

MUSLE Yöntemi Kullanılarak Selin Sebep Olduğu Toprak Erozyonunun Tahmin Edilmesi: İğneada (Kırklareli) Seli Örneği (5.9.2023)

Emre Özşahin^{1*}, Mikayil Öztürk²

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 59030, Tekirdağ.

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 59030, Tekirdağ.

Özet

Türkiye'nin Trakya Yarımadasındaki Istranca Yöresinin Karadeniz aklanındaki akarsu havzalarında aşırı şiddetli yağışlara bağlı olarak 5.9.2023 tarihinde katastrofik bir sel gerçekleşmiştir. Şiddetli toprak erozyonuna sebep olan bu sel, akarsularda biriktirmenin arttığı alt havzadaki vadi tabanına yakın alanlarda ağır bir sediment birikimine yol açmıştır. Resmi kayıtlara göre selin etkisi en fazla Değirmen Deresi havzasında hissedilmiştir. Bu çalışmada, Değirmen Deresi havzasında 5.9.2023 tarihinde meydana gelmiş selin sebep olduğu toprak erozyonunun tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Böylece dramatik sonuçları olan bu problemin hem potansiyel konumu hem de şiddeti hakkında fikir vermesi bakımından önemli bilgiler elde edilmiştir. Selin sebep olduğu toprak kaybının hesaplanması ve erozyon risk haritalarının oluşturulması için MUSLE modeli tercih edilmiştir. Model, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) temelli ArcGIS toprak erozyon aracı kullanılarak uygulanmıştır. Sonuçta Değirmen Deresi havzasındaki selin sebep olduğu toprak erozyonunun daha çok eğim ve yağış artışının belirgin olduğu üst havzadaki akarsu vadilerinde, etkisinin ise akarsularda biriktirmenin arttığı alt havzadaki vadi tabanına yakın alanlarda olduğu tespit edilmiştir. Model sonuçlarına göre selin yaşandığı tarihte 195,78 ton/gün miktarda sedimentin geldiği tahmin edilmiştir. Bu sonuç sellerin sebep olduğu toprak erozyonunun yaşanmış bir olay ölçeğinde modellenmesinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları, sellerin sebep olduğu toprak erozyonu riskinin gerçek nedenlerini ele almaya yönelik bölgesel politikalar geliştirmek için kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler

Sel, Erozyon, MUSLE, CBS, Değirmen Deresi

Estimation of Soil Erosion Caused by Flash Floods Using MUSLE Method: The Case of Igneada (Kırklareli) Flash Flood (5.9.2023)

Abstract

A catastrophic flood occurred on 5.9.2023 due to extremely heavy rainfall in the river basins on the Black Sea catchment area of the Istranca Region in the Thracian Peninsula of Türkiye. As a result of these rainfalls, a catastrophic flash flood occurred on 5.9.2023. This flash flood, which caused severe soil erosion, also led to a heavy accumulation of mud in areas close to the valley floor in the lower basin where deposition in the rivers increased. According to official records, the impact of the flash flood was felt the most in the Degirmen river basin. In this study, it was aimed to estimate the soil erosion caused by the flash flood that occurred on 5.9.2023 in the Degirmen river basin. Thus, important information was obtained in terms of giving an idea about both the potential location and severity of this problem with dramatic consequences. The MUSLE model was preferred for the calculation of soil loss caused by flash floods and the creation of erosion risk maps. The model was applied using ArcGIS soil erosion tool based on Geographic Information Systems (GIS). As a result, it was determined that soil erosion caused by flash floods in the Degirmen river basin is mostly in the river valleys in the upper basin where the increase in slope and precipitation is significant, and its effect is in the areas close to the valley floor in the lower basin where deposition increases in the rivers. According to the MUSLE model results, 195,78 tons/day of sediment was estimated to have arrived at the time of the flash flood. The result of the study emphasize the importance of modeling soil erosion caused by flash floods at the scale of a lived event. Furthermore, the results of this study can be used to develop regional policies to address the real causes of soil erosion risk caused by flash floods.

Keywords

Flash Flood, Erosion, MUSLE, GIS, Degirmen River

1. Giriş

Kurak ve yarıkurak bölgelerde kaynağını dağlık alanlardan alan akarsu havzalarında meydana gelen seller, uzun süreden beri dünyanın en riskli doğal tehlikelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Othman vd., 2023). Son yıllarda iklim değişikliğinin etkisiyle geçmişe göre daha sık görülen bu doğal afet, canlı hayatına zarar verdiği gibi altyapı hasarına da yol açmaktadır (Abu El-Magd vd., 2021).

Özellikle uzun süren kurak bir dönemden hemen sonra meydana gelen aşırı yağışlar, üst toprağın geçirimsizliğini arttırarak yüzeysel akışı desteklemektedir (Ocak & Bahadır, 2024). Böylece debisi çok düzensiz bir şekilde değişen ve çok hızlı hareket eden su akımları oluşmaktadır (Özcan, 2006; Korkanç & Korkanç, 2006; Polat vd., 2023). Sel olarak tanımlanan bu su akımları, yüksek kinetik enerjilerinden dolayı şiddetli toprak erozyonuna sebep olmaktadır (Borga vd., 2014). Bunun sonucunda sel kaynaklı toprak erozyonu ortaya çıkmakta ve akarsu havzasında eğimin azaldığı alt kesimlerde önemli miktarda sediment ve enkaz birikimi gerçekleşmektedir (Özdemir & Kaymak, 2022). Dolayısıyla sel kaynaklı toprak erozyonu, büyük ve kalıcı toprak kayıpları gibi tahripkâr sonuçlar da doğurmaktadır (Kaffas vd., 2022).

Sel kaynaklı toprak erozyonu, başta coğrafyacılar ve jeomorfologlar olmak üzere farklı disiplinlere ait araştırmacıların en çok ilgi gösterdiği doğal problemlerdendir (García-Ruiz vd., 2013; Zhang vd., 2024). Akdeniz havzasında yaygın olarak izlenen (Aronica vd., 2012) bu doğal problem, kıydan itibaren yükselen dağlık alanlardan kaynağını alan akarsu havzalarında daha baskın bir şekilde görülmektedir (Víg vd., 2023). Ancak Akdeniz havzasının topografya, toprak ve yüzeysel akış koşullarındaki yerel farklılıklar nedeniyle dünyanın en karmaşık peyzajlarından birine sahip olması ve bunun da toprak derinliği, infiltrasyon kapasitesi, eğim ve bitki örtüsü özelliklerinde son derece hızlı değişikliklere yol açması, bu fenomenin dramatik etkilerinin anlaşılması ve incelenmesi bakımından büyük bir zorluk taşımaktadır (Thornes, 2002). Bu zorluğu aşmak için basit veri gereksinime sahip olan ve havza ölçeğinde daha doğru sonuçlar veren Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerine dayalı modeller yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Berteni vd., 2021).

Akdeniz havzasındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun değerlendirilmesi bakımından şu anda genellikle USLE (Universal Soil Loss Equation) ailesine ait ampirik modellerden olan MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) ve RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) büyük bir ilgi görmektedir (Özşahin, 2023a). Birbirinin devamı şeklinde olan bu modeller Türkçe literatürde sırasıyla ETKİ (Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği), METKE (Modifiye Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği) ve YETKE (Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği) şeklinde kısaltılarak kullanılmaktadır (Erpul, 2011). Olay bazlı çalışan MUSLE, akarsu havzalarındaki toprak erozyonunu tahmin etmek için USLE yöntemindeki yağış faktörü yerine akım faktörünün dikkate alındığı bir erozyon modelidir (Williams, 1975). Özellikle fırtınalı sağanak yağışların etkili olduğu dönemlerde optimum sonuçlar veren (Özsoy, 2007) bu yöntemin küçük akarsu havzalarında (0,5-2227 km²'den küçük) meydana gelen sıra dışı olaylar için toprak erozyonunu oldukça doğru bir şekilde tahmin ettiği bildirilmiştir (Williams ve Berndt, 1977). Yaşanmış tek bir örnek olaya ait verilerin, olağanüstü olayların yaşanmadığı dönem verileriyle kıyaslanması için oldukça büyük avantaj sağlayan bu model, Akdeniz havzasında İtalya (Berteni vd., 2021), Yunanistan (Kaffas vd., 2022), Cezayir (Millares vd., 2020) ve Tunus (Khemiri & Jebari, 2022) örneklemelerindeki bazı akarsu havzalarında meydana gelen sel kaynaklı toprak erozyonunun belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Ancak benzer çalışmalar Doğu Akdeniz Havzasında yer alan Türkiye'de ise hiç yapılmamıştır. Bu durum literatürde önemli bir boşluk oluşturmaktadır.

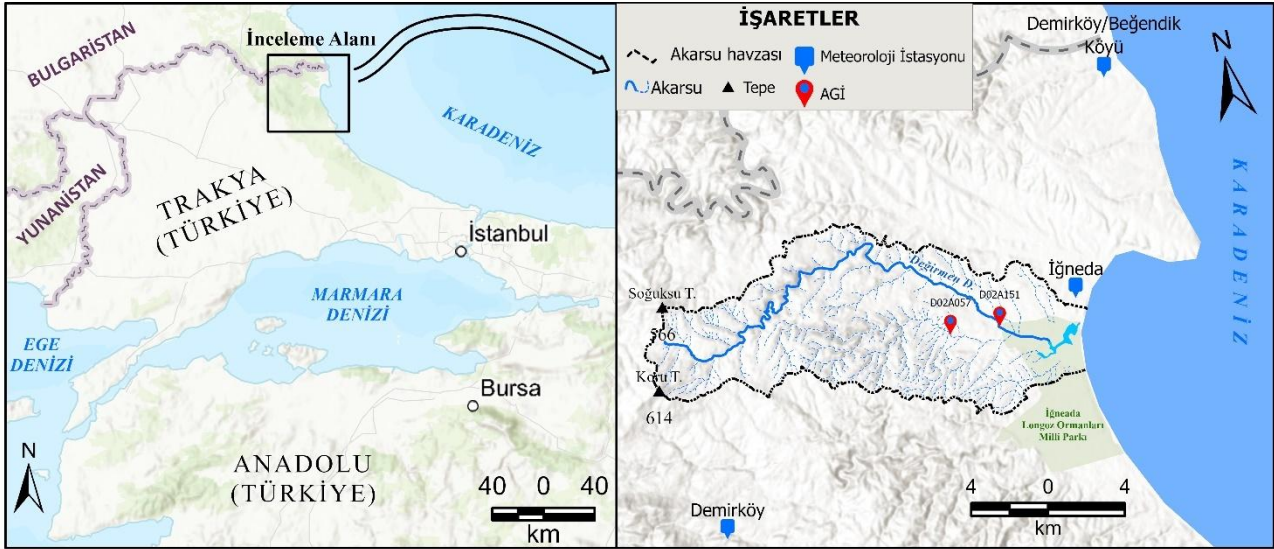
Türkiye'nin Trakya Yarımadasındaki Istranca (Yıldız) Yöresinin Karadeniz kıyısındaki akarsu havzalarında 5.9.2023 tarihinde meydana gelen şiddetli sağanak yağışlar neticesinde sel yaşanmıştır. Kısa zamanda doğal afet karakteri kazanan bu olay, Değirmen Deresi havzasında eğimin azaldığı kesimlerde can ve mal kaybına sebep olan su baskınlarına ve suyla taşınan maddelerin birikimine yol açmıştır (Kırkırelili Valiliği, 2023). Değirmen Deresi havzasında yaşanan bu sel afetinin sebep ve sonuçları yakın zamanda yayınlanmış bir çalışmayla bilimsel olarak değerlendirilmiş (Özşahin & Öztürk, 2024) olmasına rağmen sel kaynaklı toprak erozyonu konusunda herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, Değirmen Deresi havzasında 5.9.2023 tarihinde gerçekleşen sel kaynaklı toprak erozyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece sel kaynaklı toprak erozyonunun hem potansiyel konumu hem de şiddeti hakkında fikir vermesi bakımından önemli bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışma, sel kaynaklı toprak erozyonu riskinin gerçek nedenlerini ele almaya yönelik bölgesel politikalar oluşturmak için sağlam bir temel strateji geliştirilmeye yardımcı olabilecek özgünlüğe sahiptir.

