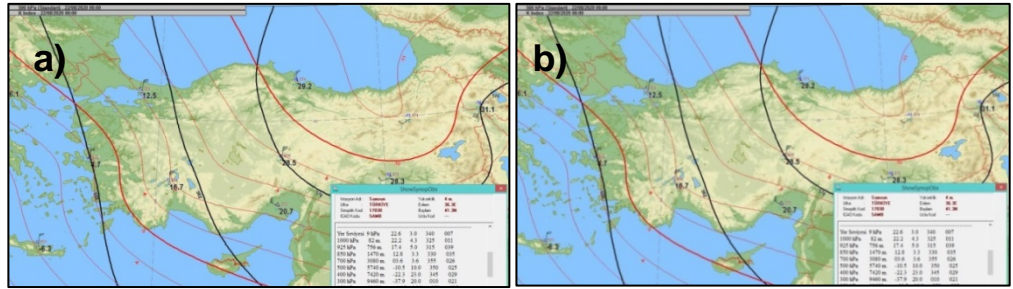


Şekil 5. WRF 24 saatlik toplam yağış tahminleri: a) 21 Ağustos 2020 00:00 UTC, b) 22 Ağustos 2020 00:00 UTC.

2.2 Sinoptik Analiz

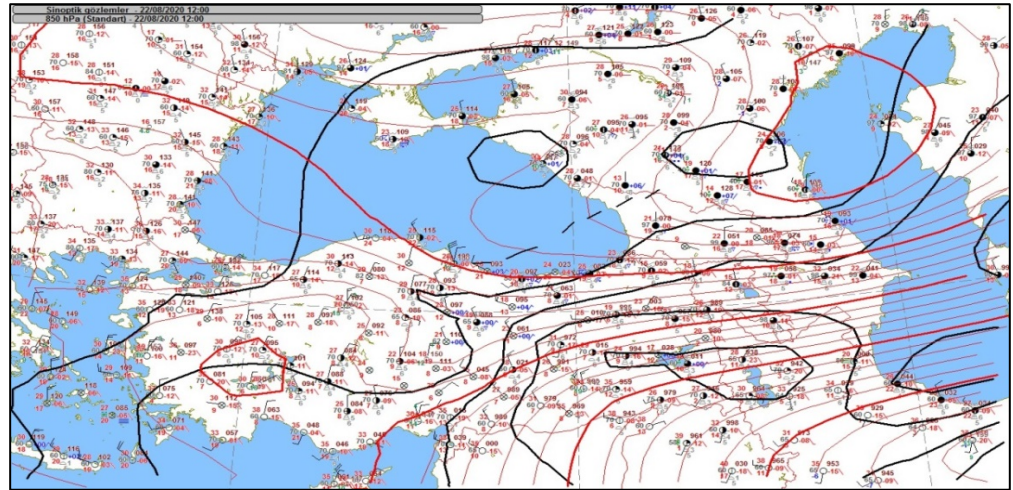
Bölgede etkili yağışlara genelde cephesel ve orografik karakterli yağışlar sebep olmakla birlikte, bölgenin iç kesimlerinde kuvvetli karasızlık sonucu oluşan konvektif yağışlarda zaman zaman kıyı kesimlerine ulaşarak etkili olabilmektedir (Turgut, 2004). Yaz aylarında kuzeydoğu Avrupa üzerinden Karadeniz'e inen siklonlar soğuk cephesi ile birlikte özellikle Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde etkili yağışlara neden olmaktadır. Geçmiş yıllarda görülen şiddetli yağış olaylarında Karadeniz üzerinden gelen siklonlarda her zaman soğuk cephelerinin aktif olduğu görülmüştür. Genelde yağış soğuk cephenin geçişiyle ve basınç yükselişiyle başlamaktadır (Turgut, 2004).

22 Ağustos 2020 tarihinde bölgenin kuzeybatısından başlayarak ülkemizi etkileyen oluk ve buna bağlı cephe sistemi, yüksek seviye alçak basınç alanı, 300 hPa haritasındaki jet akımlarının kuzeyli akışları, yer seviyesinden itibaren yüksek seviyelere kadar nemlilik ve özellikle 500 hPa haritasında görülen 12,5 °C'lik soğuk hava oluşu kuvvetli yağışın gerçekleşeceğini göstermektedir (Şekil 6). Doğu Karadeniz üzerinde 1008 hPa değerinde alçak basınç merkezi ve buna bağlı cephe sistemi, yukarı seviyelerde soğuk hava ve alçak basınç merkezi bulunmaktadır.

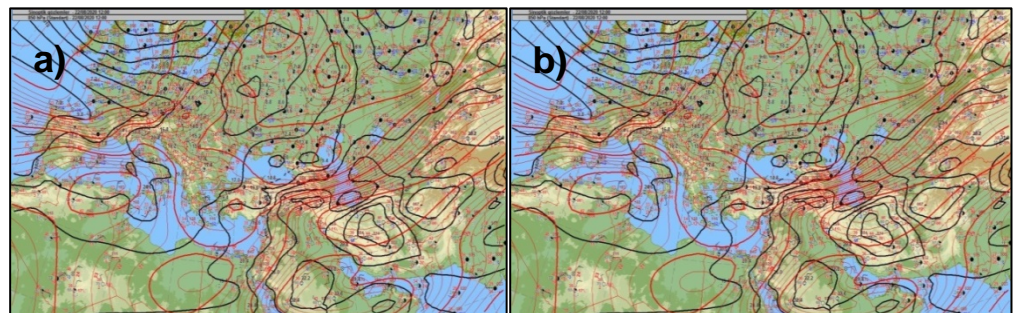


Şekil 6. 22 Ağustos 2020 500 hPa analiz ve K indeksi değerleri a) 00:00, b) 12:00 UTC.

Ayrıntılı yer haritası ve 850 hPa sıcaklık analizinde oluk ve alçak basınç merkezinin Doğu Karadeniz üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 7). Burada vurgulanması gereken durum rüzgâr akışlarının en uygun yağış sahasında görülmesi ve ayrıca sıcak hava sırtının ise konvektif beslemeyi arttırmasıdır. Deniz üzerinden karaya kuzeybatı güneydoğu yönünde uzanan cephe hattı, güney ucu yavaş hareket ederken deniz üzerinden sürekli destek almaya devam etmiştir (Şekil 8).

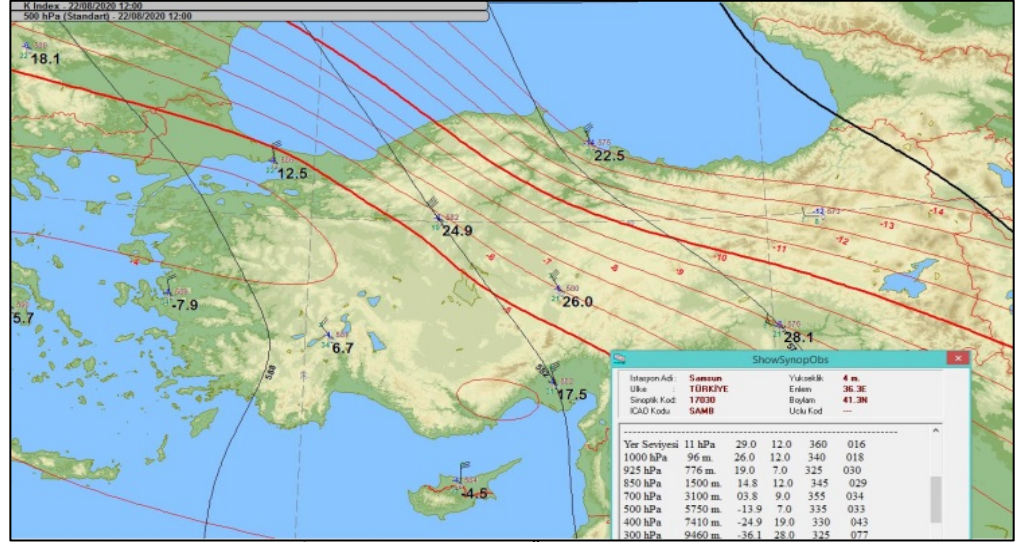


Şekil 7. 850 hPa sıcaklık analizi haritası.



Şekil 8. Birleştirilmiş yer basınç (a) ve 850hPa (b) izoterm haritası ve soğuk cephe geçişi 12:00 UTC.

Samsun İstasyonunda 22.08.2020 günü 12:00 UTC saatinde yapılan ravinsonde ölçümleri ve TEMP diyagramı analizine göre yer seviyesinde ısınma üst seviyelerdeki soğuma yağışın oluşumunu ve şiddetini arttırmıştır (Şekil 9). TEMP diyagram sinoptik ölçekli bir ravinsonde istasyonunun temsil ettiği alan üzerindeki atmosfer parçasının yüksekliği boyunca basınç, sıcaklık, nem ve rüzgâr bilgilerini gösteren bir diyagramdır. 17-24 Ağustos 2020 tarihleri için Samsun İstasyonu 00:00 UTC ravinsonde ölçümleri incelendiğinde yer seviyesinde ısınma ve üst seviyelerdeki soğumanın tüm hafta boyunca devam ettiği görülmektedir (Tablo 1). 21 ve 22 Ağustos tarihlerinde yer ve üst atmosfer arasındaki sıcaklık farkları en üst seviyeye ulaşmaktadır. Şiddetli yağışların görüldüğü 22 Ağustos tarihinde 12:00 UTC itibarı ile yer seviyesi ve 500 hPa seviyesi arasındaki fark 42,9 °C ile en yüksek değerine ulaşmaktadır. Konvektif faaliyet seviyelerinde genellikle yer ve 500 hPa seviyeleri (basınç, sıcaklık, nem, rüzgâr vb.) analizi çok önemlidir. Yer ve üst atmosfer sıcaklık farkı arttıkça olayın şiddeti artar ve özellikle uygun şartlarda sıcaklık farkı 40 °C üzerinde ise yağış riski artmaktadır.



Şekil 9. Samsun İstasyonu Ravinsonde Ölçümleri (22.08.2020 - 12:00 UTC).

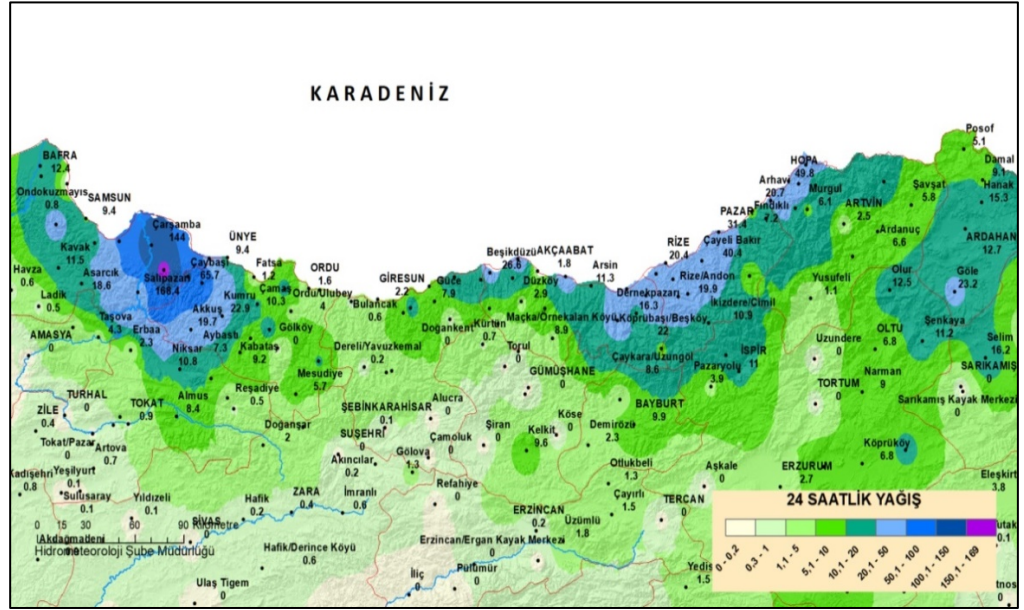
Tablo 1. Samsun Ravinsonde İstasyonu, 17-24 Ağustos 2020, yer seviyesi (1006-1012 hPa) ve üst seviye atmosfer (500 hPa) sıcaklıkları.

Tarih	1006-1012 hPa Sıcaklık °C 00:00 UTC	500 hPa Sıcaklık °C 00:00 UTC	1006-1012 hPa Sıcaklık °C 12:00 UTC	500 hPa Sıcaklık °C 12:00 UTC
17 Ağustos	21,8	-10,7	27,4	-8,7
18 Ağustos	20,0	-9,1	27,0	-8,9
19 Ağustos	20,0	-9,3	26,8	-7,7
20 Ağustos	20,6	-5,7	27,2	-9,7
21 Ağustos	22,2	-11,7	28,4	-11,7
22 Ağustos	22,6	-10,5	29,0	-13,9
23 Ağustos	22,0	-10,7	27,4	-9,9
24 Ağustos	20,4	-7,7	27,0	-6,1

Ayrıca, 17-24 Ağustos 2020 tarihleri arasında Samsun Ravinsonde İstasyonuna ait kararsızlık indeksleri, özellikle 21-22 Ağustos 2020 tarihlerinde atmosferdeki kararsızlık durumunu açıkça ifade etmekte ve olası konvektif yağışların oluşum potansiyelinin yüksek olduğu göstermektedir (Tablo 2). Total Totals (TT) indeksinin 21 Ağustos tarihinde 47,2 değerine ulaşması oraj oluşma olasılığının yüksek olduğunu gösterirken, aynı tarihte 31,5 olan K-İndeks değeri de atmosfer koşullarının oraj ile yoğun yağmur için uygun koşullar içerdiğini göstermektedir. 21-22 Ağustos tarihlerinde artan PW (yağışa geçebilir su) miktarı ve K-İndeks değerleri yeterli konvektif enerjiyle birlikte şiddetli yağışa sebep olabilecek kararsız bir atmosferin varlığını belirgin hale getirmektedir. Sweat indeksi rüzgârın destek olduğunu ve K indeksi, Konvektif Yeterlikli Potansiyel Enerji (CAPE) ve PW değerlerinin yüksek olduğu günlerde yağışların etkili olduğu görülmektedir. 21 Ağustos günü bölgenin batısında özellikle Samsun'un Çarşamba (144 mm) ve Salıpazarı (168,4 mm) ilçelerinde etkili yağışlar meydana gelmiştir (Şekil 10).