2. Materyal ve Yöntem

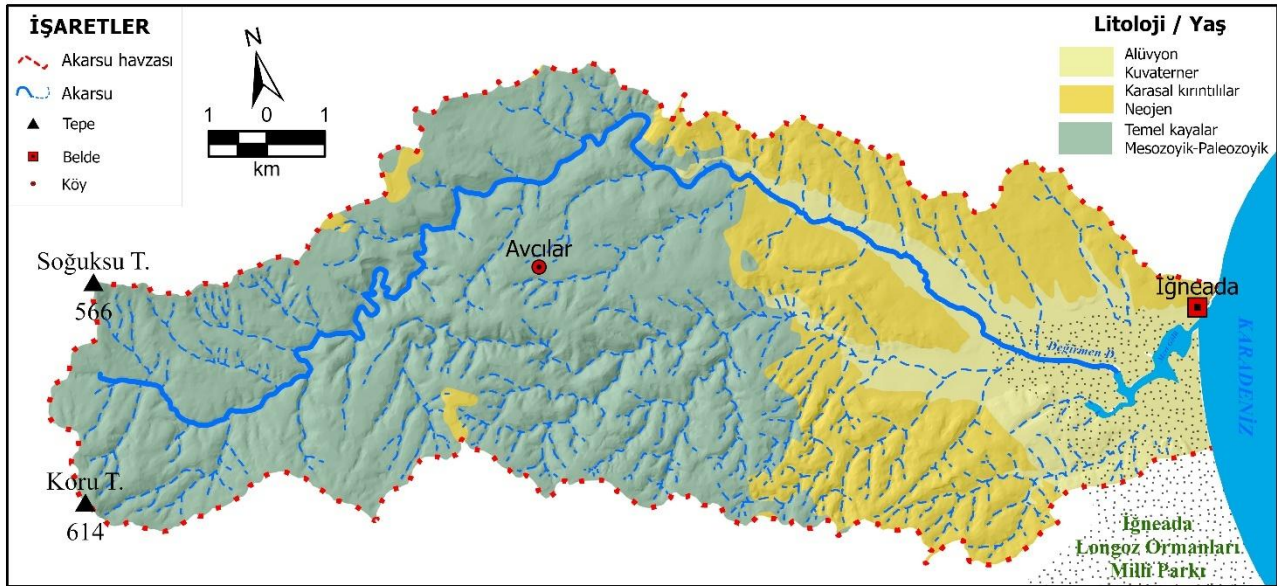
2.1. İnceleme alanı

İnceleme alanı, sel kaynaklı toprak erozyonunun yaşandığı Değirmen Deresi havzasıdır. Havza alanı, Türkiye'nin Trakya Yarımadasında konumlanmaktadır (Şekil 1). Yüzölçümü 61.1815 km² olan inceleme alanının mansap kısmı aynı zamanda İğneada Longoz Ormanı Milli Parkı sınırları içerisinde kalmaktadır (Şekil 1).

İnceleme alanında ana akarsu kolunun mansabından memba kısmına doğru ilerledikçe yaşlıdan genç birimlere geçişin olduğu litolojik özellikler hakimdir (Şekil 2). Temel arazinin Istranca masifine ait Paleozoyik yaşındaki şist ve gnays türünden kayalar ile Mesozoyik yaşındaki flişlerden oluştuğu inceleme alanında, akarsu havzasının alt kesimleri Neojen'e ait karasal kıvrıntılılarla örtülmüştür. İnceleme alanında ana akarsu kolunun vadi tabanları ve kıyı kesimlerinde ise Kuvaterner yaşındaki birimler yayılış göstermektedir (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2002).



Şekil 1: İnceleme alanının lokasyon haritası

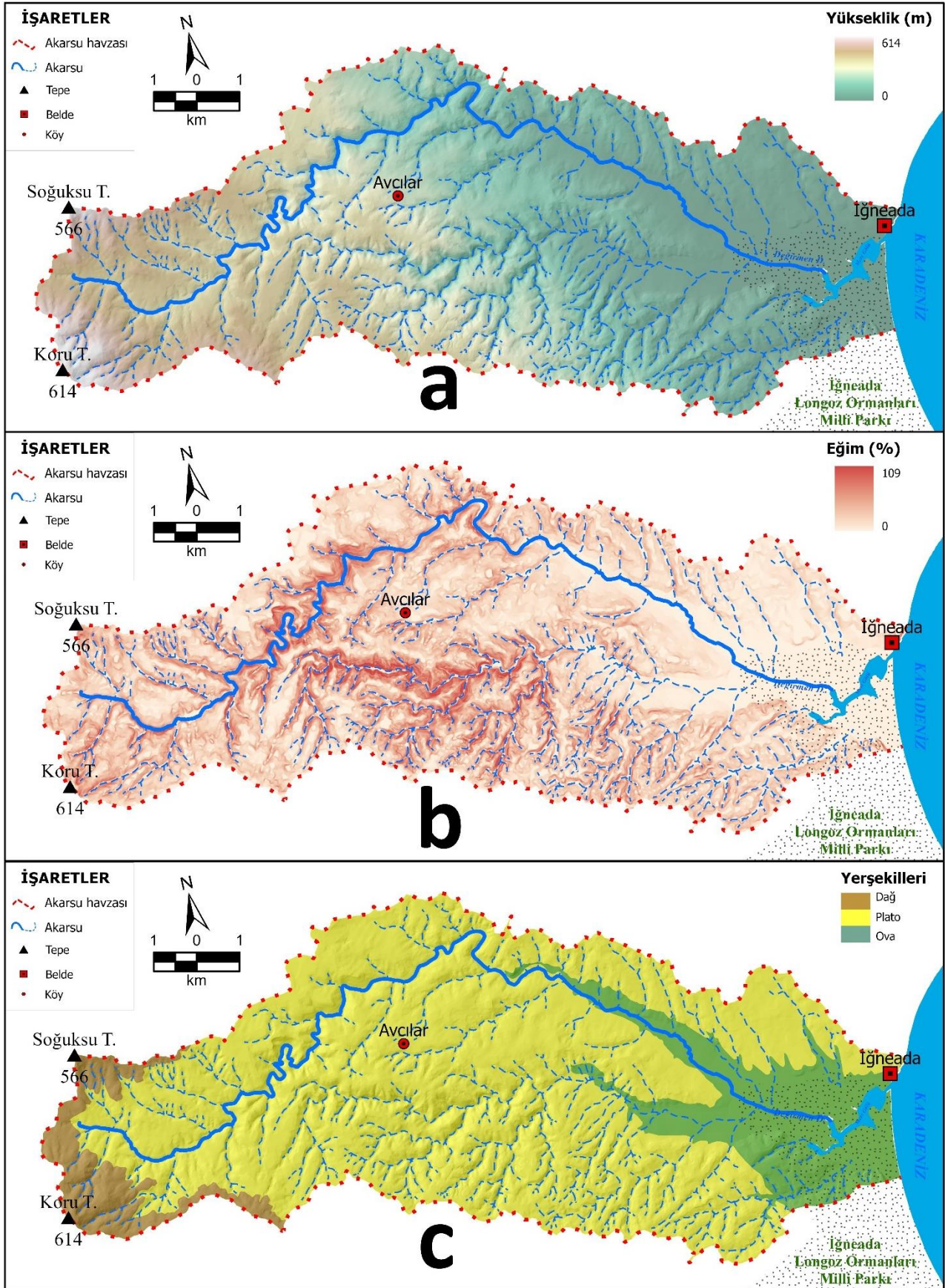


Şekil 2: İnceleme alanının litoloji haritası (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2002'den değiştirilerek alınmıştır)

En alçak noktası deniz seviyesi olan inceleme alanının, en yüksek noktası Istranca Dağları üzerinde yer alan Kuru Tepedir (614 m). Buna göre yükselti farkının 614 m olduğu inceleme alanının ortalama yükseltisi 176,93 m'dir (Şekil 3a). Kıyıdan iç kesimlere doğru eğimin belirgin bir şekilde arttığı inceleme alanı, daha çok eğimli yamaçların egemen olduğu bir topografyaya sahiptir (Şekil 3b). İnceleme alanında ana yerçekillerinin tamamını görmek mümkündür (Şekil 3c). Miyosen aşınım yüzeyine karşılık gelen Istranca Dağları, inceleme alanındaki başlıca ana yerşeklidir (Kurter, 1978; 1982). Bu dağ, deniz yönünde Üst Pliyosen yaşlı aşınım yüzeyi şeklinde gelişmiş bir plato tarafından sınırlandırılmaktadır. İnceleme alanındaki platonun akarsuyun mansap kısmına doğru olan kesimlerindeki dolgu alanları karasal ova, ana akarsu kolunun kıyıya ulaştığı sahalar ise kıyı ovası karakteri göstermektedir (Turoğlu, 1997).

İnceleme alanında genel olarak yaz mevsiminin az yağışlı, kış mevsiminin ise serin ve yağışlı olduğu iklim özellikleri hakimdir (Turoğlu, 1997). Buna göre yıllık ortalama sıcaklık 12,4 °C ve ortalama yıllık toplam yağış miktarı ise 797,3 mm'dir. İnceleme alanında kıyıdan iç kısımlara doğru gidildiğinde sıcaklık ve yağış aylık olarak değişmekle birlikte nispeten azalmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022).

İnceleme alanında flüvyal süreçler hakimdir. Yörenin iklim özelliklerine bağlı olarak akarsularda kış mevsiminde seviye yükselmesi, yaz mevsiminde ise seviye alçalması görülmektedir (Tablo 1). Diğer yandan akarsularda seviye yükselmesi maksimum değerine şubat, minimum değerine ise ağustos ve eylül aylarında erişmektedir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2015). Dolayısıyla inceleme alanındaki akarsu akımları Yağmurlu-Akdeniz rejim tipinin temel özelliklerini taşımaktadır.