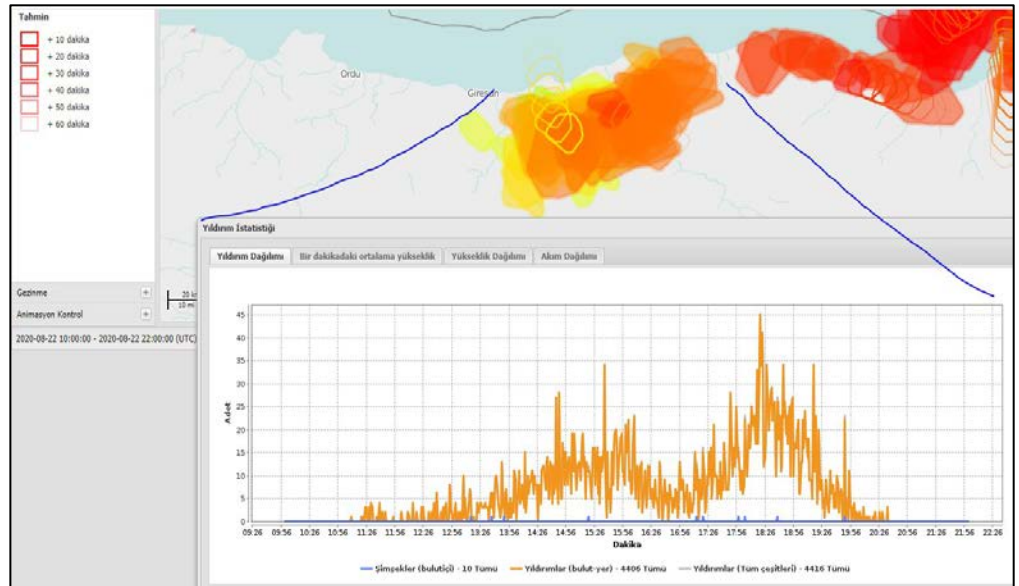
Tablo 2. Samsun Ravinsonde istasyonundan ele edilen 00:00 UTC kararsızlık indeksleri (University of Wyoming, 2020)

Tarih	Lifted Index	SWEAT Index	K-Index	Total Totals (TT) Index	CAPE	PW
17 Ağustos	3,36	133,38	-19,20	40,50	1,72	25,00
18 Ağustos	5,39	66,41	-3,50	35,60	0,00	21,91
19 Ağustos	4,41	66,79	-1,90	37,40	0,00	18,55
20 Ağustos	6,24	52,60	18,30	33,00	0,00	27,29
21 Ağustos	0,76	162,78	31,50	47,20	0,00	37,20
22 Ağustos	-0,32	209,01	29,20	43,30	221,24	36,75
23 Ağustos	0,93	115,79	25,80	40,20	61,31	31,24
24 Ağustos	5,67	91,59	-2,70	34,00	0,00	21,09



Şekil 10. 21-22 Ağustos tarihlerinde Orta ve Doğu Karadeniz’de gözlemlenen 24-saatlik yağışlar.

Yıldırım Tespit ve Takip sisteminde (YTS) ise oraj alanlarının yamaçlarda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 11).

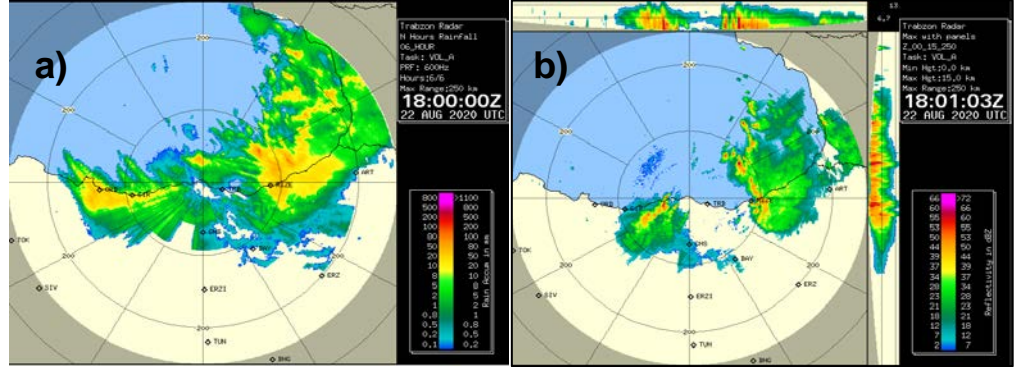


Şekil 11. Yıldırım Takip Sistemi’ndeki (YTS) oraj faaliyetleri.

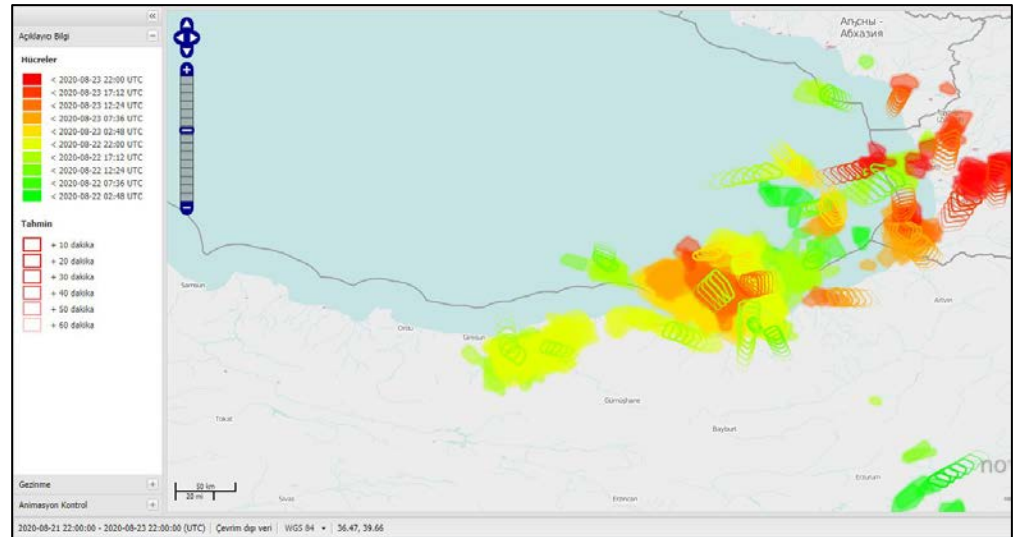
12 saatlik yağışın büyük bölümü 09:00-21:30 UTC arasında görülürken, en yoğun olduğu saatler ise 18:34 ile 19:34 UTC arasında olmuştur. Bu saatler arasında bölgedeki 2 merkezde 35-45 mm yağış kaydedilmiştir. Sele neden olan geniş alandaki bu etkili miktarın dere yataklarından yerleşim merkezlerine ulaşmasıyla oluşmuştur.

2.3 Uydu ve Radar Analizi

22 Ağustos 2020 günü 09:00 UTC ile 21:30 UTC arasında yaklaşık 12 saat süren yağışlar, etkili ve aralıklı konvektif geçişler sonucunda gerçekleşmiştir. Trabzon radarı görüntülerinde 22 Ağustos 2020 18:00 UTC itibarı ile kümülatif yağışın bazı lokasyonlarda 80-100 mm'ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 12). Ayrıca radar yansıma görüntüsünde ise yağışın 40-45 arası gerçekleşen (dBZ) değerleri ile orta ve kuvvetli şiddet aralığında olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık 12 saat boyunca konvektif faaliyet bölge üzerinde şiddetli yağışların oluşumuna zemin hazırlamıştır ve bölge üzerinde sistematik yağış konvektif faaliyetle birlikte etkin olmuştur (Şekil 13).

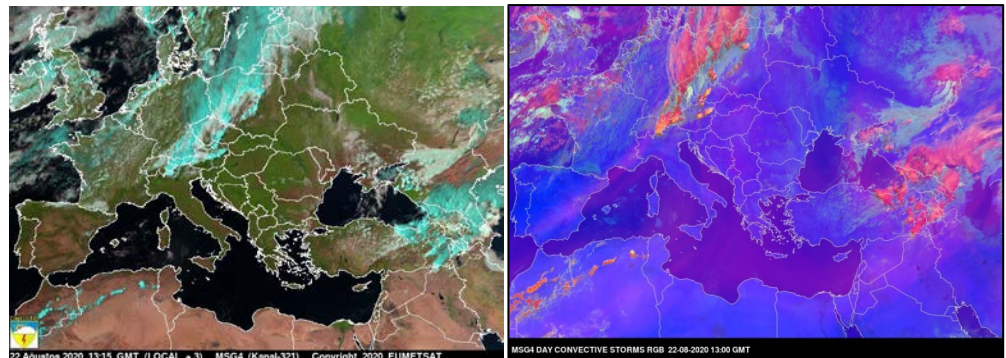


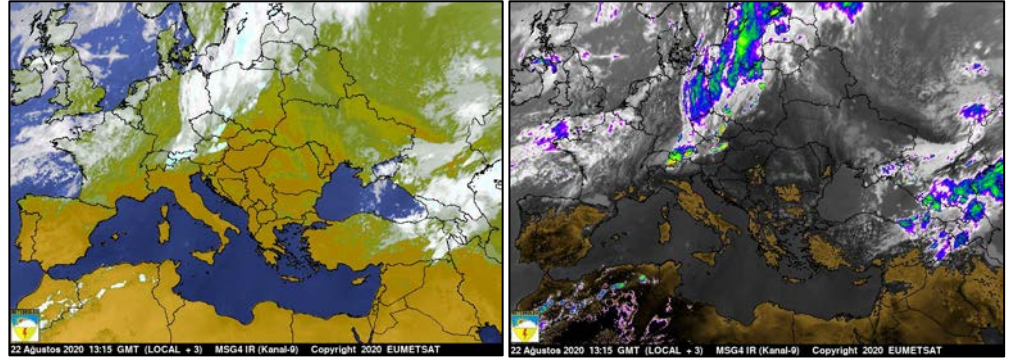
Şekil 12. 22.08.2020 18:00 UTC radar görüntüleri: a) yansıma, b) toplam yağış.



Şekil 13. 22 Ağustos 2020 tarihinde Doğu Karadeniz'de gözlemlenen konvektif faaliyetler.

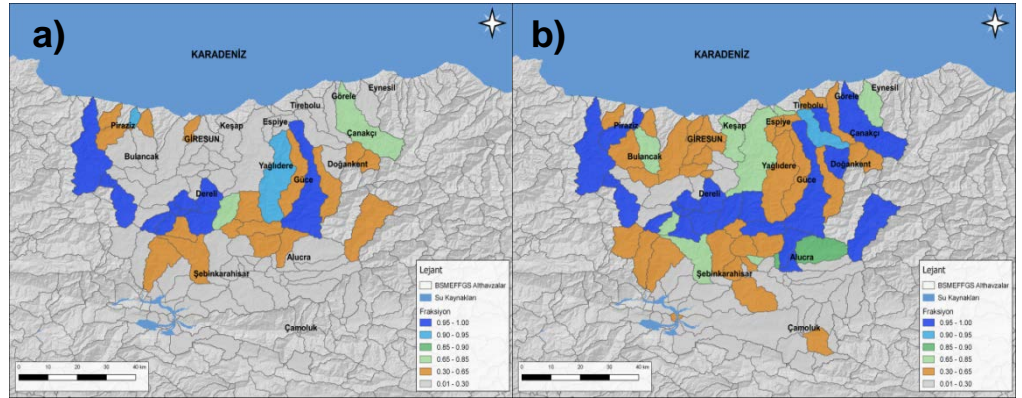
Bölgedeki bulutlanma ve konvektif faaliyet uydu görüntülerinde de açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 14). Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) MSG-4 (Meteosat Second Generation-Meteosat İkinci Jenerasyon) uydusunda yer alan konvektif fırtınalar RGB kanalı, MSG kızılötesi kanalı ve görünür kanal (321) görüntülerinde Doğu Karadeniz Bölgesi üzerinde geniş bir alandaki 13:00 UTC itibarı ile konvektif hareketin varlığı kendini göstermektedir.





Şekil 14. Doğu Karadeniz üzerindeki konvektif faaliyetlerin uydu görüntüleri (22.08.2020 13:00:00 ve 13:15:00 UTC).

Karadeniz ve Ortadoğu Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (BSMEFFGS) ürünleri bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Sisteme göre Samsun ilinin doğusu, Ordu ve Rize çevrelerini kapsayan geniş bir alanın 22 Ağustos 2020 tarihinde yağış alması beklenmektedir. 21 Ağustos 2020 gece saatlerinde Samsun'un doğusunda 150 mm üzeri yağışlar görülürken, sonrasında Giresun çevrelerinde şiddetli yağışlar gerçekleşmiştir. Sistem içerisinde, gerçekleşen yağış ve sıcaklık değerlerinin SAC-SMA modelinde girdi olarak kullanılmasıyla, altışar saatlik aralıklarla havza temelli toprak nemi ürünü (ASM) elde edilir. 12:00 ve 18:00 UTC toprak nemi ürünleri gerçekleşen yağışlar sebebiyle toprağın bazı bölgelerde yüksek oranda neme doymun olduğunu göstermektedir (Şekil 15). Toprağın neme doymun olması yağışların kısa sürede birçok lokasyonda sel oluşumuna sebep olmasına zemin hazırlamıştır.



Şekil 15. Giresun için alt-havzalarda toprak nemi durumu:a) 22.08.2020 12:00 b) 18:00 UTC

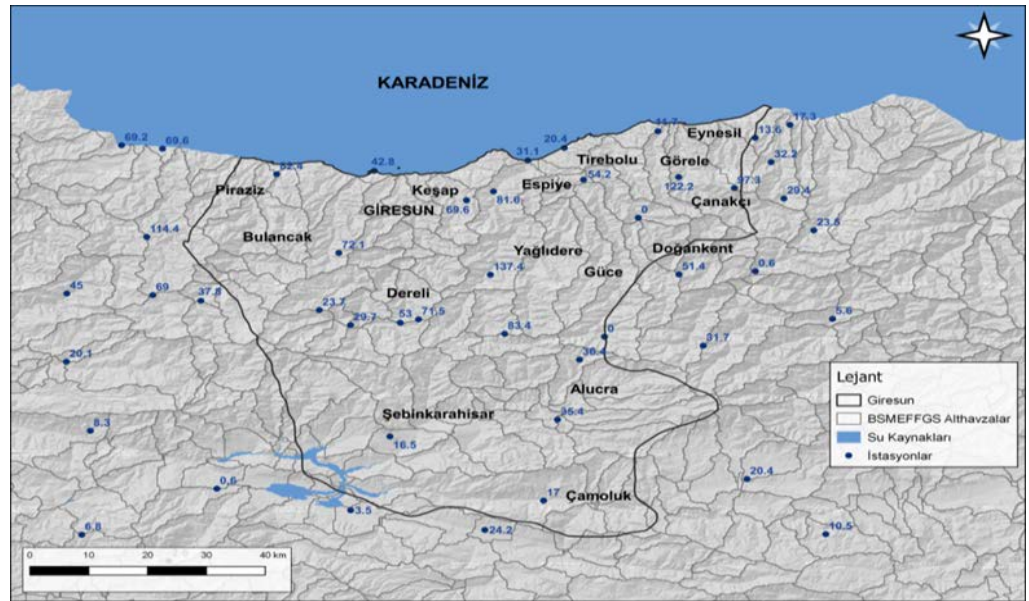
3. Yağış Analizi

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde kıyılardan iç kesimlere doğru gidildikçe yağış miktarı azalmakta olup, yağışların alansal dağılımında hâkim rüzgâr yönü ile yamaçların konumu ve yükseltisi en önemli etkenlerdir. Doğu Karadeniz kıyı kuşağı Türkiye'nin en fazla yağış alan ve aynı zamanda kısa sürelerde (5-30 dakika) en şiddetli yağışların görüldüğü bölgesidir. Ülkemizde standart sürelerde görülen en yüksek yağış miktarları 5-30 dakika aralıkları için Artvin'in Hopa ilçesinde gerçekleşmiştir. Bu bölgede, Giresun 1288 mm yağış ile Rize'den (2043 mm) sonra en fazla yıllık yağış ortalamasına sahip olan ildir. Giresun'un Ağustos ayı yağış ortalaması 86 mm olup, 22 Ağustos tarihinde 51 mm yağış almıştır. Bu itibarla uzun yıllar aylık ortalama yağışın yarısından fazlası sadece 1 günde kaydedilmiştir.