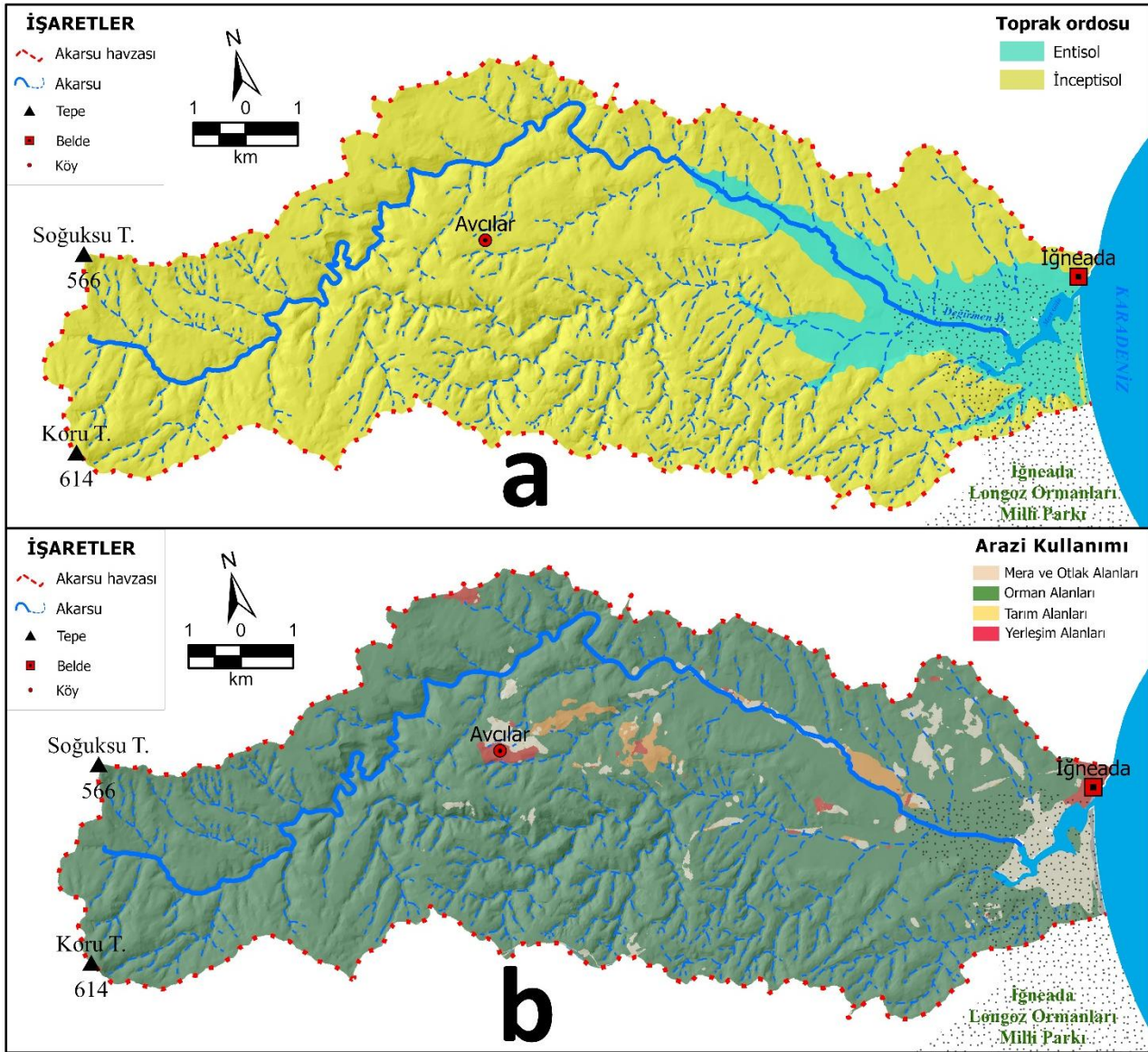
Şekil 3: a) İnceleme alanının yükseklik haritası, b) inceleme alanının eğim haritası, c) inceleme alanının yer şekilleri haritası

Tablo 1: İnceleme alanındaki akım gözlem istasyonlarının ortalama aylık akımları (Ege, 2022)

İstasyon	Akım (m ³ /sn)												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Elmalı Deresi	0,4	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,05	0,2	0,2	0,2	0,4	2,8
Değirmen Deresi	0,4	0,6	0,5	0,3	0,1	0,1	0,01	0,005	0,1	0,1	0,3	0,5	3,0

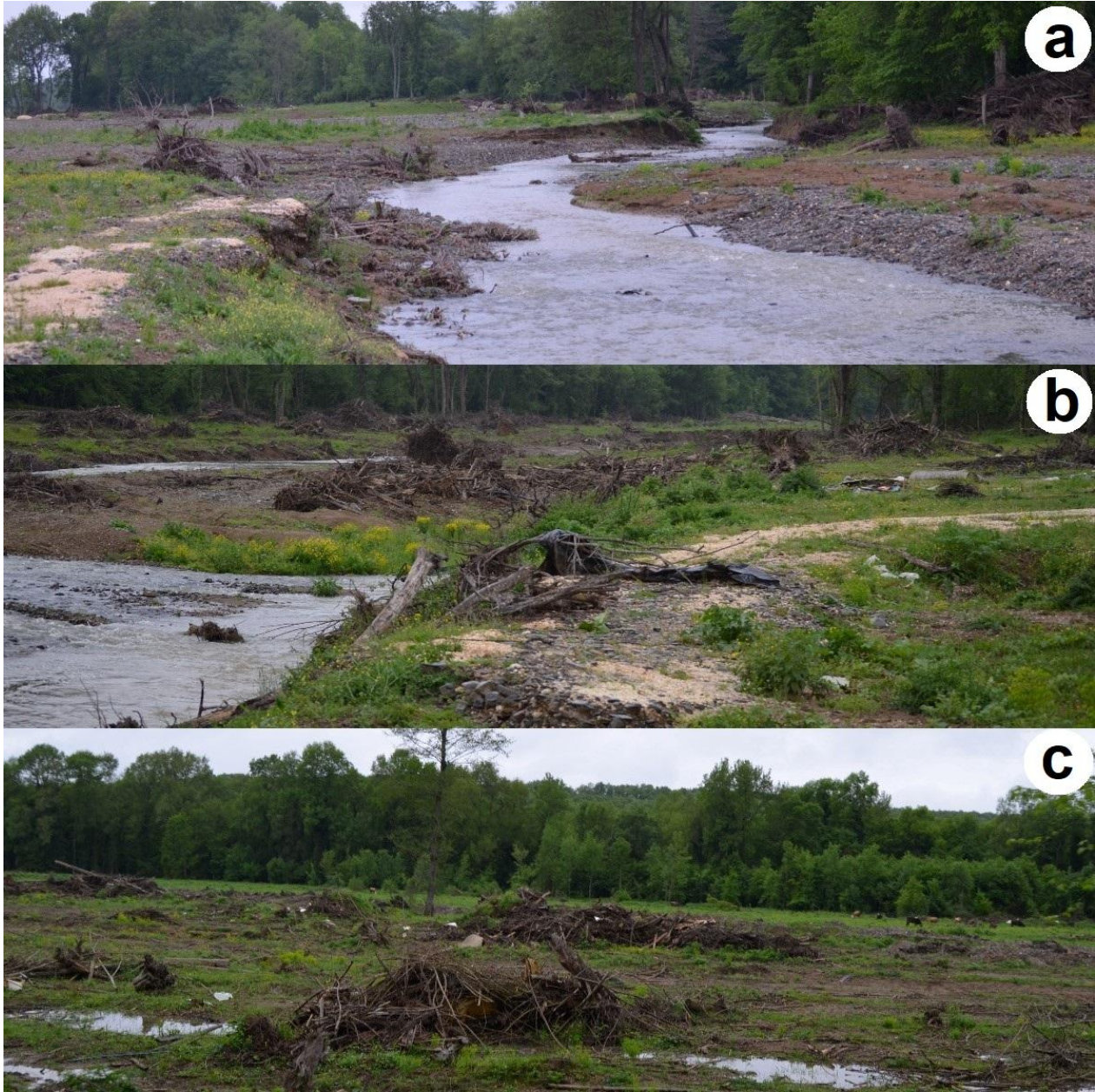
İnceleme alanındaki dağ ve plato alanlarında ana materyalin ayrışması sonucunda oluşmuş ve tam olgunlaşmamış İnceptisol, ovada ise horizonları tam gelişmemiş ve daha genç özellikte olan Entisol ordolarına ait topraklar yayılış göstermektedir (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1991; Şekil 4a).

İnceleme alanındaki doğal bitki örtüsü formasyonları nemli ormanlar, psödomaki ve kıyı bitkileriyle temsil edilmektedir (Dönmez, 1990). Hemen hemen tamamına yakın bir kısmı orman alanları tarafından kaplanmış olan inceleme alanında, kıyıya yakın bazı alanlarda psödomaki ve kıyı bitkileri bazı alanlarda da tarım, mera ve otlak alanları ile yerleşim alanları şeklinde arazi kullanımları yaygındır (ESRI, 2023; Şekil 4b).



Şekil 4: a) İnceleme alanının toprak haritası (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1991'den değiştirilerek alınmıştır), b) inceleme alanının arazi kullanımı haritası (ESRI, 2023'den değiştirilerek alınmıştır)

İnceleme alanında 4-6.9.2023 tarihleri arasında “Daniel” adı verilen fırtınanın etkisiyle şiddetli sağanak yağışlar gerçekleşmiştir (JBA Risk Management, 2023). Bu yağışlar neticesinde 5.9.2023 tarihinde şiddetli toprak erozyonunun etkili olduğu katastrofik bir sel meydana gelmiştir. Bu olay sonucunda 6 kişi hayatını kaybederken, kamp alanları, ulaşım ağları, hidrolik yapılar (Köprüler ve menfezler vb.) ve diğer teknik altyapılarda büyük bir hasar ortaya çıkmıştır (Kırklareli Valiliği, 2023). Ayrıca ormancılık faaliyetlerinin yaygın olduğu akarsu havzasında bazı tomruk dizileri ve köklerinden sökülen ağaçlar sel suları ile birlikte sürüklenmiştir (Şekil 5). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (2023) tarafından hazırlanan resmi rapora göre inceleme alanında sel olayının gerçekleştiği sahadaki su izlerinden alınmış n (enine kesit) kesitler kullanılarak bazı hidrolojik-hidrolik hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre selin yaşandığı zamanda ana akarsu kolundaki akımın 320,4 m³/s olduğu belirlenmiştir. Bu miktarın ise 10.000 yıllık tekerrürlü akım büyüklüğünden daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2023). Dolayısıyla bu selin inceleme alanındaki insan nüfusu, doğal ve tarımsal çevre, her türlü altyapı tesisleri için yıkıcı sonuçlar doğuran doğal afet karakteri kazandığı anlaşılmıştır. Bu nedenle bölgenin yakın tarihindeki en yıkıcı sellerden biri olarak kayıtlara geçmiştir (Özşahin & Öztürk, 2024).



Şekil 5: İnceleme alanında 5.9.2023 tarihinde meydana gelen katastrofik selin etkisinin en fazla hissedildiği Sisli Vadi mevkinde akarsu vadisine yakın yerlerde su baskını ve sediment birikimi gerçekleşmiştir. a) Değirmen Deresi Sisli Vadi mevkinde kıvrımlı yatak özellikleri göstermektedir. b) Değirmen Deresi Sisli Vadi mevkinde selin etkisiyle getirdiği malzemeleri yatak kenarında biriktirmiştir. c) Sisli Vadi mevkinde selin etkisiyle Değirmen Deresi taşmış ve akarsuyun getirdiği malzemeler çevreye yayılmıştır.