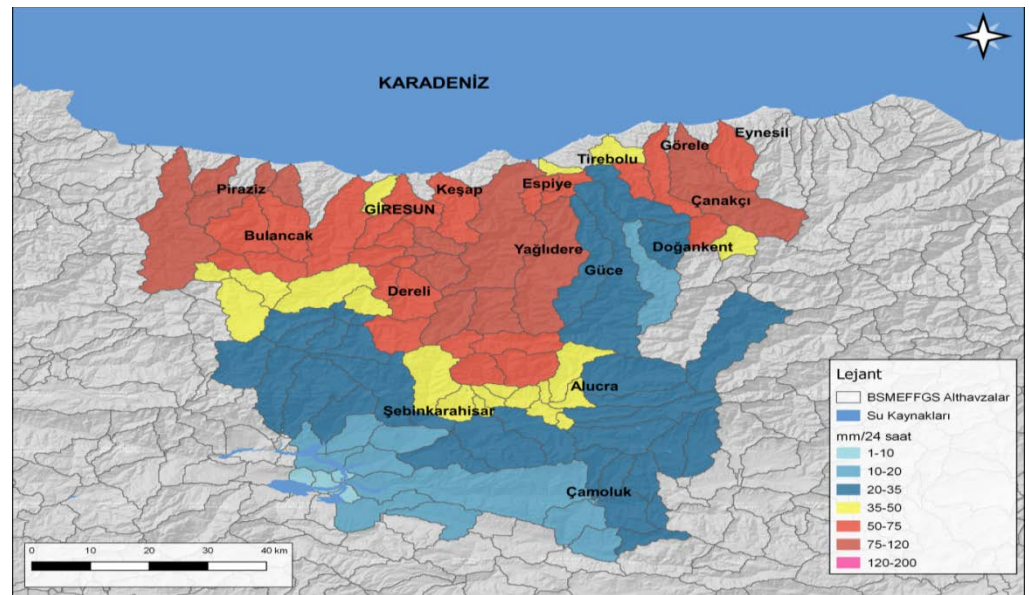
Yaşanan sel felaketi ile ilgili olarak 23 Ağustos 2020 06:00 UTC itibarıyla bölgede gerçekleşen 24 saatlik toplam yağışlar Tablo 3'te verilmiştir. 24-saatlik toplam yağışlar Giresun Yağlıdere Sınırköy, Giresun Çanakçı ve Rize Güneysu mevkielelerinde en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Yüksek yağış alan lokasyonların büyük çoğunluğunun Giresun ilinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 16 ve 17). 6-saatlik yağış toplamalarının miktarına ve alansal dağılımı dikkate alındığında yağışların Giresun ilinin özellikle orta ve batı bölümlerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 18 ve 19). Giresun Yağlıdere Sınırköy 24-saat toplam yağış değeri 137,4 mm ile bölgede en fazla yağış alan yer olurken, kaydedilen 137,4 mm'lik yağışın %93'ü (128,4 mm) 12:00-18:00 UTC saatleri arasında gerçekleşmiştir.

Tablo 3. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde 22 Ağustos 2020 tarihinde kaydedilen 24-saatlik en yüksek toplam yağışlar.

LOKASYON	22-23 AĞUSTOS 2020, 24-Saatlik Toplam Yağış (mm)
YAĞLIDERE/SINIRKÖY KÖYÜ	137,4
ÇANAKÇI	122,2
KABADÜZ/YOKUŞDİBİ BELDESİ	114,1
GÖRELE/SİS DAĞI	97,6
ALUCRA/ÇAKRAK KÖYÜ	83,8
BULANCAK	82,6
YAĞLIDERE	81,6
GİRESUN/İNİŞDİBİ BELDESİ	72,4
DERELİ/KÜMBET KAYAK MERKEZİ	72,0
KEŞAP/YİVDİNCİK KÖYÜ	70,0
ORDU ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ	69,7



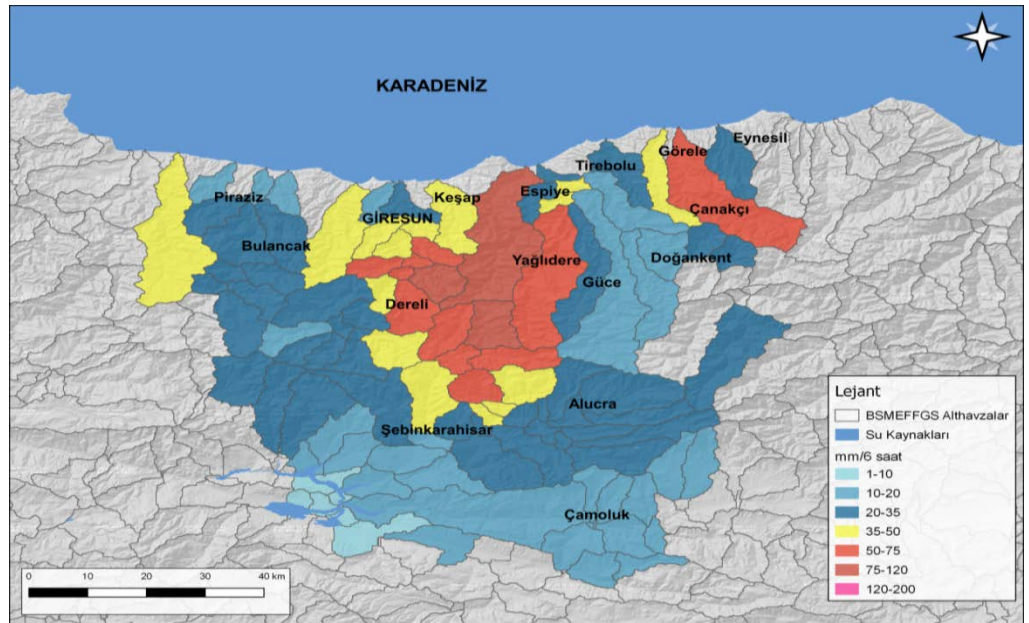
Şekil 16. Giresun ve çevresinde gözlenen 24-saatlik toplam yağışlar (22.08.2020, 00:00-24:00 UTC).



Şekil 17. Giresun ve çevresinde gözlenen 24-saatlik toplam yağışların BSMEFFGS alt-havzalarında alansal dağılımı (22.08.2020, 00:00-24:00 UTC).



Şekil 18. Giresun ve çevresinde gözlenen 6-saatlik toplam yağışlar (22.08.2020, 12:00-18:00 UTC).



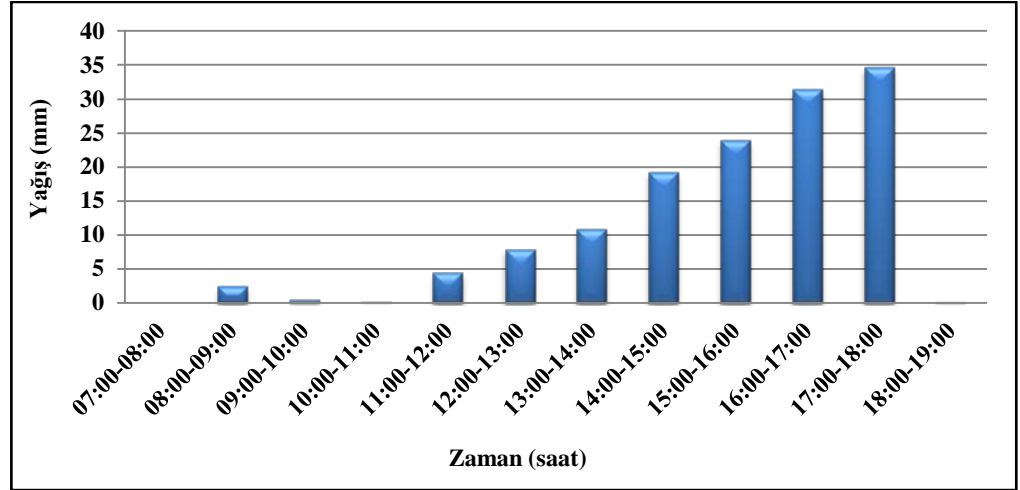
Şekil 19. Giresun ve çevresinde gözlenen 6-saatlik toplam yağışların BSMEFFGS alt-havzalarında alansal dağılımı (22.08.2020, 12:00-18:00 UTC).

Bölgede en fazla yağış alan 2 istasyonun tekerrür analizlerine bakıldığında ise; en yüksek yağışın ölçüldüğü Giresun Yağlıdere Sınırköy'de 22 Ağustos 2020 14:10 ile 22:09 arasındaki 8 saat içinde kaydedilen 133,1 mm yağışın tekerrür periyodu 48 yıldır (Tablo 4).

Tablo 4. Giresun Yağlıdere Sınırköy İstasyonu yağış tekerrür analizi.

Başlama Tarihi	Başlama Saati	Bitiş Tarihi	Bitiş Saati	Süre (Dak)	Miktar (mm)	Şiddet (mm/sa)	Tekerrür (Yıl)
22.08.2020	20:44	22.08.2020	20:48	5	10,2	122,76	4
22.08.2020	20:43	22.08.2020	20:52	10	16,8	100,92	5
22.08.2020	20:43	22.08.2020	20:57	15	22,4	89,60	5
22.08.2020	20:43	22.08.2020	21:12	30	32,8	65,68	4
22.08.2020	20:39	22.08.2020	21:38	60	51,6	51,63	6
22.08.2020	19:58	22.08.2020	21:57	120	66,4	33,21	7
22.08.2020	18:54	22.08.2020	21:53	180	92,6	30,86	16
22.08.2020	18:00	22.08.2020	21:59	240	109,5	27,37	22
22.08.2020	17:01	22.08.2020	22:00	300	120,5	24,10	33
22.08.2020	16:02	22.08.2020	22:01	360	128,4	21,40	43
22.08.2020	14:10	22.08.2020	22:09	480	133,1	16,64	48
22.08.2020	10:10	22.08.2020	22:09	720	136,1	11,34	46
22.08.2020	09:00	23.08.2020	02:59	1080	136,1	7,56	27
22.08.2020	09:00	23.08.2020	08:59	1440	136,1	5,67	24

Giresun ili Yağlıdere ilçesi OMGİ (Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu) kayıtlarına göre yağışın şiddeti saat 17:00-18:00 UTC'de 34,7 mm/saat ile maksimum değerine ulaşmıştır (Şekil 20).



Şekil 20. Yağlıdere OMGİ ölçümlerine göre 22 Ağustos 2020 günü kaydedilen saatlik yağış şiddetleri.

Diğer taraftan bölgede en fazla yağış alan ikinci istasyon olan Çanakçı istasyonunda, 20:37 ile 20:41 saatleri arasındaki 5-dakika sürede kaydedilen 19,4 mm yağışın tekerrür periyodu 200 yıldır (Tablo 5).

Tablo 5. Giresun Çanakçı İstasyonu yağış tekerrür analizi.

Başlama Tarihi	Başlama Saati	Bitiş Tarihi	Bitiş Saati	Süre (Dak)	Miktar (mm)	Şiddet (mm/sa)	Tekerrür (Yıl)
22.08.2020	20:37	22.08.2020	20:41	5	19,4	232,80	200 YIL
22.08.2020	20:37	22.08.2020	20:46	10	24,8	148,80	24
22.08.2020	20:37	22.08.2020	20:51	15	29,8	119,20	20
22.08.2020	20:34	22.08.2020	21:03	30	37,2	74,40	6
22.08.2020	20:19	22.08.2020	21:18	60	50,2	50,20	6
22.08.2020	20:15	22.08.2020	22:14	120	70,4	35,20	8
22.08.2020	19:15	22.08.2020	22:14	180	89,4	29,80	14
22.08.2020	18:20	22.08.2020	22:19	240	93,8	23,45	13
22.08.2020	17:45	22.08.2020	22:44	300	96,6	19,32	14
22.08.2020	16:13	22.08.2020	22:12	360	107,8	17,97	21
22.08.2020	14:20	22.08.2020	22:19	480	111,2	13,90	21
22.08.2020	11:19	22.08.2020	23:18	720	120,4	10,03	24
22.08.2020	09:00	23.08.2020	02:59	1080	120,6	6,70	17
22.08.2020	09:00	23.08.2020	08:59	1440	120,6	5,03	14

Sel olayının yaşandığı bölgedeki bazı istasyonların uzun yıllarda görülen 24-saatlik yağış değerleri incelendiğinde, Giresun Çanakçı istasyonunda 120,6 mm ile şu ana kadar görülen maksimum yağışın kaydedildiği görülmektedir (Tablo 6). Diğer istasyonlarda görülen 24-saatlik yağışlar uzun yıllarda görülen 24-saatlik maksimum yağışların altında kalmaktadır.

Tablo 6. Bazı istasyonlarda uzun yıllar içinde görülen 24-saatlik maksimum yağışlar.

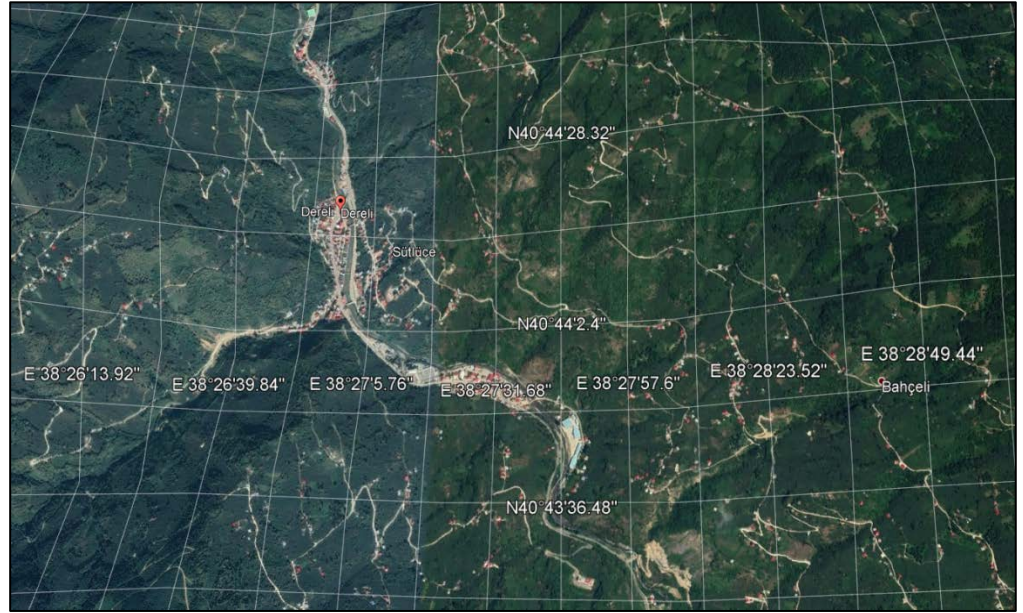
Sıra	İl	İlçe	İstasyon adı	Maksimum yağış (mm)	22-23.08.2020 24-saat yağış (mm)
1	Giresun	Yağlıdere	Yağlıdere	138,0	81,3
2	Giresun	Alucra	Alucra	95,1	83,6
3	Giresun	Görece	Görece/Kuşçulu Köyü	186,4	98,3
4	Giresun	Çanakçı	Çanakçı	104,5	120,6
5	Giresun	Dereli	Dereli/Yavuz Kemal	146,2	53,3
6	Giresun	Tirebolu	Tirebolu	154,0	108,0
7	Ordu	Kabadüz	Kabadüz K.M.	164,5	108,8
8	Rize	Merkez	Rize/Andon	193,0	98,9
9	Rize	İkizdere	İkizdere/Cimil	170,6	58,0
10	Rize	Güneysu	Güneysu/Handüzü Y.	185,4	114,6

4. Sel Oluşumuna Zemin Hazırlayan Diğer Faktörler

Yapılan meteorolojik ve hidrometeorolojik analizler, sel felaketinin boyutlarının sadece yağış koşulları ile açıklanamayacağını göstermektedir. Yapılan değerlendirmeler, yağış koşulları dışında, bölgenin topoğrafik yapısı, yerleşim alanlarının konumu ve dere havzalarının jeomorfolojik yapısının da sel felaketin boyutunun artmasında etkili olduğunu göstermektedir.