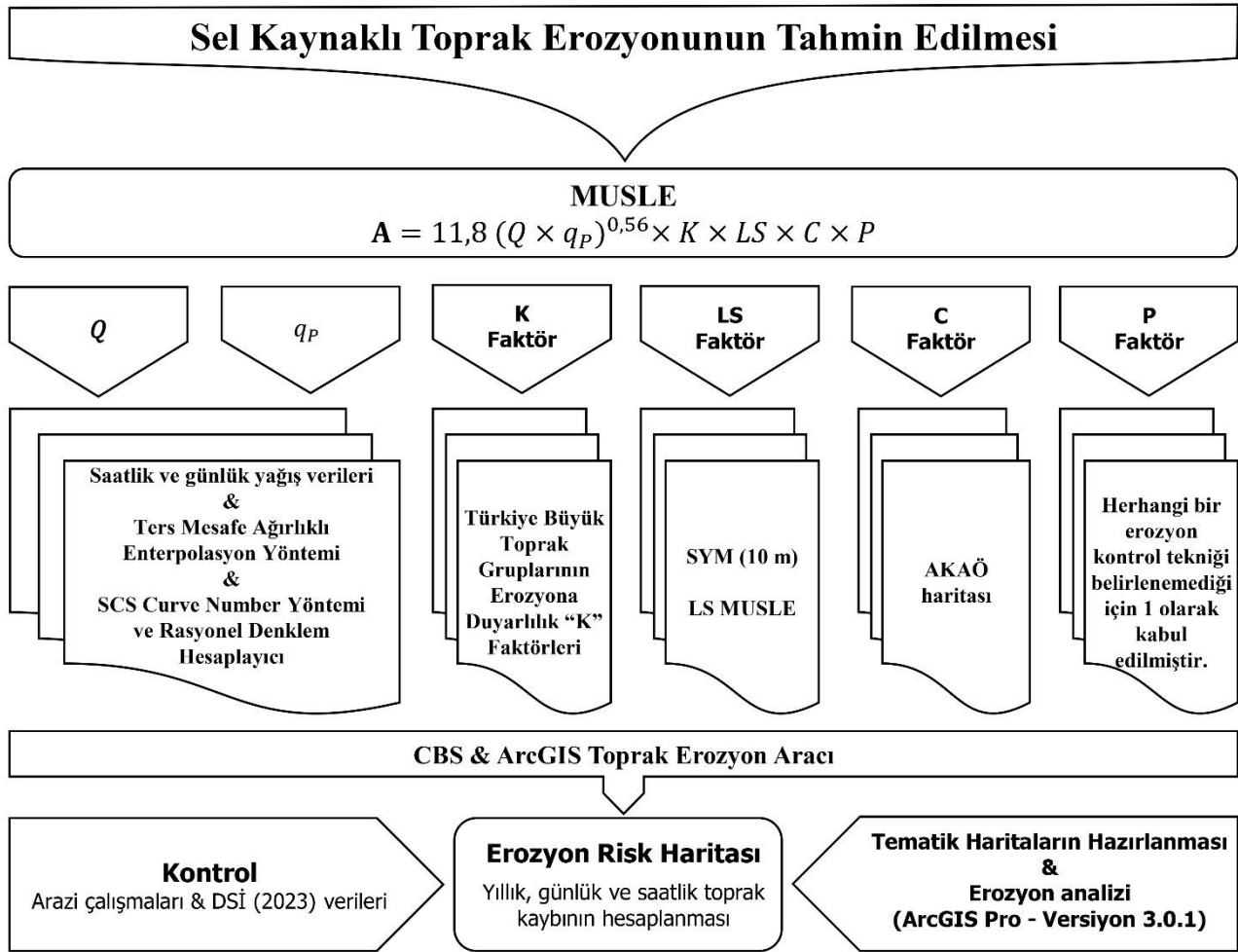
2.2. Yöntem

Bu çalışmanın haritalama işlemi 1:25.000 ölçekli Türkiye topografya haritalarının ilgili paftaları eşliğinde gerçekleştirilmiştir (Harita Genel Müdürlüğü, 2023). Bu paftalardan hem altlık verilerin sayısallaştırılması hem de SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verisinin oluşturulması işleri sırasında yararlanılmıştır.

Çalışmada MUSLE modelinin kullanılması tercih edilmiştir. Çünkü USLE modelinin (Wischmeier & Smith, 1965) değiştirilmiş bir versiyonu olan bu model, yaşanmış bir olaya dayalı bir şekilde çalıştığı için sel kaynaklı toprak erozyonunun hesaplanmasında daha kullanışlıdır (Djoukbalı vd., 2019). MUSLE yöntemi aşağıdaki denkleme ve işlem akış şemasında takip edilen aşamalara göre uygulanmıştır (Şekil 6).

$$A = 11,8 (Q \times q_p)^{0,56} \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Burada; “A” Ortalama toprak kaybı ($t \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$), “Q” Akım (af) ve “ q_p ” Maksimum akım (cfs), “K” Toprak erozyon faktörü ($t \text{ ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), “LS” Eğim uzunluk ve eğim dikliği faktörü (boyutsuz), “C” Arazi örtüsü ve yönetimi faktörü (boyutsuz) ve “P” Erozyon kontrol faktörü (boyutsuz)’dür.



Şekil 6: İşlem akış şeması

İnceleme alanında Elmalı Deresi (No: D02A057) ve Değirmen Deresi (No: D02A151) olmak üzere 2 farklı akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmaktadır. Ancak akım hacmi (Q) ve maksimum akım (q_p), inceleme alanındaki AGİ’ler kullanılarak hesaplanamamıştır. Zira Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (2023) tarafından hazırlanan resmi rapora göre inceleme alanında selin meydana geldiği dönemde doğrudan herhangi bir ölçüm yapılmamıştır. Dolayısıyla inceleme alanındaki Q ve q_p parametreleri akarsuyun drenaj havzasını bütünüyle karakterize etmesi için Demirköy, Beğendik/İğneada ve İğneada meteoroloji istasyonlarına ait saatlik ve günlük yağış verilerine göre hesaplanmıştır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Yağış verileri, yağış gözlem istasyonlarının az ve düzensiz olmasından dolayı CBS tekniklerine dayalı enterpolasyon yöntemiyle mekânsal olarak dağıtılmıştır.

Bu aşamada yağış değerlerinin haritalandırılmasında daha doğru tahmin sonuçları üreten Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighting - IDW) tercih edilmiştir (Taylan & Damçayırı, 2016). Böylece drenaj havzasının saatlik ve günlük ortalama yağış miktarları belirlenmiştir.

İnceleme alanında selin meydana geldiği dönemdeki saatlik ve günlük ortalama yağış miktarlarına göre akım hacmi (Q) ve maksimum akım (q_p) değerleri, ABD (Amerika Birleşik Devletleri) Toprak Koruma Servisi (Soil Conservation Service - SCS) tarafından geliştirilen ve Türkiye’de DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından yaygın bir şekilde kullanılan sentetik metot yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplama işlemi, SCS Curve Number Yöntemi ücretsiz yazılım aracı (SCS Curve Number, 2024) ve Rasyonel Denklem Hesaplayıcı (Edwards, 2024) yardımıyla sırasıyla aşağıdaki formüller kullanılarak yapılmıştır.

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)} \quad (2)$$

Burada; “ Q ” akım (mm), “ P ” yağış (mm) ve “ S ” toprak tarafından tutulan su (mm) anlamındadır.

$$q_p = ciA \quad (3)$$

Burada; “ q_p ” maksimum akım (cfs), “ c ” akım katsayısı, “ i ” yağış (mm) ve “ A ” drenaj alanı (km²) anlamındadır. Yukarıdaki ilk formüle göre belirlenen akım (Q) değerleri, MUSLE denkleminde uygun olması için çevirici (Conversion of Measurement Units, 2024) yardımıyla sırasıyla saatlik ve günlük değerler şeklinde “cfs” birimine dönüştürülmüştür. K faktörü, Türkiye Büyük Toprak Gruplarının Erozyona Duyarlılık “ K ” Faktörleri adlı çalışma kapsamında inceleme alanındaki büyük toprak gruplarından alınmış 20 farklı toprak örneğinin aşağıdaki eşitliğe göre birleştirilmesiyle tespit edilmiştir (Doğan vd., 2000).

$$K = (2,77 \times 10^{-6} \times M^{1,14} \times (12 - OS) + 0,043 \times (A - 2) + 0,033 \times (4 - D) \quad (4)$$

Burada; “ K ” Toprak erozyon faktörü (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹), “ M ” (% silt + çok ince kum) × (% silt + kum-çok ince kum), “ OS ” 1,72 × organik karbon %’si, “ A ” Strüktür sınıfı (Agrega sınıfı) ve “ D ” Geçirgenlik (Permeabilite) sınıfı anlamındadır (Doğan vd., 2000). Buna göre inceleme alanındaki K faktör değeri 0,10-0,21 arasında değişmektedir (Tablo 2).

Tablo 2: İnceleme alanındaki büyük toprak gruplarından alınmış 20 farklı toprak örneğinin K faktör değerleri (Doğan vd., 2000)

Örnek No	K faktör	Örnek No	K faktör	Örnek No	K faktör	Örnek No	K faktör
1	0,10	6	0,12	11	0,11	16	0,12
2	0,10	7	0,12	12	0,11	17	0,11
3	0,12	8	0,12	13	0,10	18	0,21
4	0,12	9	0,12	14	0,11	19	0,11
5	0,12	10	0,12	15	0,11	20	0,11

LS faktörü, 10 m çözünürlüğündeki SYM verisi kullanılarak MUSLE için önerilen denkleme göre tespit edilmiştir (Djoukbalı vd., 2019).

$$LS = 1,4 \times \left(\frac{FA \times R}{22,1} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\sin(\theta \times 0,01745)}{0,09} \right)^{1,4} \quad (5)$$

Burada; “ LS ” Eğim uzunluk ve eğim dikliği faktörü, “ FA ” Akım Birikimi (Flow accumulation), “ R ” Çözünürlük ve “ θ ” eğim (derece) anlamındadır. Bu bakımdan inceleme alanındaki LS faktörü topoğrafyanın eğimli olduğu yerlerde artarken, eğimin azaldığı sahalarda azalmaktadır.

C faktörü, Karra vd. (2021) tarafından hazırlanmış ve serbest erişime sunulmuş (ESRI, 2023) AKAÖ (Arazi Kullanımı-Arazi Örtüsü) sınıflarına farklı kaynaklardan derlenen (Panagos vd., 2015a; Ozsahin vd., 2018) katsayıların birleştirilerek çalışma alanı ölçeğinde ortalamasının alınmasıyla elde edilmiştir. İnceleme alanındaki AKAÖ sınıfları farklı C faktörü değerlerine sahiptirler (Tablo 3). Ancak genel olarak C faktör değerleri AKAÖ sınıflarının toprak erozyonuna etkisine göre artmaktadır.

Tablo 3: İnceleme alanındaki AKAÖ sınıflarının C faktör değerleri

AKAÖ sınıfı	C faktör
Mera ve Otlak alanı	0,05-0,15
Tarım alanı	0,1-0,2
Orman alanı	0,0001-0,003
Yerleşim alanı	0,001-0,01

P faktörü, arazi çalışmaları esnasında çalışma alanında gerek normal gerekse sel koşullarından kaynaklanan toprak erozyonunun oluşumunun engellenmesine yönelik herhangi bir erozyon kontrol tekniği belirlenemediği için 1 olarak kabul edilmiştir (Renard vd., 1991).

Sediment verimi, Dendy-Bolton yöntemi (Dendy & Bolton, 1976) kullanılarak ücretsiz yazılım aracı (Online Dendy-Bolton, 2024) ile aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$Q < 2$ için;

$$S = 1280 \times Q^{0,46} [1,43 - 0,26 \log (A)] \quad (6)$$

$Q \geq 2$ için;

$$S = 1965 \times e^{-0,055Q} [1,43 - 0,26 \log (A)] \quad (7)$$

Burada; “S” sediment verimi (t/km²/y), “Q” akım (mm), ve “A” havza alanı (km²) anlamındadır.

MUSLE modeliyle tahmin edilen toprak kaybı sonuçlarının doğruluğu, tek ölçüme dayalı verinin olduğu selin meydana geldiği gün için yapılmıştır. Çünkü sadece ilgili günde DSI tarafından bazı hidrolojik-hidrolik ölçümler gerçekleştirilmiştir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2023). Ölçülen veriler günlük sediment miktarı yöntemi kullanılarak doğrulamaya uygun hale getirilmiştir (Miller, 1951). Bu aşamada günlük sediment miktarı aşağıdaki denklem kullanılarak tespit edilmiştir.

$$S = Q \times C \times K \quad (8)$$

Burada; “S” günlük sediment miktarı (ton/gün), “Q” günlük ortalama debi (m³/sn), “C” günlük ortalama sediment konsantrasyonu (ppm) ve “K” katsayı anlamındadır (Güresinli, 1978). Günlük sediment miktarları, model tahmin değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, doğruluk oranı karar verme katsayısı (R²) değeri hesaplanarak kontrol edilmiştir.

Çalışma verileri, yöntem içeriği doğrultusunda CBS teknikleriyle birleştirilmiştir. İlgili işlem bu amaçla geliştirilmiş yazılım aracıyla gerçekleştirilmiştir (ArcGIS, 2020). Zira başta yer bilimleri olmak üzere eğitim ve bilimsel araştırmalarda dünya çapında en yaygın kullanılan CBS programlarından birisi olan ArcGIS sayesinde çok sayıda yazılım aracı geliştirilmektedir (Stefanidis vd., 2021). Bu araçlardan en popüler olanlarından birisi de ArcGIS toprak erozyon aracı (Soil Erosion Tool)’dır (Özşahin, 2023a; 2023b). Böylece inceleme alanındaki yıllık ve selin meydana geldiği dönemdeki günlük ve saatlik toprak kayıpları hesaplanmış ve erozyon risk haritaları oluşturulmuştur. Bu haritaların sınıflandırılmasında benzer çalışmalarda yaygın olarak kullanılan erozyon risk sınıfları (çok hafif, hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli) kullanılmıştır (Özşahin, 2016). Erozyon risk sınıflarının toprak kaybı miktarı ise zamansal ve mekânsal değişimi daha rahat bir şekilde belirlemek ve karşılaştırmak için erozyon risk haritalarının istatistiksel olarak minimum, ortalama ve maksimum değerlerine göre belirlenmiştir.

Bu çalışma için arazi çalışması selin yaşandığı dönemde yapılamamıştır. Çünkü ilgili dönemde ve hemen sonrasında arama-kurtarma çalışmaları devam ettiğinden dolayı selin etki alanına girişler ve fotoğraf çekimleri yetkili makamlar tarafından kısıtlanmıştır. Ancak olay yeri soruşturması bittikten sonra selin etki alanına gidilip, gözlem ve görüşme yapılmıştır. Bu esnada sel kaynaklı toprak erozyonuyla gelip biriken sedimentin yayılış alanı ve kalınlığı ölçülmeye çalışılmıştır (Şekil 7). Böylece sel kaynaklı toprak erozyonunun etkileri olay yerinde değerlendirilmiştir. Çalışmanın tematik haritalarının hazırlanması ve erozyon analizinin yapılması ArcGIS Pro (Versiyon 3.0.1) isimli CBS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

Toprak erozyonu yağış-akım özelliklerinden etkilense bile erozyon oranının yüzeysel akışa daha duyarlı olduğu ortaya konulmuştur (Kayet vd., 2018). Bilhassa sel kaynaklı toprak erozyonunun akım, maksimum akım, topoğrafya, toprak ve AKAÖ özellikleri gibi faktörlerin karmaşık etkileşiminden kaynaklandığı açıklanmıştır (Islam vd., 2024; Stefanović vd., 2024). MUSLE erozyon modelinin ise bu karmaşık etkileşimin hızlı ve doğru bir şekilde çözümü için en uygun yöntem olduğu bildirilmiştir (Djoukbalı vd., 2019; Kaffas vd., 2022).



Şekil 7: İnceleme alanında 5.9.2023 tarihinde meydana gelen katastrofik selin etkisinin en fazla hissedildiği Sisli Vadi mevkinde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. a) Sisli Vadi mevkinde Değirmen Deresi derinliği az olmasına karşın genişliği oldukça fazla olan bir yataktan akmaktadır. b) Sisli Vadi mevkinde selin etkisiyle gelen sedimentler tabakalanma göstermeksizin karışık olarak birikmiştir.

İnceleme alanı için MUSLE erozyon modeli, ArcGIS toprak erozyon aracı yardımıyla uygulanmıştır. Bu araç akarsu havzasının tamamını daha iyi karakterize etmesi ve veri yetersizliğinden kaynaklanan eksikliği telafi edebilmesi için toprak erozyon modelinde değerlendirilen bazı parametrelerin (Q , q_p , K , C , P) ortalama değerlerine göre çalışmaktadır. Sadece LS faktörü SYM kullanılarak ilgili yazılım aracılığıyla otomatik hesaplanmaktadır (ArcGIS, 2020). Böylece farklı koşullara sahip farklı coğrafi alanlarda ve yetersiz verilerle istatistiksel açıdan daha anlamlı sonuçlar elde edilebilmektedir (Ahmari vd., 2022).

İnceleme alanında MUSLE erozyon model faktörlerinin ortalama değeri bakımından akım (Q) ve maksimum akım (q_p) saatlik, günlük ve yıllık olarak değişirken, K faktörü $0,12 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, C faktörü $0,007$ ve P faktörü 1 olarak hesaplanmıştır. LS faktörü ve erozyon haritaları ise toprak erozyon aracıyla otomatik olarak üretilmiştir. Dolayısıyla bütün bu verilere göre inceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

İnceleme alanında yıllık yağış ve akım ilişkisi bakımından toprak erozyonu ortalama $0,009 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ve maksimum $1757 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Buna göre inceleme alanındaki sediment verimi ise birim alanda $130,11 \text{ M t/km}^2/\text{y}$ ve toplamda ise $7960,07 \text{ M t/y}$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). Panagos vd. (2015b) Avrupa için toplam yıllık toprak kaybını 970 M t/y olarak tespit etmişlerdir. Bu bakımdan inceleme alanındaki toplam yıllık toprak kaybı Avrupa için tahmin edilen değerden daha fazladır.

Tablo 4: İnceleme alanında toprak erozyonunu etkileyen parametrelerin özellikleri ve yıllık değerler

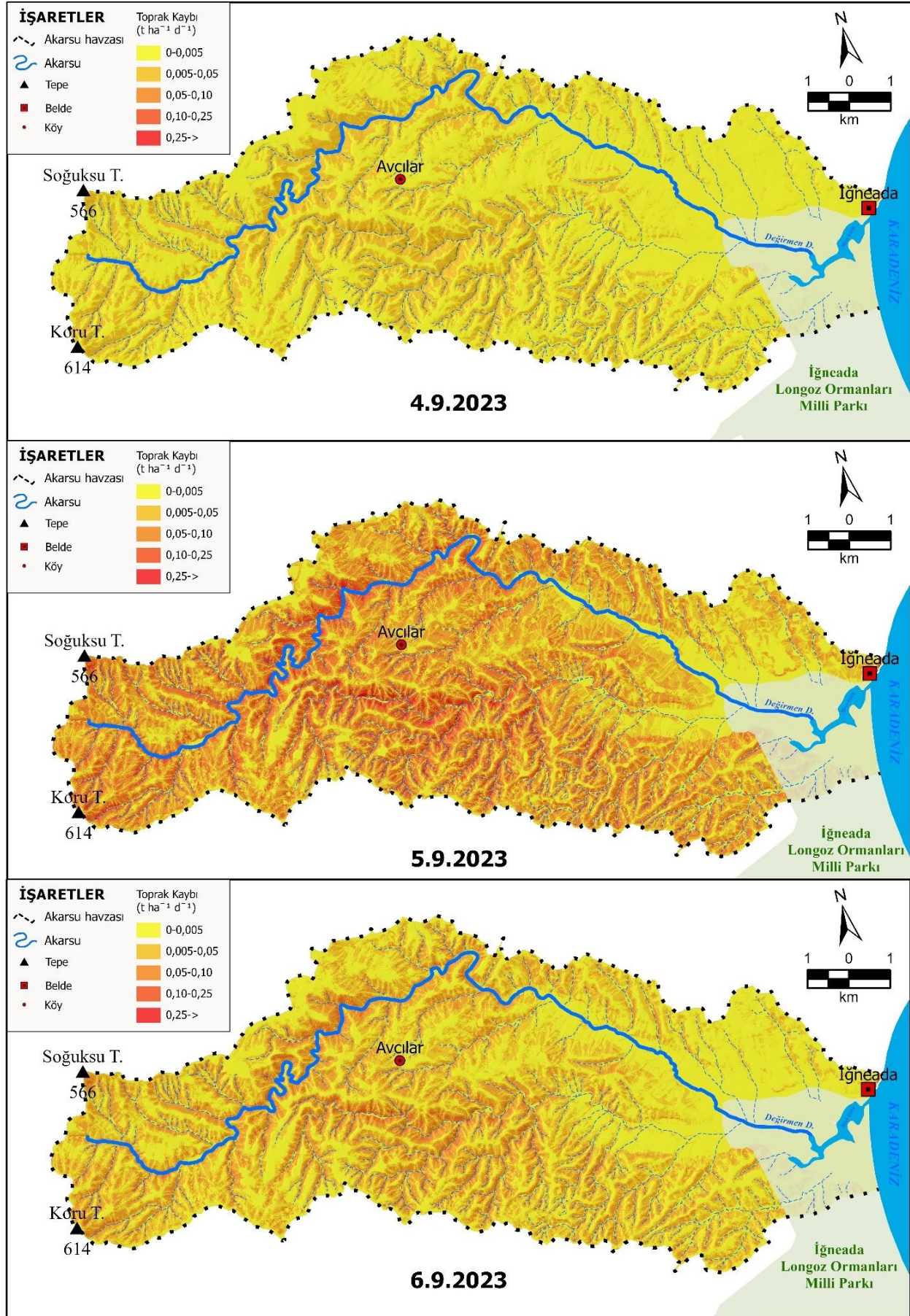
Parametre	Parametre özellikleri	Yıllık değerler
Yağış	P (mm)	812,40
Akım	Q (m^3/sn)	2,9
Toprak Kaybı	Ortalama ($\text{t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)	0,009
	Maksimum ($\text{t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)	1757
Sediment Verimi	Birim alan ($\text{M. t/km}^2/\text{y}$)	130,11
	Toplam (M. t/y)	7960,07

İnceleme alanında sel, hidroklimatik özellikleri bakımından üç günlük bir zaman diliminde (4-6.9.2023) gerçekleşmiştir. En büyük etkisini ise kısa süreli ve yüksek yoğunluklu sağanak karakterli yağışların arttığı ikinci gün (5.9.2023) göstermiştir (Tablo 5). Gerçekten de ilgili günde düşen yağış, inceleme alanındaki yıllık toplam yağış miktarının %17,26'sına karşılık gelmektedir. Ayrıca selin meydana geldiği tarihin öncesindeki ve sonrasındaki günler dikkate alındığında üç gün içerisinde inceleme alanında yıllık toplam yağış miktarının %26,79'unun düştüğü anlaşılmaktadır (Tablo 5).