Meydana gelen yağışların akabinde Dereli çesi girişinde bulunan bir adet köprü ve bir adet menfezin Aksu Çayı'nın üst havzasından taşınan malzemeler ile tıkanması sonucunda baraj etkisi göstermiştir. Bu etkiyle birlikte taşınan malzeme yerleşim alanlarının zarar görmesine ve yüksek miktarda zarar sebep olmuştur. Havza genelinin kısa sürede yüksek yağış alması sebebiyle biriken su yüksek debiye ulaşarak yıkıcı güce ulaşmıştır. Diğer taraftan topoğrafik yapıya bağlı olarak akarsu yatak eğimlerinin yüksek olması, yağışlarını hızlı bir şekilde akışa dönüşmesine ve yüksek debilere ulaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, şiddetli yağışlar sonucu yan derelerden gelen sellerin kısa sürede ana dere yatağına ulaşmasıyla vadi boyunca yatakta akan suyun yüksek debilere ulaşması kolaylaşmıştır. Sel felaketi öncesinde toprağın suya doymuş olması da yüzeysel akışı hızlandıran diğer önemli bir faktör olmuştur.

Dereli ilçesinin bulunduğu alan Aksu Çayı havzasının 3000 metreyi bulan dağlık sahadan beslenmektedir. Havzanın toprak yapısı mevsimsel ve günlük donma çözülme ile kütle hareketlerinin olduğu ve bu nedenle su geçirgenliği az ve materyal taşınım fazla olma özelliğindedir (Turoğlu, 2009). Dereli ilçe merkezi ise Aksu Çayı'nın taşkın yatağı üzerinde vadiye kurulmuş bir yerleşim yeridir (Şekil 21). Dereli ilçesinin bir dere yatağına kurulu olması ve sonuç olarak aktif su yatakları daraltılmış olması da ilçe merkezinin ve etrafındaki yerleşim yerlerinin gelen malzemeler ve sel suları ile hızlı bir şekilde işgal edilmesine ve felaketin boyutlarının artmasına zemin hazırlamıştır.



Şekil 21. Dereli ilçesi yerleşim yeri.

5. Sonuç ve Değerlendirme

22 Ağustos 2020 tarihinde Giresun'da meydana gelen sel felaketini sonuçları itibarıyla sadece meteorolojik faktörlere bağlı olarak ifade etmek mümkün değildir. Giresun ve çevresinde etkili olan şiddetli yağışlar sel ve heyelan oluşumlarına zemin hazırlamakla beraber, yağışla birlikte oluşan akış alanlarının durumu, topoğrafik yapı ve yerleşim alanlarının konumu sel felaketinin boyutlarının artmasında etkili olmuştur. Bazı lokasyonlarda 24-saatlik toplam yağış 100 mm'yi geçmekle beraber çok şiddetli ya da ekstrem olarak görülmemektedir. Yağış 12 saatlik bir zaman dilimine yayılmış, ancak görüntülerde derelerden çamur ve taş gelmesi selin olası etkisini daha da ağırlaştırmıştır. Akarsu havzalarında insan faaliyetlerinin artması ile arazi kullanımında değişimler havza bütünündeki hidrolojik dengenin bozulmasına ve dolayısı ile sel olaylarının afet boyutuna ulaşmasına önemli ölçüde zemin hazırlamaktadır. Özellikle dere yataklarına yerleşim yeri kurulması ile şiddetli yağış sonucunda derenin debisinin artmasıyla daralan yatağından taşması ve yerleşimi sular altında bırakması kaçınılmaz hale gelmektedir.

ECMWF IFS Modeli 21 Ağustos ve 22 Ağustos tarihli tahminlerinde Doğu Karadeniz Bölgesi için 24 saatlik periyotta 50-75 mm arası ve bazı lokasyonlar için ise 100 mm civarında yağış öngörüsünde

bulunmuştur. Ani Taşkın Erken Uyarı Sistemi (BSMEFFGS) 22.08.2020 günü 18:00 UTC saati ile Giresun ve ilçeleri için yaptığı 6 saatlik yağış tahmini ile uyarı yaparak, mevcut taşkın riskini ve olası taşkın riskini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, Giresun seli örneğinde olduğu gibi Doğu Karadeniz'de meydana gelen sel olayları sadece yağışa bağlı olmayıp, bölgenin topoğrafik yapısı, yerleşim alanlarının konumu ve havzanın diğer jeomorfolojik özellikleri de şiddetli yağışların sel felaketine dönüşmesinde önemli ölçüde etkili olmaktadır.

6. Kaynaklar

- Anadolu Ajansı (2020). 3 Eylül 2020 tarihinde <https://www.aa.com.tr/tr/pg/foto-galeri> adresinden erişildi.
- Avcı, V. ve Sunkar, M. (2015). Giresun'da sel ve taşkın oluşumuna neden olan aksu çayı ve batlama deresi havzalarının morfometrik analizleri. *Coğrafya Dergisi*, (30), 91-119.
- Avcı, V. ve Sunkar, M. (2018). Bulancak'ta (Giresun) sel ve taşkın olaylarına neden olan Pazarsuyu, İncüvez, Kara ve Bulancak derelerinin morfometrik analizleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 28(2), 15-41.
- Ceylan, A. ve Kömüştü, A. Ü. (2007). Meteorolojik karakterli doğal afetlerin uzun yıllar ve mevsimsel dağılımları. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 1-10.
- Coşkun, M. ve Aksoy, B. (2010). Aksu vadisi (Giresun) aşağı kesiminde doğal ortam şartlarının taşkın üzerine etkileri. *Gazi Türkiyat Türkoloji Araştırmaları Dergisi*, (7), 135-154.
- Kömüştü, A.Ü. ve Çelik, S. (2012). Analysis of the Marmara flood in Turkey, 7-10 September 2009: an assessment from hydrometeorological perspective. *Natural Hazards* 66, 781–808 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0521>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2020). 2019 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi, Ankara
- Turgut, Ü. (2004). TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sayfa 33-44.
- Turoğlu, H. (2009) Aksu Deresi Havzası (Giresun) Periglasiyal Sahasında Kütle Hareketleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı 52, Sayfa 41-54. Elektronik ISSN 1308-9773.
- University of Wyoming (2020). 15 Ocak 2021 tarihinde <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> adresinden erişildi.
- Yurt, R. (2013). İklim değişikliği ve plansız kentleşmenin Giresun şehrinde yol açtığı sel felaketleri. *TMMOB Taşkın ve Heyelan Sempozyumu*, 24-26.

Yazışma yazarı:
Veysi KARTAL,
vkartal@firat.edu.tr

Veysi Kartal¹, M. Emin Emiroğlu²

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye. ORCID: 0000-0003-4671-1281
²Fırat Üniversitesi, Mühendislik, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye. ORCID: 0000-0002-3603-0274

Referans:

Kartal, V., Emiroğlu, M. E., (2021), Su jetlerinde oyulma karakteristiklerinin deneysel incelenmesi, Su Kaynakları, 6, (1) 15-29

Makale Gönderimi : 6 ŞUBAT 2021
Online Kabul : 16 MART 2021
Online Basım : 30 MART 2021

Özet Oyulma, hidrolik yapıların emniyeti açısından büyük önem taşımaktadır. Su jetlerinden dolayı mansapta oluşan oyulma, hidrolik yapının ağır hasar görmesine sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, dairesel ağızlıktan çıkan su jetlerinin eğimli bir şekilde mansap havuzuna çarpması sonucu oluşan oyulmanın karakteristiklerini belirlemek amacıyla bir dizi deneyler yürütülmüştür. Deneyler; üç adet jet çarpma açısı, üç adet ağızlık çapı, üç adet ağızlık çıkış hızı ve iki farklı çarpma mesafesi için yürütülmüştür. Dairesel su jeti nedeniyle çarpma havuzunda oluşan denge zamanındaki oyulma detaylı bir şekilde incelenmiştir. Su jeti nedeniyle oluşan oyulma karakteristikleri; çarpma açısı, boyutsuz çarpma mesafesi, denismetrik Froude sayısı, ağızlık çapı ve jetin ağızlıktan çıkış hızı dikkate alınarak incelenmiştir. Aynı koşullar altında çarpma açısı küçüldükçe oyulma çukuru karakteristiklerinin (maksimum oyulma derinliği tepe yüksekliği, oyulma çukuru uzunluğu, oyulma çukuru genişliği, vb.) arttığı özellikle büyük çıkış hızlarına sahip jetlerde bu durum daha da belirginleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su jeti, oyulma, çarpma havuzu, nozul, hidrolik yapı emniyeti

Experimental investigation of scour characteristics in water jets

Abstract Scouring is of great importance for the safety of hydraulic structures. Local scour by water jets cause considerable damage around the hydraulic structures. In this study, a series of experiments were carried out in order to determine the characteristics of scour caused by the water jets from the circular nozzles obliquely impinged to the downstream pool. Experiments were conducted for three jet impingement angles, three nozzle diameters, three exit velocities of the nozzle and two different impingement distances. The scour in equilibrium time in the downstream pool caused by the circular water jet was studied in detail. Scour characteristics caused by water jet was investigated according to impingement angle, dimensionless impingement distance, the denismetrik Froude number, the nozzle diameter and the exit velocity of the jet from the nozzle. The study shows that as the impingement angle decreases, scour hole characteristics (maximum scour depth ridge height, scour hole length, scour hole width, etc.) increase, especially in jets with large exit velocities under the same conditions.

Keywords: Water jets, scour, downstream pool, nozzle, hydraulic structure safety

1. Giriş

Su jetleri inşaat, çevre ve diğer mühendislik dallarında kullanılan önemli bir hidrolik yapıdır. Su jeti, bir orifis veya boru ucundan atmosfere açılan akışkan akımı veya su demetidir. Su jeti hava ile çevrelendiği gibi başka bir sıvı akışkanı ile de çevrelenebilir. Eğer su jeti, su gibi başka bir akışkan ile çevrelenmişse bu tip su jeti, batık (*submerged*), değilse batmamış (*unsubmerged*) jet olarak tanımlanır. Ayrıca su jetleri, eğimli yatay veya düşey doğrultuda olabilmektedir. Akım jetlerinin tipine göre ayrıca laminer veya türbülanslı jetler olarak sınıflandırılır. Su jetleri özellikle havalandırma, oksijen transferi ve yüzdürme (flotasyon) işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Su jetleri; havanın sürüklenmesi, sürüklenen havanın su içinde hava kabarcıkları şeklinde dağılımı ve etkili bir şekilde su-hava etkileşiminin oluşmasında etkin bir şekilde rol oynamaktadır. Baraj dipsavaklarında su, jet şeklinde mansaba aktarılmaktadır. Kemer barajlarda dolusavaklara yardımcı olarak, ölü hacmin üst kotlarına yerleştirilen su jetleri ile rezervuarlardaki taşkın suları emniyetli bir şekilde mansaba aktarılmaktadır. Ayrıca barajlardaki kapakların altından çıkan jet akımları, menfezlerden çıkan jetler ve düşülerden şelale şeklinde düşen serbest su jetleri akarsu yatağında istenmeyen oyulmalara sebep olmaktadır.

Teknolojik gelişmeler ve artan ihtiyaçlar sonucunda son yıllarda dünyada ve ülkemizde yüksek düşümlü barajlar inşa edilmektedir. Yüksek düşümlü barajların projelendirilmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi de dolusavak veya kapaklar yardımıyla su jeti şeklinde mansaba verilen suyun enerjisinin etkili bir şekilde sönmülememesi sonucu mansapta oluşacak oyulma ve oluşan oyulmanın getireceği problemlerdir. Bu nedenle su jetleri uzun yıllardır araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmuştur. Jetin kum, çakıl veya zayıf kayadan oluşan bir sediment yatağı ile etkileşimi oyulma ile sonuçlanır. Oyulma probleminin teorik olarak incelemek zor ve karmaşıktır. Hızla değişen bir oyulma çukurunun geometrisinin etrafındaki jet difüzyonunun ayrıntılı bir şekilde incelenmesi teorik olarak oldukça güçtür. Aynı şekilde jet nedeniyle oluşan oyulmanın farklı zamanlarındaki malzemelerin hareketini ve davranışını, sürüklenen havanın etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelemek gerekir. Ayrıca, deşarj edilen akımın frekans, zaman, büyüklükleri ve türbülansındaki olası önemli farklılıkların oyulmanın büyümesi üzerindeki etkileri de kapsamlı bir şekilde anlaşılmalıdır. Bu nedenlerden dolayı araştırmacıların bu konuya genel yaklaşımı çoğunlukla deneysel olarak incelemek olmuştur. Su jeti nedeniyle oluşan oyulma, yapının bir kısmının veya tamamının stabilitesini tehlikeye sokacak kadar büyük olabilmektedir. Oyulmanın yapıda hasar veya göçme gibi zararlara yol açarak yapının ömrünü azaltmasıyla problemin ekonomik boyutu da söz konusudur. Bu nedenle hidrolik mühendisleri; mevcut hidrolik, hidrolojik ve jeolojik verilere dayanarak etkili ve ekonomik bir tasarım yaparak, suyun enerjisini dengeli dağıtma ve jetin mansap bölgesinde büyük oyulma oluşturmayacak şekilde bir tasarım yapmaya çalışmaktadırlar.

Bu çalışmada, hidrolik yapılar üzerinden serbest düşen jetler, konu kapsamı dışında bırakılmıştır. Sadece basınçlı akım durumunda su jetleri dikkate alınmıştır. Su jetleri nedeniyle oluşan oyulma problemi inceleyen ilk öncü araştırmacı Rouse (1939)'tur. Rajaratnam vd. (1995) 10, 30, 45 ve 60° çarpma açılarında türbülanslı su jetlerini eğimli bir şekilde ve batık durum koşulları için kum yataklarına çarptırarak oluşan oyulmayı deneysel bir şekilde incelemişlerdir. Asimptotik durumda; oyulma çukuru profillerinin yaklaşık olarak benzer olduğunu ve erozyona uğramış yatak profilinin erozyonun maksimum derinliği (ϵ_m), oyulma çukurunun uzunluğu ve tepe yüksekliği (Δ) gibi ana karakterlerin çarpma mesafesi (H) cinsinden esas olarak erozyon parametresinin (E) bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.