Tablo 5: İnceleme alanında selin meydana geldiği dönemde günlük yağış (P) ve akım (Q) miktarları ile ortalama ve maksimum toprak kaybı

Tarih	Yağış	Akım	Toprak Kaybı	
	P	Q	Ortalama	Maksimum
	mm		$\text{t ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$	
4.9.2023	25,50	17,37	0,004	0,800
5.9.2023	140,22	130,26	0,032	6,437
6.9.2023	51,89	42,70	0,009	1,974
Toplam	217,61	190,33	0,045	9,211

İnceleme alanında selin meydana geldiği tarihin öncesindeki ve sonrasındaki günlerde ortalama yıllık miktarından az veya aynı düzeyde toprak kaybı gerçekleşmiştir (Tablo 5; Şekil 8). Ancak selin meydana geldiği gün, ortalama yıllık miktarın 3,5 katından daha fazla toprak kaybının olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Kaffas vd. (2022) sel kaynaklı toprak erozyon oranının daha yüksek olmasının yağış/akım ile toprak erozyonu arasındaki orantısal ilişkiyle ilgili olduğunu kaydetmişlerdir. Dolayısıyla hem daha önce yapılmış çalışmaların hem de bu çalışmanın sonuçlarına göre sel ve toprak erozyonun şiddeti arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu anlaşılmıştır.

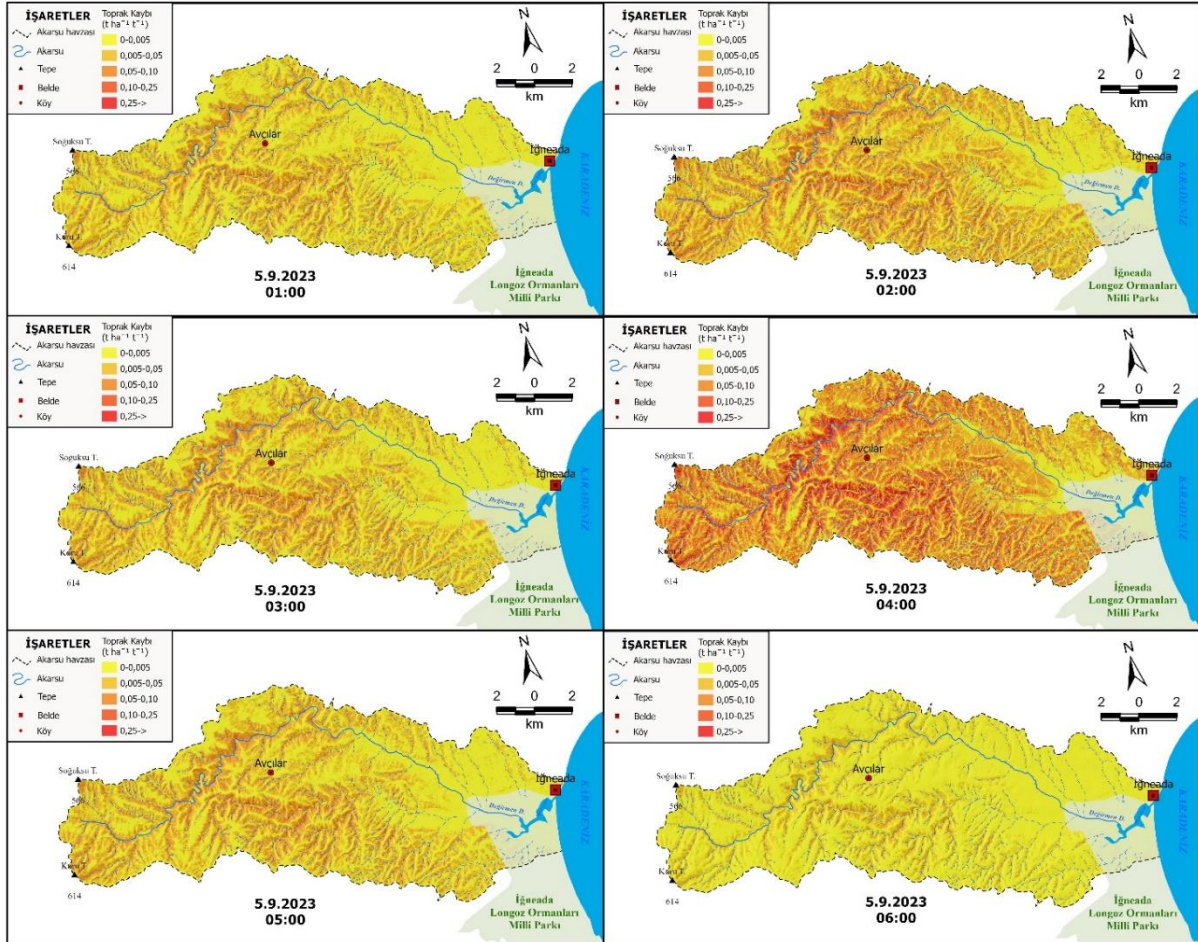


Şekil 8: İnceleme alanında selin meydana geldiği dönemdeki günlük erozyon haritaları

İnceleme alanındaki sel, 5.9.2023 tarihinde 01:00-14:00 saatleri arasında etkili olan sağanak karakterli yağışlarla meydana gelmiştir. Ancak selin oluşumunda asıl belirleyici olan yağış ise 01:00-06:00 saatleri arasındaki 6 saatlik zamanda gerçekleşmiştir (Tablo 6). İlgili saat aralığında en fazla yağış saat 04:00'da kaydedilmesine rağmen (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023) inceleme alanında sel gecikme süresine bağlı olarak daha geç etki göstermiştir. Bu durum havza uzunluğu ve şekline bağlı olarak gelişen akım toplanma zamanından kaynaklanmış olmalıdır. Nitekim olay yeri görgü tanıklarının ifadesinden de selin ilgili tarihte saat 07:00 sularında meydana geldiği anlaşılmıştır (Duman, 2024; F. Ateş, kişisel iletişim, 2024). Dolayısıyla inceleme alanında selin oluşumunu tetikleyen 6 saatlik yağış, öncelikle sel oluşumuna, ardında da akarsu akımlarının artmasına ve buna bağlı olarak su baskınlarına ve toprak erozyonuna sebep olmuştur (Şekil 9). Ayrıca selin oluşmaya başladığı saatlerde inceleme alanındaki sediment veriminin de yağış ve akım ilişkisine bağlı olarak saatlik değişiklik gösterdiği saptanmıştır (Tablo 6). Bannari vd. (2017) yağış ve akım ilişkisine bağlı olarak ortaya çıkan sellerin toprak erozyonuna güçlü bir şekilde katkıda bulunarak sediment verimini etkilediğini ileri sürmüşlerdir.

Tablo 6: İnceleme alanında selin meydana geldiği tarihteki (5.9.2023) saatlik yağış (P) ve akım (Q) ile toprak kaybı ve sediment verimi miktarları

Saat	Yağış	Akım	Toprak Kaybı		Sediment Verimi	
	P mm	Q	Ortalama	Maksimum	Birim alan M. t/km ² /t	Toplam M. t/t
01:00	10,3	4,23	0,006	1,283	210,98	12908,28
02:00	17,3	9,96	0,014	2,812	312,85	19140,41
03:00	12,78	6,16	0,009	1,799	250,81	15344,72
04:00	44,67	35,66	0,049	9,765	562,52	34415,6
05:00	12,03	5,56	0,008	1,645	239,26	14638,15
06:00	5,79	1,28	0,002	0,479	121,74	7448,49



Şekil 9: İnceleme alanında selin meydana geldiği gündeki saatlik erozyon haritaları

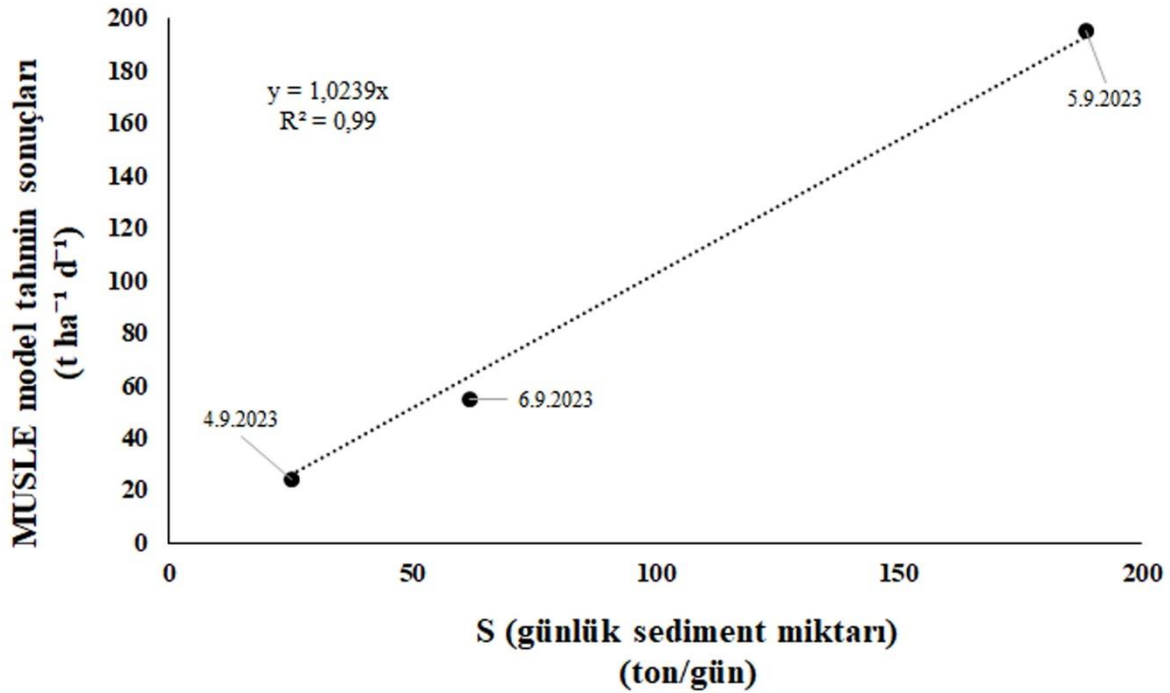
İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun etkisi, selin meydana geldiği 6 saatlik zaman aralığında belirgin bir şekilde değişmiştir (Şekil 9). Bu değişim genellikle yıllık toprak kaybı miktarını aşmıştır (Tablo 4, 5, 6). En yüksek toprak kaybı ise saat 04:00'da gerçekleşmiştir (Tablo 6; Şekil 9). Hatta ilgili saatte meydana gelen toprak kaybının hem aynı gün (5.9.2023) hem de yıllık ortalama toprak kaybindan daha fazla olduğu anlaşılmıştır (Tablo 4, 5). Dolayısıyla inceleme alanında yağış ve akım ilişkisine bağlı olarak şiddetli sağanak yağışın olduğu dönemde toprak erozyonunun etkisini daha da arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durum özellikle yüzeysel akışın artmasına bağlı olarak akım hacmi ve maksimum akımın artmasıyla alakalı olmalıdır (Özşahin, 2023a).

İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun etkisiyle gerek günlük gerekse saatlik toprak kaybı miktarlarının maksimum değerlerinin ortalama değerlere kıyasla oldukça yüksek olduğu saptanmıştır (Tablo 5, 6). Ortalama ve maksimum toprak kaybı miktarları arasındaki bu farklılık, muhtemelen MUSLE yöntemiyle ilgili olmalıdır. Zira MUSLE erozyon modelinin akım hacmi ve maksimum akım faktörlerinden dolayı maksimum düzeyde daha yüksek sonuçlar gösterdiği düşünülmektedir (Djoukbala vd., 2019; Pakoksung, 2024).

İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun meydana geldiği dönemdeki günlük sediment miktarları, model tahmin sonuçlarıyla kıyaslanarak kontrol edilmiştir. Bu karşılaştırmaya göre inceleme alanında selin gerçekleştiği tarihteki günlük sediment miktarı 188,43 ton/gün ve MUSLE model tahmin sonucu ise 195,78 ton/gün olarak hesaplanmıştır (Tablo 7). Bu sonuçların R^2 değeri ise 0,99 olarak tespit edilmiştir (Şekil 10). Hem karşılaştırma sonuçlarının hem de doğruluk oranı karar verme katsayısı (R^2) değerinin pozitif olması ve 1'e çok yaklaşması model sonucunun tahmin yeteneğinin çok güçlü olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla bu bulgu, benzer sahalarda MUSLE model tahmin sonuçlarının sel kaynaklı toprak erozyonunun hesaplanmasında kullanılabileceğini göstermiştir.

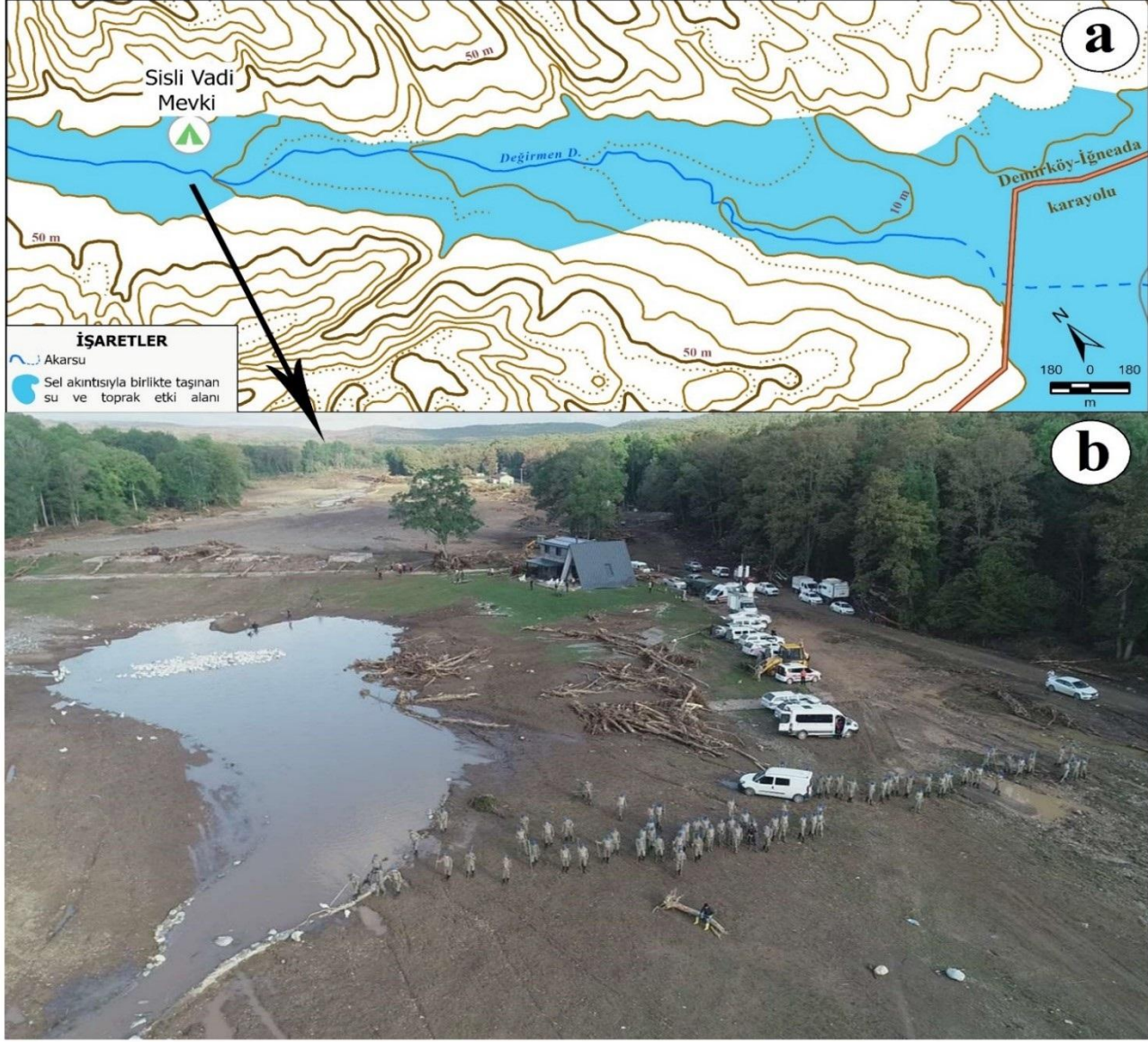
Tablo 7: İnceleme alanında selin meydana geldiği dönemdeki günlük sediment miktarı (S) ve MUSLE model tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Tarih	Yağış	Akım	Toprak Kaybı	
	P	Q	S	MUSLE
	mm		ton/gün	
4.9.2023	25,50	17,37	24,60	24,47
5.9.2023	140,22	130,26	184,48	195,78
6.9.2023	51,89	42,70	60,47	55,06



Şekil 10: İnceleme alanında selin meydana geldiği dönemdeki günlük sediment miktarı (S) ve MUSLE model tahmin sonuçlarının karşılaştırılmasına ait regresyon grafiği

İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonu daha çok eğim ve yağış artışının belirgin olduğu üst havzadaki vadilerde, etkisi ise eğimin azaldığı buna karşın akarsuda biriktirmenin arttığı alt havzadaki vadi tabanına yakın alanlarda izlenmektedir (Şekil 11). Zira inceleme alanında 5.9.2023 tarihindeki sağanak yağışlar neticesinde meydana gelen selin etkisiyle akarsuyun alt havzasında can ve mal kaybına sebep olan su baskınlarının yanında ciddi miktarda tortu ve enkaz birikimi gerçekleşmiştir. Sel akıntısıyla birlikte taşınan su ve toprak, akarsu vadisinde eğimin azaldığı ve biriktirmenin arttığı alt havzadaki vadi tabanına yakın alanlarda özellikle Sisli Vadi mevkinde ağır bir çamur birikimine yol açmıştır (Şekil 12). Ayrıca Sisli Vadi mevkinde akarsu kanalına yakın ve eğimin tam düzlük (% 0-1) olduğu yerlerde yaklaşık 50 cm kalınlığında bir sediment birikimin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 11: (a) İnceleme alanındaki Sisli Vadi mevkinde sel akıntısıyla birlikte taşınan su ve toprak etki alanı haritası, (b) inceleme alanında selin meydana geldiği günde sel akıntısıyla birlikte taşınan su ve toprak Sisli Vadi mevkinde ağır bir çamur birikimine yol açmıştır.

4. Tartışma

Son yarım asırda tüm jeofizik afetlerin %44'ünü oluşturan (World Meteorological Organization, 2020) ve tehlike kaynaklı küresel ekonomik kayıpların %31'ine karşılık gelen (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015) sel olayları, yakın geçmişte daha sık bir hale gelmiştir (CRED, 2023). Bu sebeple sel kaynaklı toprak erozyon riskinin her geçen gün daha fazla artacağı tahmin edilmektedir (Kiptum vd., 2024). Bilhassa proaktif afet yönetimi için sel kaynaklı toprak erozyonunun konumunun ve şiddetinin belirlenmesine yönelik yöntemler acil bir ihtiyaç haline gelmiştir (Kaffas vd., 2022).