Rajaratnam ve Mazurek (2002) çalışmalarında, kohezyonsuz bir yatak malzemesi üzerine eğimli dairesel hava jetini yatağa çarptırarak yatakta meydana gelen erozyonun oluşumunu deneysel olarak incelemişlerdir. Jet hızları 27,3 ile 86,8 m/s, nozul çapı 6,35 ve 12,6 mm olan hava jeti 7,5 ila 60° arası çarpma açısıyla polistiren yatak malzemesine çarptırılarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada oyulma çukurunun çeşitli karakteristik boyutları ölçülmüş, analiz edilmiş, oyulma çukurunun karakteristiklerinin çarpma açısı ve $F_0(H/d)$ 'e bağlı olduğunu bulmuşlardır. Bu araştırmacılar jetin yatağa çarpma uzaklığını ve eğim açısını değiştirerek oyulma derinliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Boyut analizi yapılarak oyulma derinliğini etkileyen değişkenler belirlenmiştir. Boyut analizi yapılarak Reynolds sayısının 10^4 'ten büyük olduğunda yani türbülanslı akım şartlarında Reynolds sayısının oyulma üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceği Rajaratnam (1976) tarafından belirtilmiştir. Asimptotik durumda erozyonun ana karakteristikleri için korelasyonlar geliştirilmiştir. Araştırmacılar erozyonun maksimum derinliğinin jetin çarpma noktasının önünde meydana geldiğini vurgulamışlar ve düşey olarak çarptırılan jetlere göre eğimli jetlerin daha büyük oyulma çukuru oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Dabbagh vd. (2002) sürekli bir su jeti kullanarak toprak erozyonuna dair deneysel bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada, su jetinin aşındırıcı davranışını ve toprağa çarpmasının farklı etkilerini göstermiş; kopan toprağın hacmi, jet çapı, uzaklıkla genişlemesi (yayılması) ve aynı zamanda penetrasyon oranı ve değişen su jeti parametrelerine bağlı olarak erozyona uğrayan toprak kütesinin değişimlerine dair deneysel ilişkiler sunmuşlardır. Deneysel sonuçları, penetrasyon ve erozyonun meydana gelmediği kritik bir hız ortaya koymuştur. Bu kritik hızın, temelde toprak özelliklerine bağlı ve toprağın ölçülen direnciyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Pagliara vd. (2006) çarpma havuzunda meydana gelen oyulma üzerine jetin şekli, jetin hızı, kuyruk suyu derinliği, malzemenin üniform olup olmaması, jetin hava içeriği ve memba akımının etkilerini incelemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. 30, 45, 60 ve 90° çarpma açısında 0,07 m çapa sahip bir dairesel su jetinin batık ve batık olmayan durumda çarpma havuzunda meydana getirdiği oyulmayı incelemişlerdir. Bu çalışmada su jetine hava ilavesi yapılarak havalandırmanın da oyulmaya etkisi incelenmiştir. Jetin hava içeriğinin oyulma üzerinde büyük bir etkisi olduğunu ve jetin şeklinin ise oyulma üzerinde küçük bir etkisi olduğunu söylemişlerdir. Malzemenin üniform olması durumunda üniform olmayan malzemeye göre daha derin oyulma derinliğinin oluştuğunu, jetin çarpma açısının artmasıyla oyulma çukurunun derinliğinin arttığını ancak tepe yüksekliğinin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar kuyruk suyu derinliğinin maksimum oyulma derinliği üzerine etkisinin önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Chakravarti vd. (2013) su altında düşey olarak yerleştirilmiş dairesel su jetinin çakıl malzemesinde oluşturduğu oyulmanın davranışını incelemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, oyulma çukurunda hem dinamik hem de statik oyulma derinliği için ölçümler yapılmıştır. Asimptotik durumda dinamik oyulma derinliğinin statik oyulma derinliğine göre çok daha büyük olduğunu göstermişlerdir. Oyulma derinliğinin zamanla değişimi ve maksimum statik oyulma derinliğini ölçmüşlerdir. Erozyon parametresi (E) ile dinamik ve statik oyulma derinliği arasındaki farkın değişimi, bu farkın erozyon parametresinin değeri ile doğrusal olarak arttığını ortaya koymuşlardır.

Koçak (2013) yüksek lisans çalışmasında kohezyonsuz zemin malzemesi kullanarak deneysel bir çalışma yapmıştır. Su jetinin oluşturduğu oyulma derinliği üzerinde zemin tabakası kalınlığının etkisini araştırmıştır. Jetin oluşturduğu oyulmayı etkileyen boyutsuz parametreler, boyut analizi yardımı ile belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiyi belirlemek için deneyler yapılmıştır. Deney neticeleri göstermiştir ki zemin malzeme tabakası kalınlığı arttıkça su jetinin bu tabakada oluşturduğu oyulma derinliği en büyük olmaktadır. Eğer kum tabakasının kalınlığı belirli bir sınır değerinden büyük olursa oyulma derinliği değişmeyip sabit kalmaktadır. Su jeti tarafından oluşturulan oyulmanın en büyük derinliği üzerinde zemin tabakasının kalınlığının bir miktar etkisi var olmakla birlikte söz konusu etkinin aşırı büyük olmadığını belirtmiştir.

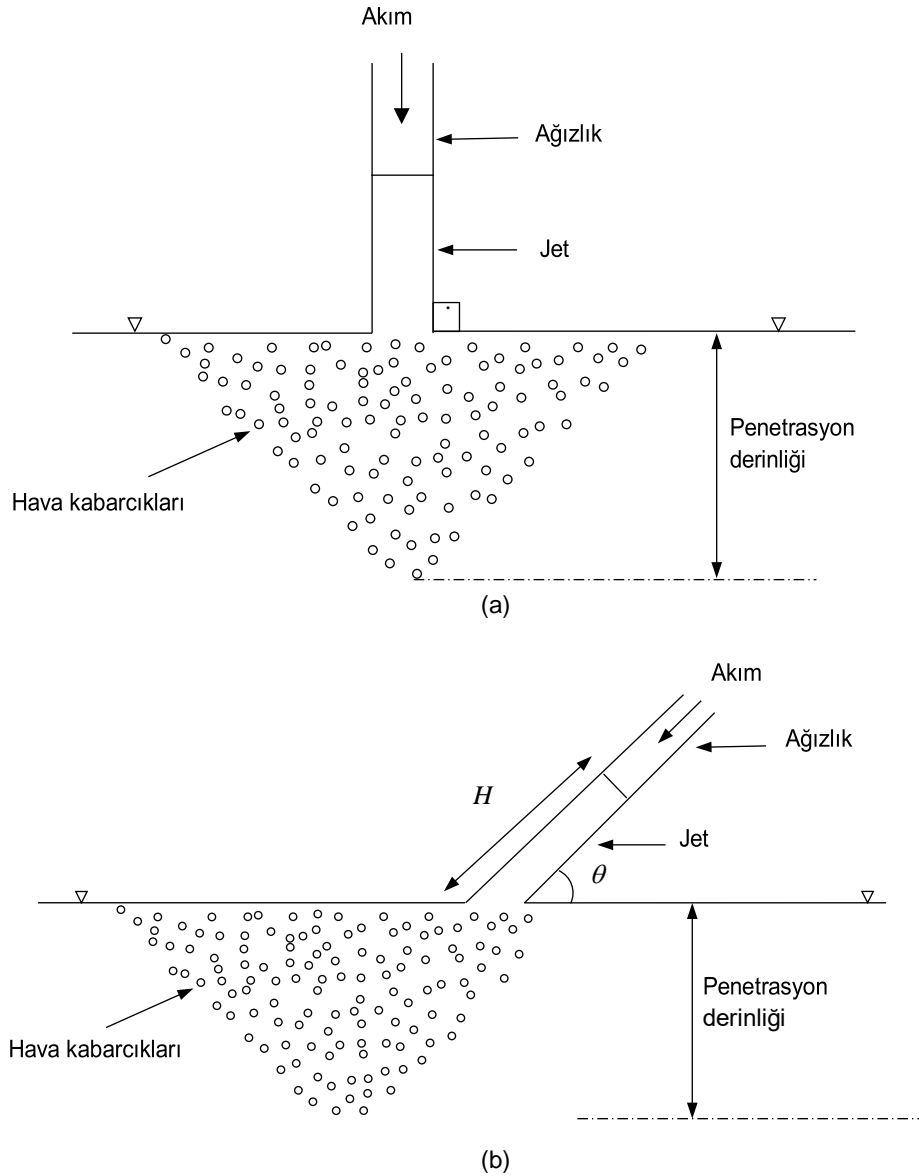
Tastan vd. (2016) su jetleri nedeni ile oluşan oyulma üzerine yatak malzemesi kalınlığının etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Kohezyonsuz sediment ile yapılan deneylerde sediment tabakasının kalınlığının oyulma üzerine etkisinin olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir: (1) Zemin malzeme tabakası kalınlığı arttıkça maksimum oyulma derinliği artmıştır. Fakat belirli koşullar altında zemin malzeme tabakasının belirli bir sınırının üstündeki değerinde maksimum oyulma derinliğinin değişmediğini ve sürekli sabit olduğunu bulmuşlardır. (2) Oyulma derinliği üzerinde zemin malzeme tabakasının kalınlığının etkisinin küçük de olsa olduğunu belirtmişlerdir.

Kartal (2018) yüksek lisans çalışmasında üniform olan kuvars kumunu mansap havuzunda sererek dairesel ağızlıktan çıkan su jetlerinin sebep olduğu oyulmayı detaylı bir şekilde incelemiştir. Oyulma çukurunun karakteristiklerini (maksimum oyulma derinliği, tepe yüksekliği, oyulma çukuru genişliği, oyulma çukuru uzunluğu ve vb.) farklı çarpma açısı, farklı ağızlık çapları, farklı çıkış hızları ve farklı çarpma mesafeleri için değişimini deneysel olarak araştırmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, oyulma çukurunun uzunluğu ve oyulma çukurunun genişliğini aynı şartlar altında yaklaşık olarak doğrusal arttığını belirtmiştir. Bu çalışmada hem enine hem de boyuna ölçümler alınarak oyulmanın topografyası çıkarılmıştır. Küçük çarpma açısında test edilen deneylerde büyük çarpma açısında yapılan deneylere göre oyulmanın daha geniş bir alana yayıldığını ifade etmiştir.

Kartal ve Emiroglu (2021) dairesel ağızlıkta plaka kullanmak suretiyle su jetini pürüzlendirerek su jetlerinden dolayı meydana gelen hava sürüklenme debisi ve oyulmayı incelemişlerdir. Araştırmacılar, ağızlıkta plaka kullanımının yani pürüzlülüğün su jetinin hızını azalttığı, mansap havuzuna daha çok hava kabarcığı soktuğunu (hava sürüklenme debisi arttığı) ve dolayısıyla mansap havuzunda oluşan oyulmayı daha geniş bir alana yayarak oyulma derinliklerinin azaldığını belirtmişlerdir. Özellikle plakalı ağızlıktan çıkan su jeti plakasız ağızlıklara göre jet çarpma mesafesinin artmasıyla gözle görülür şekilde oyulma derinliğinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Akımı oluşturan jetin ağızlıktan çıktıktan sonra çarpma havuzuna çarpma kadarki mesafede su jeti ile hava arasındaki sürtünmeden dolayı serbest jet boyunca bol miktarda hava jete girmektedir (Şekil 1). Bunun sonucunda serbest jetin kesiti hızla artar ve jet boyunca akışkan akımının hem ortalama yoğunluğu hem de hızı azalır. Serbest jetin çarpma havuzunda bulunan su yüzeyine göre potansiyel enerjisi, kinetik enerjiye dönüşmektedir. Ağızlıktan çıktıktan sonra su jeti, havada kalan kısmı yani serbest jet kısmı boyunca meydana gelen değişikliklerin, oyulmanın geometrik şekli üzerinde etkisi vardır. Çarpma havuzuna çarptırılan su jetinin ağızlıktan çıktıktan sonraki havada kalan kısmı yani serbest jetin, kuyruk suyu içine girdiği noktadaki özelliklerini teorik olarak bulmak veya ölçmek oldukça zordur. Havadaki serbest jet boyunca jet kesitinin nasıl ve ne kadar arttığına dair kesin bir analitik ifade olmayıp söz konusu kesit değişimi için çok sayıda yarı analitik veya deneylerle bulunan tamamen ampirik bağıntılar vardır (Yıldız, 2001). Genellikle bu ampirik ifadeler çalıştırıldığı deneylerin akım şartlarında geçerli olup birbirlerinden çok büyük farklılıklar göstermektedirler. Serbest jetin mansap havuzuna çarptığı noktadaki özellikleri jet akımının çarpma mesafesine (jetin eksenine boyunca su yüzeyine olan mesafe), yer çekimine, jetin çarpma açısına, akışkanın viskozitesi ve yoğunluğuna, ağızlığın çıkış çapına ve serbest jetin maruz kaldığı hava koşullarına bağlıdır. Mansap havuzu içerisinde kalan batık jet kısmındaki akım oldukça karmaşık bir akım ortamına sahiptir. Bu jet kısmındaki akım içerisinde hem su, hem hava ve hem de zemin malzeme tabakasında jetten dolayı oluşan oyulma nedeniyle askıya geçmiş çok miktarda kum danesi bulunur. Ayrıca jetin dış sınırları ile çevresindeki su arasındaki sürtünme (viskozite) ve yüksek hız gradyanları nedeniyle batık jetin dış

sınırları boyunca çok kuvvetli ve sonsuz sayıda vorteksler (çevrıntiler) oluşur. Bu vorteksler ve çevresindeki su batık jete nüfuz ederek jet kesitinin büyümesine, jetin hızının düşmesine, jet enerjisinin kırılmasına ve özellikle jete giren vortekslerden dolayı jet akımının aşırı bir şekilde salınımlı (*unstable*) olmasına neden olur. Jet ortamında oluşan vorteksler akımın olduğu yerde çok güçlü türbülansın oluşmasına ve akım ortamının salınımına sebep olmaktadır. Bu yüzden bu iki faktör zemin malzeme tabakasında bulunan zemin danelerinin büyük ölçüde sarsılmasına, yerlerinden çıkmasına ve askıya kaldırılmasına neden olduğu gibi sediment danesinin her tarafa dağılmasına ve taşınması sonucu oyulma oluşur (Kocak, 2013). Su jetinin hızı, çarpma açısı gibi değişkenlere bağlı olarak belirli bir derinliğe kadar aşağı inebilirler. Bu derinlik, penetrasyon derinliği olarak tanımlanmaktadır. Su jeti ile hava taşınmasında düşey ($\theta=90^\circ$) ve eğimli su jetleri kullanılmaktadır. $\theta=90^\circ$ durumunda sürüklenen hava kabarcıkları bir koni şeklinde olmaktadır. $\theta<90^\circ$ olması durumunda ise sürüklenen hava kabarcıkları bir tabak şeklini almaktadır.



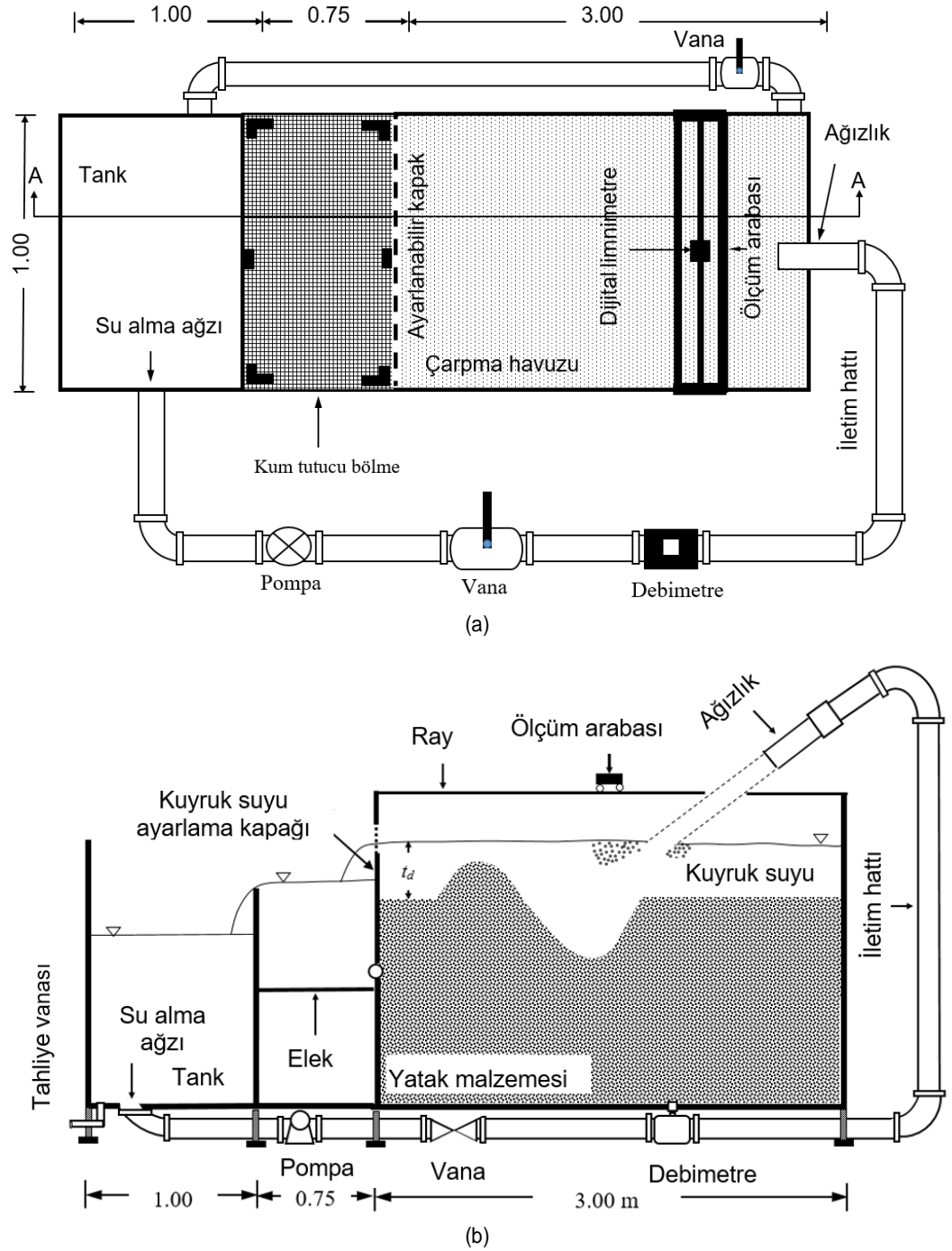
Şekil 1 Su jetleri: (a) Düşey su jeti, (b) Eğimli su jeti

Farklı akım koşullarına sahip su jetleri nedeniyle mansap havuzunda bulunan sediment tabakasında meydana gelen oyulma deneysel olarak incelenmiştir. Su jeti çarpma havuzuna çarptırıldığında oluşan oyulmanın karakteristikleri (maksimum oyulma derinliği, oyulma çukuru uzunluğu, oyulma çukuru genişliği ve tepe yüksekliğini) farklı akım koşulları için detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Mevcut çalışmada; ağızlık çapı, çarpma açısı, çarpma mesafesi ve jet çıkış hızının su jetleri nedeniyle mansapta oluşan oyulmanın karakteristikleri üzerinde etkisini araştırmak hedeflenmiştir.

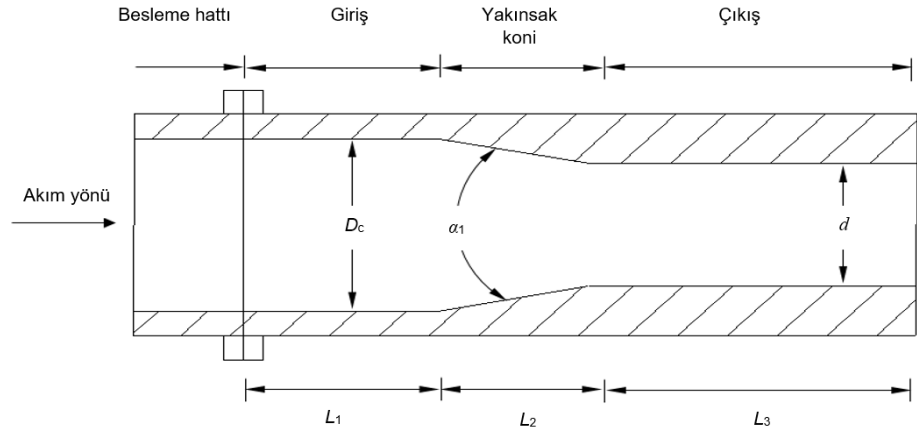
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmayı yürütmek için, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında birbirlerine yapışık olan bir adet çarpma havuzu, bir adet kum tutucu bölme ve

bir adet su tankı olmak üzere üç bölmeden oluşan bir deney düzeneği kullanılmıştır. Deney düzeneğine ait şematik görünüm Şekil 2(a, b)'de verilmiştir. Ayrıca deneysel çalışmada kullanılan dairesel ağızlıkların detayları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2 Deney düzeneği: (a) Plan, (b) Deney düzeneğinin A-A enkesiti.



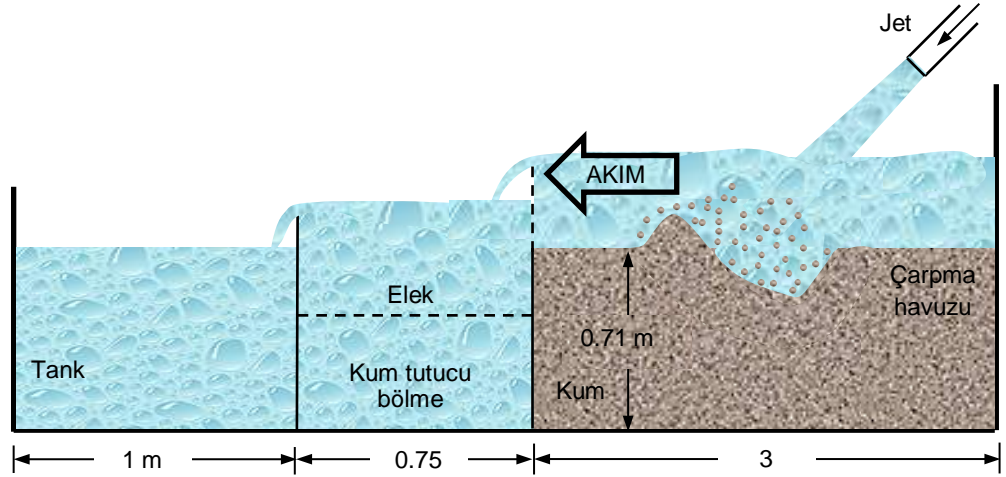
Şekil 3 Deneylerde kullanılan dairesel ağızlık tipinin detayları.

Mevcut çalışmada çarpma havuzundaki tabana serilen malzeme olarak kuvars kumu ($D_{16}=1,08$ mm, $D_{50}=1,28$ mm, $D_{84}=1,92$ mm, $\sigma_g=(D_{84}/D_{16})^{1/2}=1,33$ ve $\rho_s=2650$ kg/m³) kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kuvars kumun üniform olması temin edilmiş ve bu şekliyle deneysel çalışmada kullanılmıştır. Bir başka değişle sediment boyut dağılımının standart sapması $(D_{84}/D_{16})^{1/2}$ değeri 1,4'ten daha azdır. Bu çalışmada test edilen debiler Krohne marka elektromanyetik debimetre ile belirlenmiş ve su jeti pompa kullanılarak mansap havuzuna çarptırılmıştır. Su jeti nedeniyle çarpma havuzunda oluşan oyulmayı incelemek için yapılmış olan bütün deneylerde deney setine bağlanan hortumlar yardımıyla deneyler musluk suyu kullanılarak yapılmıştır. Her bir deneyde deneylere başlamadan önce çarpma havuzundaki kum yatak, mastar ve terazi yardımıyla düzleştirme işlemi yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan her bir deney için çarpma açısı, ağızlık çapı, jet çarpma mesafesi ve hızların ayarlanması ile deney düzeneği deneylere hazır hale getirilmiştir. Deneylere, çalışılmak istenen kuyruk suyu derinliğini elde etmek için şebekeden bağlanan hortumlar yardımıyla sediment yüzeyini bozmayacak şekilde çarpma havuzuna musluk suyu doldurmakla başlanmıştır. Bütün gerekli hazırlıklar yapıldıktan sonra pompa çalıştırılarak küresel vananın yavaş yavaş açılması ile elektromanyetik debimetre yardımıyla sistemin debisi kısa süre içerisinde ayarlanarak deneyler başlatılmıştır. Su çarpma havuzuna çarptırıldıktan sonra akışa geçip tekrar tanka gelmesi ile su devridaim ettirilmiştir. Dairesel ağızlıkta jet hızı çıkış çapı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu deneysel çalışmada, deney sistemine monte edilen ölçüm arabası ile hem enine hem de boyuna ölçümler Mitutoyo marka dijital limnimetre ile yapılmıştır.

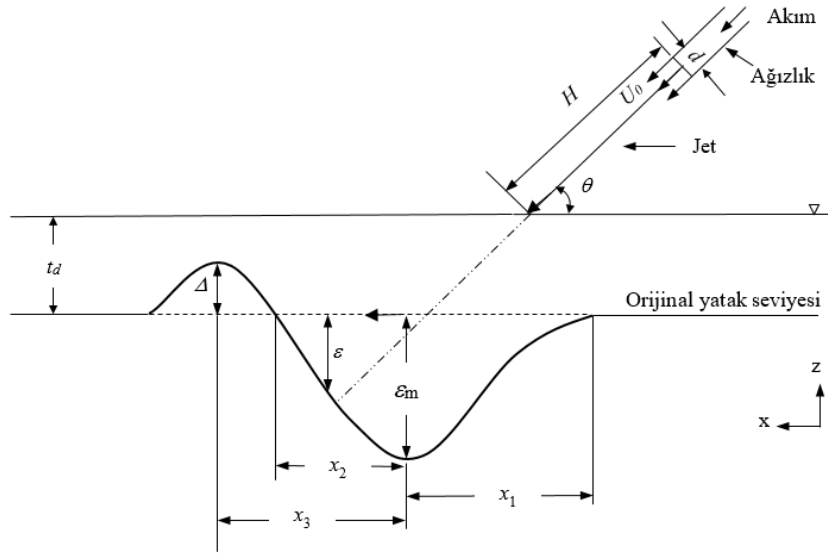
Tüm deneyler Şekil 2(a, b)'de sırasıyla planı, kesiti verilen deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada su jeti olarak dairesel ağızlıklar kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Üç farklı çapta dairesel ağızlık kullanılmıştır. (jetin çıkış çapı: 28, 34, 40 mm). Şekil 2(a, b)'de görüldüğü üzere su jetinin çıktığı boru, çarpma havuzunun bulunduğu kısmın başına monte edilmiş 360° dönebilen yatay bir mil yardımıyla jet borusuna dolayısıyla su jetine istenilen çarpma açısı (θ) verilebilmiştir. Jet, çarpma havuzunun merkez eksenine göre simetrik olarak yerleştirilmiştir. Bu çalışmada jetin, çarpma havuzuyla yaptığı eğim açısı (θ) 30, 45 ve 60° olmak üzere üç farklı çarpma açısı değeri çalışılmış ve 360° dönebilen mil sayesinde istenilen açılar ayarlanabilmiştir. Özel vidalı bağlantılar aracılığıyla jet borusu ileri-geri hareket ettirilerek jetin çarpma mesafesi (H) ayarlanabilmiştir. Çarpma havuzuna serilen kum tabakası kalınlığı $h_k=71$ cm ve kuyruk suyu derinliği $t_d=41,2$ cm seçilmiştir. Yapılan ön deneyler sonucu çarpma açısı, jet çarpma mesafesi ve ağızlık çapları için jet nedeniyle mansap havuzunda oluşan oyulmanın geometrisini etkilemeyecek optimum değerler olduğuna deneme yanılma yoluyla karar verilmiştir. Jet çıkış noktasının çarpma havuzundaki su yüzeyine jet eksenini boyunca olan mesafesi $H=15$ ve 30 cm özel vidalar yardımıyla ileri-geri hareket ettirilerek bu değerlerde ayarlanmıştır. Gücü 11 kW olan pompanın çalıştırılmasıyla su jeti, çarpma havuzunda bulunan kum malzeme tabakasında oyulmayı başlatmıştır. Pompa yardımıyla çarpma havuzuna çarptırılan su jeti havuza çarptıktan sonra önce kum tutucu bölmeye oradan da su tankına doğru cazibeli bir şekilde doğru akışa geçmiştir (Şekil 4). Bu şekilde her deney için aynı akım şartlarında denge oyulma durumunun oluşup oluşmaması durumuna göre altı (6) ile sekiz (8) saat arasında su jeti havuza çarptırılmıştır. Bu süre zarfında çarpma havuzunda jetten dolayı meydana gelen oyulmanın 15, 30, 45, 60, 180 ve 480'inci dakikalardaki maksimum oyulma değerleri ölçüm arabasına monte edilen dijital limnimetre ile okunmuştur. Pompa kapatıldıktan sonra jetten dolayı çarpma havuzunda meydana gelen oyulma çukurunun karakteristiklerinin değerleri dijital limnimetre ile okunmuştur.

Çarpma havuzundaki kuyruk suyu derinliği havuzun en sonunda kum tutucu bölmeye bitişik olan çıkarılabilir/takılabilir kapaklar ve ek iletim hattı üzerindeki küresel vana yardımıyla ayarlanabilmiştir (Şekil 2(a, b)). Su jeti akımı, 11 kW gücündeki pompa yardımıyla su tankındaki su alma ağzından borular yardımıyla alınarak çarpma havuzuna çarptırılması ile sağlanmıştır. Çarptırılan su jetinin

mansap havuzundan sonra kum tutucu bölmeye ardından tekrar su tankına cazibeli bir şekilde akışa geçmesi temin edilmiştir. Bu şekilde yapılarak deneyde kullanılan suyun devridaimi sağlanmıştır. Pompanın basma ve iletim borusu üzerine yerleştirilmiş bulunan bir küresel vana ve elektro manyetik debimetre yardımıyla su jetinin debisi ayarlanabilmiş ve ölçülmüştür (Şekil 2(a, b)). Çarpma havuzunun yan duvarlarının en üstünde havuz boyunca devam eden ray üzerinde hareket edebilen tekerlekli ölçüm arabası üzerinde monte edilmiş olan dijital limnometre ile oluşan oyulmanın enine ve boyuna ölçümler yapılmıştır. Ayrıca kuyruk suyu ayarlama kapaklarının yanında jet akıma geçtiğinde sabit kuyruk suyu derinliğinin sağlanması için ilaveten küresel vana monte edilmiş olan bir ek bağlantı yapılmıştır. Bu bağlantı borusu ile jetin mansap havuzuna çarptırılmasıyla kapak üzerindeki su napının artması ile birlikte yükselen kuyruk suyu, akış boyunca sürekli sabit kalması temin edilmiştir. Şekil 4'te deney düzeneğinin görsel olarak boy kesiti verilmiştir. Görüldüğü gibi deney düzeneği üç bölmeden oluşmaktadır. Şekil 5'te oyulma geometrisinin parametreleri şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4 Deney sistemi uygulama düzeneği



Şekil 5 Oyulma çukuru en kesiti

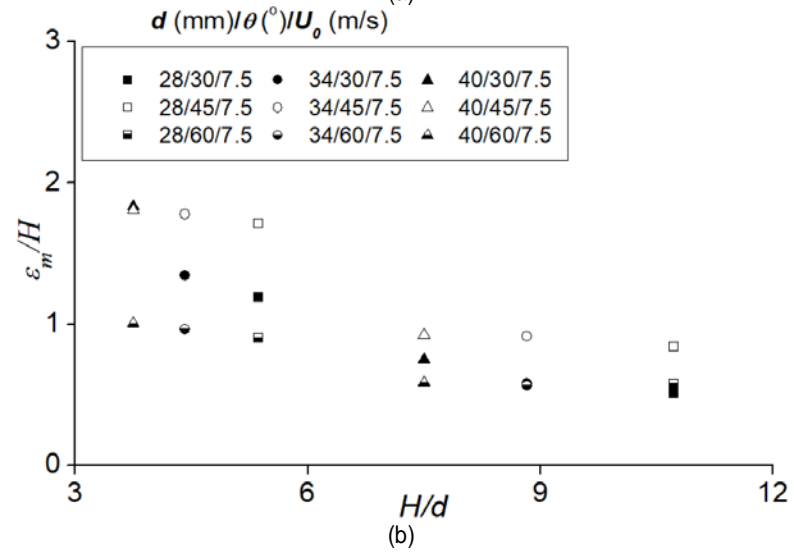
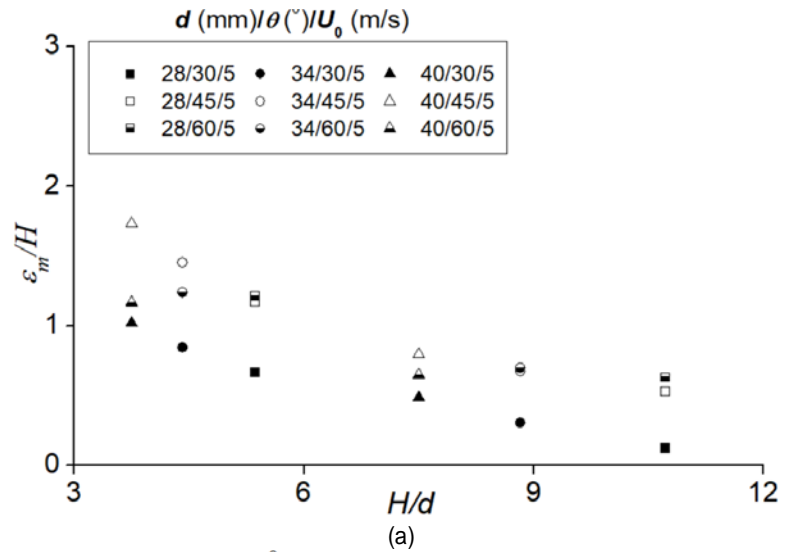
3. Sonuç ve Tartışma

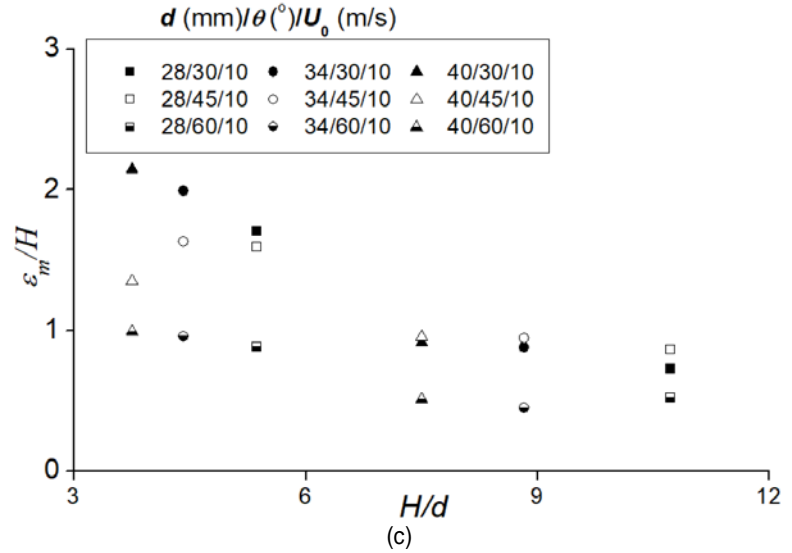
Dairesel ağzılıktan çıkan su jeti çarpma mesafesi ($H=0,30$ ve $0,15$ m), çarpma açısı ($\theta=30, 45$ ve 60°), ağzılık çapı ($d=28, 34$ ve 40 mm), jet çıkış hızları $U_0=5, 7,5$ ve 10 m/s akım koşulları için mansap havuzunda oluşan oyulma çukurunun karakteristikleri boyut analizi sonucu grafiklere dökülerek tartışılmıştır.

Şekil 6'da farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi verilmiştir. Su jetinin hızının artmasıyla aynı zamanda jetin

momentumu da artmaktadır. Jet hızının artması ile penetrasyon derinliğinin arttığı literatürdeki çalışmalardan anlaşılmaktadır. Böylece mansap havuzu içerisine dalan su jeti, yüksek hızlarda daha fazla oyulma derinliği oluşturmaktadır. Su jetinin hızının artması ile mansap havuzuna giren hava kabarcıklarının miktarı da artmaktadır (Bagatur ve Sekerdag, 2003).

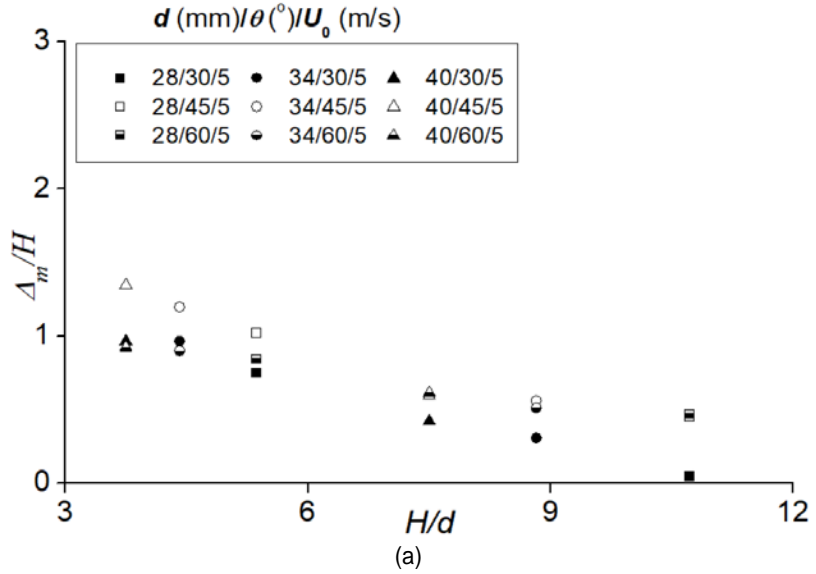
$\theta=60^\circ$ çarpma açısı için yapılan deneylerde mansap havuzuna içerisine dalan su jeti diğer açılara göre çok daha fazla sedimenti askı durumuna geçirmektedir. Bunun nedeni $\theta=60^\circ$ için yapılan deneylerde akım içerisine sokulan hava kabarcıkları yatak malzemesi içerisine geçirgenlik nedeniyle girmektedir. Yatak malzemesi içerisine giren hava kabarcıkları sedimenti yukarı doğru kaldırmaktadır. Böylece hava kabarcıkları, büyük miktardaki sedimenti bir kaynama durumuna benzer şekilde sedimenti askı halinde tutar. Statik oyulma durumunda (pompanın kapatılması) askı durumundaki sediment yer çekimi kuvveti etkisiyle yatak malzemesi üzerine çökelmektedir. Bunun sonucunda bu çarpma açısında test edilen deneylerde test edilen diğer deneylere göre oyulma çukuru daha dar bir alanda oluşmak ve daha düşük oyulma derinlikleri elde edilmiştir.

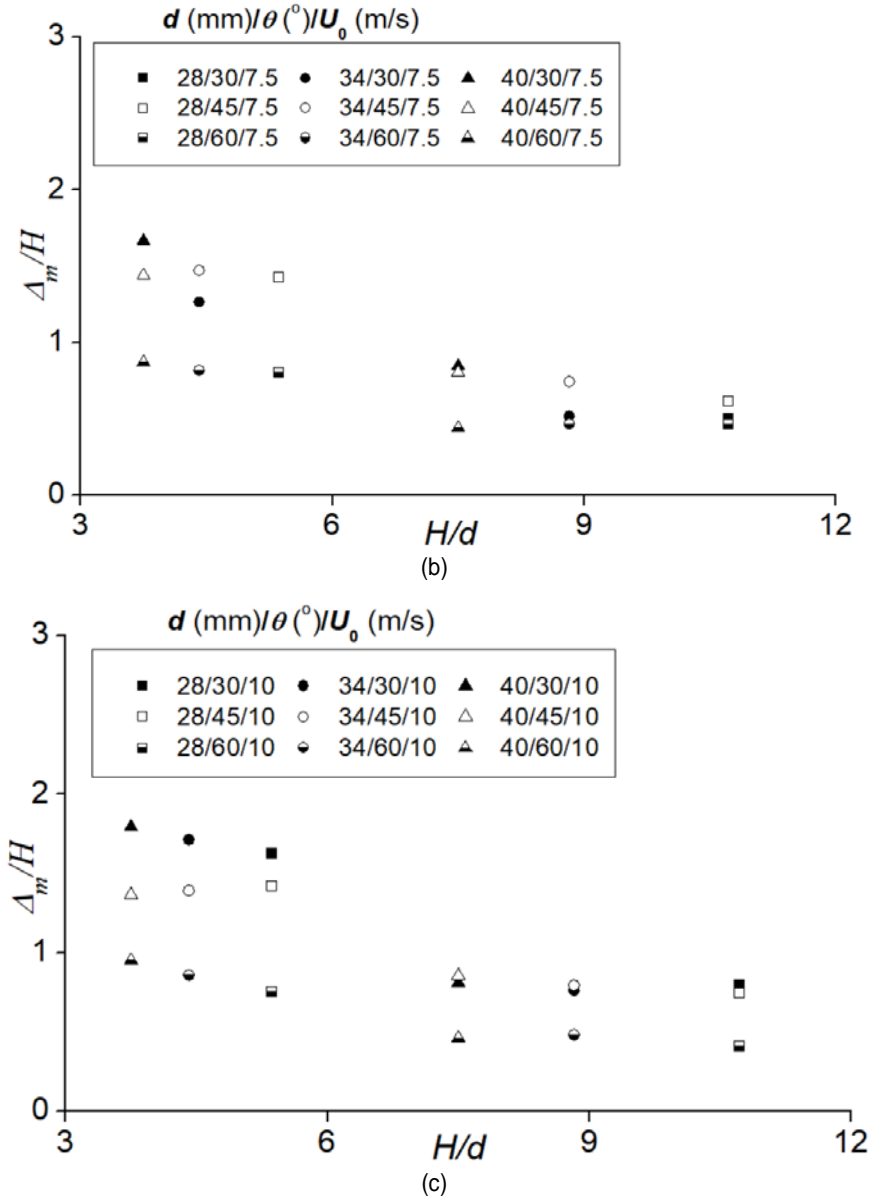




Şekil 6 Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7,5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s

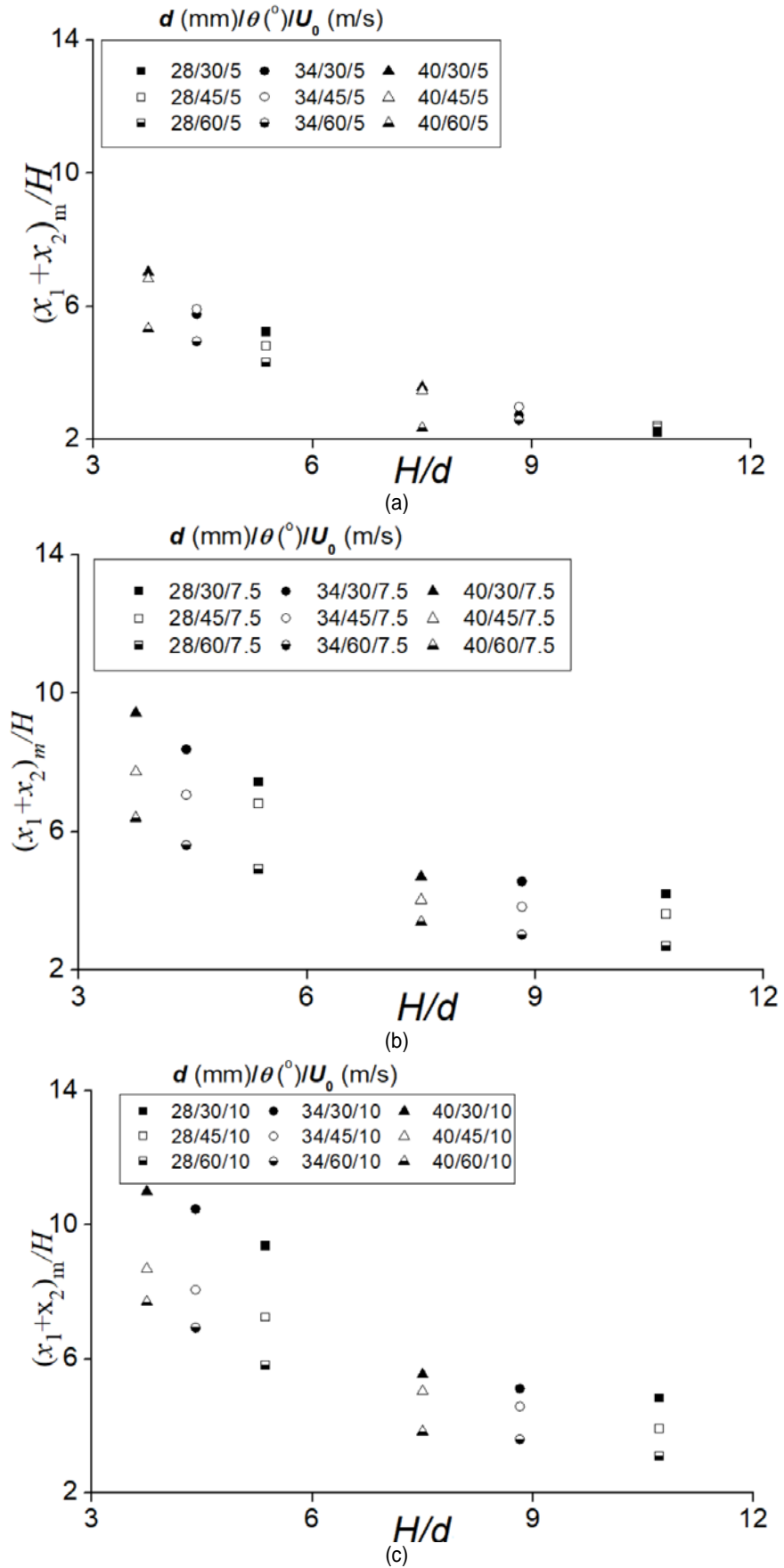
Şekil 7’de farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi verilmiştir. Şekil 7’den görüldüğü gibi aynı şartlara sahip su jetinin oluşturduğu oyulma çukurunda, çarpma mesafesinin azalmasıyla bütün çarpma açıları için maksimum tepe yükseklikleri artmıştır. Test edilen deneylerde en büyük tepe yükseklikleri değerleri hemen hemen $\theta=45^\circ$ çarpma açısında meydana gelmiştir. Bu durum Şekil 7’deki grafiğe göre de teyit edilmiştir.





Şekil 7 Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7,5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s

Şekil 8'de farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz uzunluğunun boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi verilmiştir. Şekil 8'den görüldüğü gibi aynı şartlara sahip su jetinin oluşturduğu oyulma çukurunda, çarpma mesafesinin azalmasıyla bütün çarpma açıları için maksimum oyulma derinlikleri artmıştır. Test edilen deneylerde en büyük oyulma derinlikleri büyük hızlara sahip jet $\theta=30^\circ$ çarpma açısında meydana gelmiştir. Küçük hızlarda ise jet diğer açılara kıyasla sediment tabakasına ulaşmak için daha çok yol alması sonucu jetin kinetik enerjisi azalmış dolayısıyla enerjisi kırılan jet yani hızı azalan jet daha küçük oyulma derinlikleri oluşturmasına neden olmuştur. $\theta=30^\circ$ için yapılan deneylerde maksimum oyulma derinliği, $\theta=45^\circ$ için test edilen deneylere göre daha düşük tepe yükseklikleri elde edilmesiyle jet daha çok sediment danesinin taşınmasına ve böylece daha büyük maksimum oyulma derinlikleri oluşmasına neden olmuştur. Ancak, $\theta=60^\circ$ için yapılan deneylerde oyulma derinlikleri, oyulma çukuru içinde jet tarafından hareket ettirilen sediment daneleri su içinde askıda kalmasıyla sediment daneleri taşınmamış dolayısıyla daha düşük oyulma derinlikleri elde edilmiştir. Özellikle pompanın kapatılmasıyla askıda olan sediment daneleri yerçekimi etkisiyle tekrar oyulma çukurunun içine düşmüşlerdir.



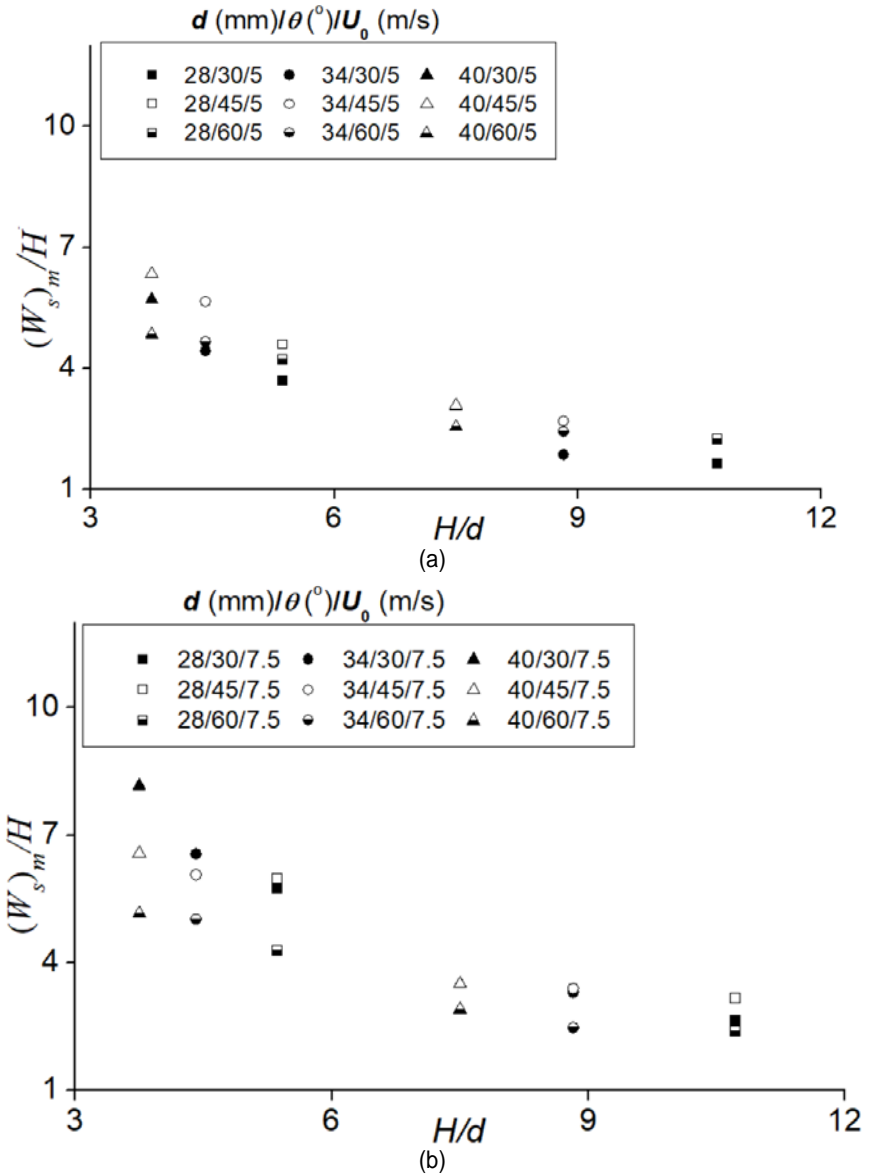
Şekil 8 Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz uzunluğunun boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7,5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s

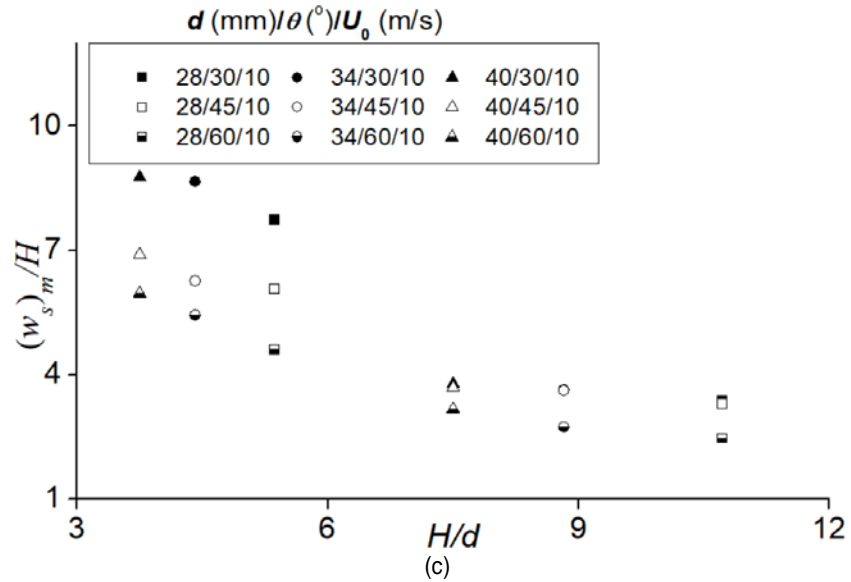
Şekil 9'da farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz genişliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi verilmiştir. Test edilen küçük çarpma açıları ve büyük çaplarda (d) daha büyük oyulma genişlikleri elde edilmiştir. Özellikle $\theta=30^\circ$ de oyulma çukuru

genişliğinin, düşük hızlarda küçük olmasının nedeni su jetinin diğer açılardaki test edilenlere göre daha uzun yol alması sonucu jetin kinetik enerjisinin azalması gösterilebilir. $\theta=60^\circ$ çarpma açısında oyulma çukurunun genişliğinin diğer açılara oranla değerinin küçük olması, sedimentin askıda kalıp taşınmaması olarak gösterilebilir.

Her bir jet çarpma açısı için oyulma çukurunun geometrisi farklı olmuştur. Jetin mansap havuzuna çarpma şekli, jetin çarpma noktasındaki genişliği ve hızı, jet uzunluğu ve çarpma açısı oyulma çukurunun geometrik şeklini etkileyen önemli parametreler olmuştur. Küçük çarpma açılarında oluşan tepe yüksekliği mansap havuzunun sonlarına doğru gerçekleşirken, büyük çarpma açılarında su jetinin çarpma noktasına daha yakın bölgede oluştuğu gözlemlenmiştir.

Özellikle küçük çarpma açıları için yapılan deneylerde elde edilen oyulma çukuru geometrisi test edilen diğer deneylerden farklı olduğu ve akım içerisine sokulan hava kabarcıklarının sedimenti yukarı doğru kaldırdığı ve böylece oyulma çukurunun daha geniş bir bölgeye yayılmasına neden olmaktadır.





Şekil 9 Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz genişliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7,5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s

Farklı akım koşullarına sahip su jeti nedeniyle mansap havuzunda oluşan oyulma çukurunun maksimum oyulma derinlikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 Mevcut çalışmada farklı akım koşulları için elde edilen maksimum oyulma derinlikleri

d (mm)	H (mm)	θ (°)	U_0 (m/s)	ε_m (mm)	d (mm)	H (mm)	θ (°)	U_0 (m/s)	ε_m (mm)
28	300	30	5	39	34	150	45	7,5	267
28	150	30	5	101	34	300	45	10	284
28	300	30	7,5	154	34	150	45	10	245
28	150	30	7,5	179	34	300	60	5	210
28	300	30	10	220	34	150	60	5	186
28	150	30	10	257	34	300	60	7,5	170
28	300	45	5	160	34	150	60	7,5	145
28	150	45	5	176	34	300	60	10	136
28	300	45	7,5	253	34	150	60	10	144
28	150	45	7,5	258	40	300	30	5	146
28	300	45	10	262	40	150	30	5	153
28	150	45	10	240	40	300	30	7,5	225
28	300	60	5	191	40	150	30	7,5	275
28	150	60	5	183	40	300	30	10	275
28	300	60	7,5	176	40	150	30	10	322
28	150	60	7,5	136	40	300	45	5	239
28	300	60	10	158	40	150	45	5	260
28	150	60	10	133	40	300	45	7,5	277
34	300	30	5	92	40	150	45	7,5	271
34	150	30	5	127	40	300	45	10	287
34	300	30	7,5	175	40	150	45	10	203
34	150	30	7,5	202	40	300	60	5	195
34	300	30	10	264	40	150	60	5	175
34	150	30	10	299	40	300	60	7,5	176
34	300	45	5	203	40	150	60	7,5	151
34	150	45	5	218	40	300	60	10	154
34	300	45	7,5	275	40	150	60	10	149

4. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı akım koşullarına sahip dairesel ağızlıktan çıkan su jetinin mansap havuzunda oluşturduğu oyulmanın çukurunun karakteristikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Genellikle küçük jet çarpma açılarında maksimum oyulma derinliği test edilen diğer jet çarpma açılarına göre daha büyük değerler elde edilmiştir.
- Jet kalınlığının, ağızlık çapının, jet genişliğinin, çarpma mesafesinin, jet çıkış hızının ve jet çarpma açısının mansap havuzunda oluşan oyulma çukuru üzerinde etkili olan önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir.

- Oyulma çukurunun uzunluğu, maksimum oyulma derinliği, maksimum oyulma çukuru genişliği ve maksimum tepe yüksekliği küçük çarpma açısı, küçük çarpma mesafesi ve büyük jet çıkış hızları için test edilen deneylerde en büyük değerlerini almıştır.
- Su jeti, küçük çarpma açılarında ve küçük hız değerlerinde diğer açılara kıyasla daha çok yol aldığından jetin kinetik enerjisi azalmakta dolayısıyla küçük çarpma açılarında ve küçük çıkış hızı değerlerinde oyulma çukuru diğer açılarda test edilenlere göre daha dar bir alanda olduğu gözlemlenmiştir.
- Büyük çarpma açılarında jetin sedimenti askıda tuttuğu ve sedimentin taşınmadığı gözlemlenmiş bu çalışmada elde edilen bulgulara göre de bu durum teyit edilmiştir.
- Su jeti, çarpma mesafesi arttığında jetin hava ile temas etmesi sonucu jet hızı azalmış dolayısıyla oyulma çukuru karakteristiklerinin değerleri küçülmüştür.
- Su jeti küçük çarpma açılarında akım içerisine daha çok hava kabarcığı sokması sonucu hava kabarcıkları sediment danelerini yukarı doğru kaldırdığı ve oyulma çukurunun daha geniş bir bölgeye yayılmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.
- Oyulma çukurunun uzunluğu ve oyulma çukuru genişliği, aynı koşullar altında dairesel ağızlıktan çıkan su jetinin hız değerlerinin artmasıyla yaklaşık olarak doğrusal arttığı görülmüştür.

5. Teşekkürler

Desteklerinden dolayı Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FUBAP)'a teşekkür ederiz. Proje numarası MF.17.38'dir.

6. Kaynaklar

- Rouse, H., (1939), Criteria for similarity in the transportation of sediment, University of Iowa Studies in Engineering, 20, 33-49.
- Rajaratnam, N., (1976), Turbulent Jets, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, 304.
- Rajaratnam, N., Aderibigbe, O. and Pochylko, D., (1995), Erosion of sand beds by oblique plane water jets, Water Maritime&Energy, 112, 31-38.
- Yıldız, D., (2001), Barajların mansabındaki oyulmalar, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 51-82.
- Rajaratnam, N., Mazurek, K.A., (2002) Erosion of a polystyrene bed by obliquely impinging circular turbulent air jets, Journal of Hydraulic Research, 40(6), 709-716.
- Dabbagh, A.A., Gonzales, A.S. and Pena, A.S., (2002), Soil erosion by a continuous water jet, Soils and Foundations, 42(5), 1-13.
- Pagliara, S., Hager, W.H., and Minor, H.E., (2006), Hydraulics of plane plunge pool scour, Journal of Hydraulic Engineering, 132(5), 450-461.
- Chakravarti, A., Jain, R.K., and Kothiyari, U.C., 2013. Scour under submerged circular vertical jets in cohesionless sediments, ISH Journal of Hydraulic Engineering, 20(1), 32-37.
- Koçak, P.P., (2013), Su jetinden dolayı oluşan oyulma derinliği üzerinde zemin malzeme tabakası kalınlığının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tastan, K., Kocak, P.P., and Yıldırım, N., (2016), Effect of the bed-sediment layer on the scour caused by a jet, Arabian Journal for Science and Engineering, 41(10), 4029-4037.
- Kartal, V., (2018), Su jetlerinde ağızlık türünün oyulma geometrisine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Kartal V., Emiroglu, M.E., (2021), Local scour due to water jet from a nozzle with plates, Acta Geophysica, <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00521-1>

7. Simgeler Listesi

- d Dairesel ağızlık çapı (L)
- D Yatak malzemesi çapı (L)
- D_c Redüksiyon borusunun çapı (L)
- D_{16} %16'dan geçen sediment çapı (L)
- D_{50} %50'den geçen sediment çapı (L)
- D_{84} %84'ten geçen sediment çapı (L)
- F_0 Densimetrik Froude sayısı (-) $(U_0/\sqrt{g(\frac{\Delta\rho}{\rho})D_{50}})$
- Re Reynold sayısı (-)
- g Yerçekimi ivmesi (LT^{-2})
- h_k Zemin malzeme tabakasının kalınlığı (L)
- H Çarpma mesafesi (L)

U_0	Jetin ağızlık çıkışındaki hızı (LT^{-1})
ε_m	Maksimum oyulma derinliği (L)
Δ_m	Maksimum tepe yüksekliği (L)
x_1+x_2	Oyulma çukuru uzunluğu (L)
w_s	Oyulma çukuru genişliği (L)
ν	Kinematik viskozite (L^2T^{-1})
ρ	Akışkanın özgül kütlesi (ML^{-3})
ρ_s	Sedimentin özgül kütlesi (ML^{-3})
$\Delta\rho$	Akışkan ile sediment arasındaki rölatif özgül kütle (-)
Q_w	Suyun debisi (L^3T^{-1})
q	Birim debi ($L^3L^{-1}T^{-1}$)
t_d	Kuyruk suyu derinliği (L)
σ_g	Yatak malzemesinin geometrik standart sapması (-)
θ	Çarpma açısı (jet ekseninin su yüzeyi ile yaptığı açı) ($^{\circ}$)