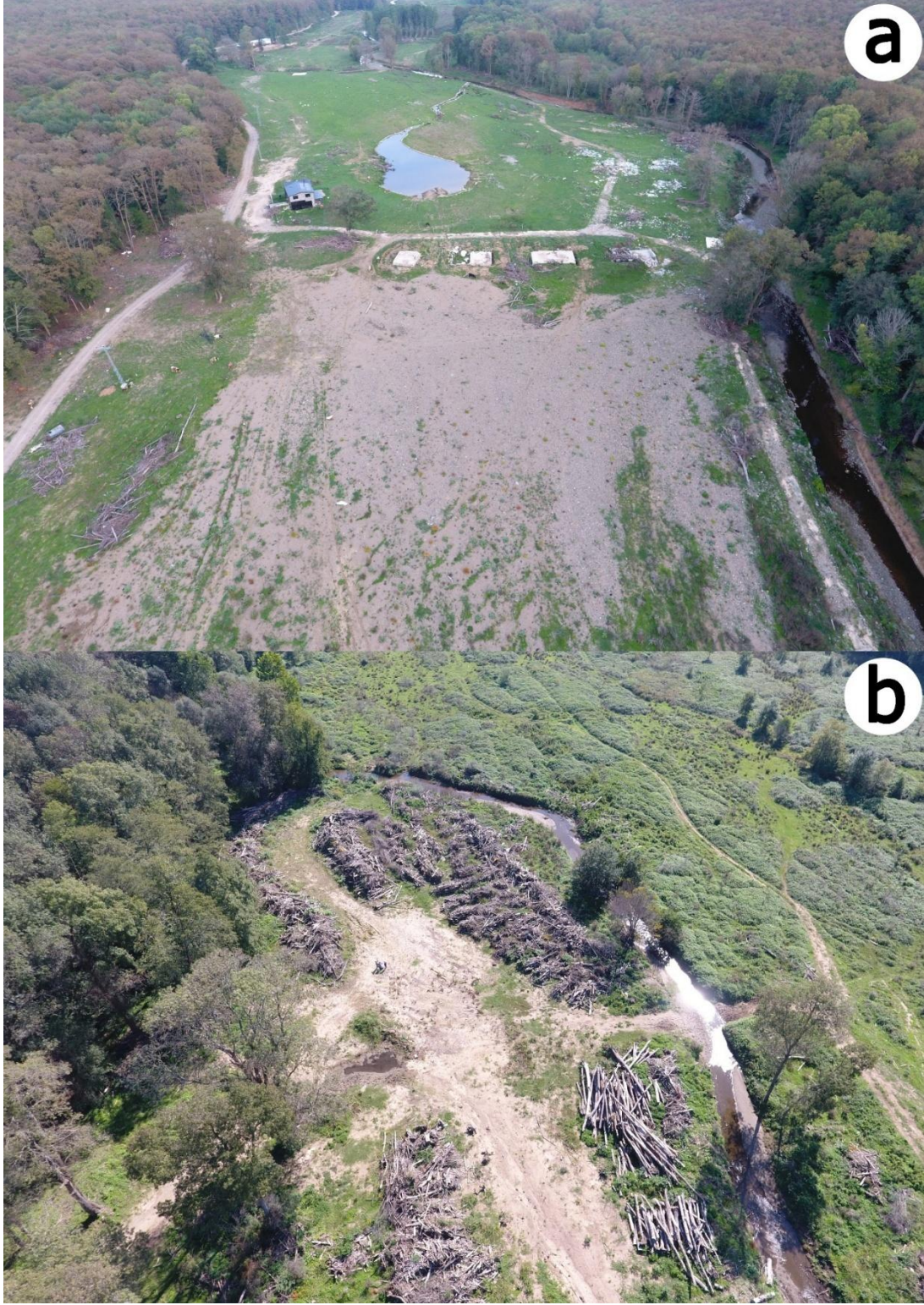
İnceleme alanının bulunduğu bölgede özellikle iklim değişikliğinin etkisiyle sağanak yağışlara bağlı olarak gerçekleşen sel olaylarının da artması beklenmektedir (Çağlar vd., 2019; Eroğlu, 2022; 2024). Bu tür sel olaylarının gerçekleştiği akarsu havzalarında ise yüzeysel akışa bağlı toprak erozyonunun daha fazla şiddetleneceği öngörülmektedir (Özşahin, 2023a; 2023b). Böylece gelecek iklim değişikliğinin etkisiyle inceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun artacağı aşikardır. Dolayısıyla inceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonuna karşı hassasiyeti yüksek sahaların belirlenmesi, akarsu havzasındaki faaliyetlerin daha güvenli alanlara doğru yönlendirilmesi bakımından önemlidir. Ayrıca bu tür yer belirleme çalışmaları iklim değişikliğinin etkisiyle gelecekte yaşanabilecek su baskını risklerinden korunmak için de gereklidir (Othman vd., 2023).

Sel kaynaklı toprak erozyonu, yoğun yağış-akım olaylarının ardından meydana gelen ve doğal kaynakları bozan veya onlara zarar veren küresel bir sorundur (Bauer vd., 2019). Bu problemin çevresel, sosyal ve ekonomik sonuçlarının hafifletilmesi için mekânsal dağılımın yanı sıra bu olguyla ilişkili niceliksel ve niteliksel risklerin de derinlemesine araştırılması gerekmektedir (Oudchaira vd., 2024). Ayrıca sel kaynaklı toprak erozyonunun etkilerinin büyük ölçüde zamana ve mekana özgü faktörlere bağlı olduğu düşünüldüğünde, bu problemin akarsu havzaları ölçeğinde belirlenmesi ve değerlendirilmesi daha önemli bir hale gelmiştir (Phillips, 2002). Coğrafi verilerin ulaşılabilirliği ve son teknolojik gelişmeler de göz önüne alındığında, model bazlı toprak erozyon çalışmalarının sayısı artmıştır (Alexiou vd., 2023). Yağış ve akım ilişkisine bağlı olarak bu kapsamda en yaygın şekilde kullanılan toprak erozyon modeli, MUSLE yöntemidir. Genellikle tatmin edici ve istatistiksel olarak sağlam verilerin üretildiği bu yöntem (Djoukbalı vd., 2019), yakın zamanda CBS temelli ArcGIS toprak erozyon aracı ile denenmiştir (Özşahin, 2023a; 2023b). Bu çalışmada da MUSLE yöntemi aynı erozyon aracı kullanılarak uygulanmıştır. Zira MUSLE modelinin Akdeniz havzalarındaki toprak kaybını tahmin etmede iyi bir performans gösterdiğini bildirmiştir (Alewell vd., 2019). Ayrıca MUSLE kısa vadeli ve yüksek yoğunluklu akışların sebep olduğu sel kaynaklı toprak erozyonunun belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Demir vd., 2024). Dolayısıyla bu çalışmanın MUSLE model sonuçları literatürdeki çeşitli olay bazlı uygulama sonuçlarıyla da paralellik göstermektedir (Adegede & Mbajorgu, 2019; Bertenı vd., 2021).

Akarsu havzalarındaki yanlış arazi yönetimi uygulamaları üst havzada yüzey suyu akışına ve sellerin artmasına katkıda bulunduğu gibi alt havzada da toprak erozyonu ve su baskınları ile oluşan zararları artırmaktadır (Opere, 2013). 5.9.2023 tarihinde inceleme alanında aniden gelişen sağanak yağışlar akarsuyun üst havzasının topografik özelliklerine bağlı olarak yamaç arazilerde yüksek enerjili su akımlarıyla karakterize edilen selin oluşmasına sebep olmuştur. Debisi çok düzensiz bir şekilde değişen güçlü sel suları, akarsuyun alt havzasında konumlanan Sisli Vadi mevkinde sel kaynaklı toprak erozyonunun ve su baskınlarının yaşanmasını tetiklemiştir (Kırklareli Valiliği, 2023). Ancak bu olay, özellikle insanın doğal ortam üzerindeki olumsuz etkilerinin yol açtığı yanlış arazi kullanımıyla alt havzada insanlara ve insan yapısı eserlere zarar vermiştir. İnceleme alanında 2017-2022 yılları arasında antropojenik etkilerin sebep olduğu yanlış arazi kullanımına yol açan değişimler yaşanmıştır. Bu değişimler neticesinde mera ve otlak alanları tarım ve yerleşim alanına dönüşmüştür. Akarsuyun taşkın ovasında ve bazı alanlarda kıyı kanununa aykırı bir şekilde gerçekleşen bu değişim ve dönüşümler, selin yıkıcı etkisini artırırken, sel kaynaklı toprak erozyonunun da güçlenmesine sebep olmuştur (Özşahin ve Öztürk, 2024). Böylece inceleme alanında meydana gelen sel kaynaklı toprak erozyonunun etkisiyle akarsuyun alt havzasındaki vadi tabanı, kalın bir sediment örtüsüyle kaplanmıştır. Bannari vd. (2016) akarsuların üst havzalarındaki dik eğimli alanlarda ve vadilerde yüksek akıma bağlı olarak sel kaynaklı toprak erozyon oranının daha fazla olduğunu ve erozyon malzemesinin su gücü ve yerçekimi yoluyla havzada eğimin azaldığı alt kısımlara doğru taşındığını savunmuşlardır.

İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonu daha çok eğim ve yağış artışının belirgin olduğu üst havzadaki vadilerde etkili olmuştur. Sel sularıyla gelen malzemeler ise eğimin azaldığı buna karşın akarsuda biriktirmenin arttığı alt havzadaki vadi tabanına yakın alanlarda birikmiştir. Ancak bu birikim güçlü ve kontrolsüz bir şekilde gelen sel suları vasıtasıyla meydana geldiği için sadece sedimentlerden değil çok farklı organik ve inorganik maddelerden oluşmaktadır. Yoğun yağış olayları sırasında selin etkisini şiddetlendiren ve afet riskini artıran bu maddeler, çöp erozyonu (litter erosion) olarak isimlendirilmiştir (Farahnak vd., 2024). Sel olaylarının tetiklediği toprak ve çöp erozyonu, akarsu yataklarında eğimin azaldığı kesimlerde su baskınlarına da yol açmaktadır. Gerçekten de inceleme alanında selin yaşandığı 5.9.2023 tarihinde meydana gelen su baskının ortaya çıkmasında sel sularıyla akarsuya karışıp akışı engelleyen toprak ve çöp erozyonunun etkisi büyük olmuştur (Şekil 13).

İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun şiddetinin artması, sağanak karakterli yağış ve akım arasındaki ilişki tarafından belirlenmiştir. Zira inceleme alanında yağış ve buna bağlı olarak akımın arttığı zamanlarda toprak erozyonunun miktarı da artmıştır. MUSLE model tahmin sonucuna göre inceleme alanındaki selin yaşandığı 5.9.2023 tarihinde toprak kaybının ortalama günlük hızı $0,032 \text{ t ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Buna göre günlük sediment miktarı ise $195,78 \text{ ton/gün}$ olarak belirlenmiştir. İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun etkisini daha iyi bir şekilde anlamak için hem Trakya Yarımadasının (İkiel vd., 2020) hem de Türkiye'nin (Erpul vd., 2018) ortalama yıllık toprak kaybı miktarları günlük olarak tekrar hesaplanmıştır. Sonuçta inceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonuna bağlı bir şekilde günlük gerçekleşen ortalama toprak kaybının Trakya Yarımadası ($0,013 \text{ t ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) ve Türkiye ($0,005 \text{ t ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) için hesaplanan günlük ortalama toprak kaybından daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla sel kaynaklı toprak erozyonuna bağlı bir şekilde günlük gerçekleşen ortalama toprak kaybının Trakya Yarımadası ve Türkiye için belirlenmiş günlük ortalama toprak kaybının çok üzerinde olması, ekstrem olayların toprak erozyonuna etkisini göstermesi bakımından oldukça önemlidir.



Şekil 12: (a) İnceleme alanındaki Sisli Vadi mevkinde sel kaynaklı toprak erozyonunun etkisiyle biriktirilen sedimentler, (b) İnceleme alanındaki toprak ve çöp erozyonu sebebiyle farklı organik ve inorganik maddeler birikmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışma, Türkiye'nin Trakya Yarımadasındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun anlaşılmasına ilişkin ilk değerlendirmeye karşılık gelmektedir. İnceleme alanındaki toprak kaybı miktarının selin meydana geldiği tarihlerde belirgin bir şekilde değiştiği tespit edilmiştir. Hem ortalama hem de maksimum toprak kaybı miktarı olarak en yüksek değerine ise 5.9.2023 tarihinde ulaşmıştır.

Buna göre ilgili tarihte sırasıyla $0,032 \text{ t ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ve $6,437 \text{ t ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ toprak kaybı yaşanmıştır. Aynı tarihteki günlük sediment miktarının da MUSLE model tahmin sonucuna göre $195,78 \text{ ton/gün}$ şeklinde olduğu hesaplanmıştır. İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun daha çok eğim ve yağış artışının belirgin olduğu üst havzadaki vadilerde, etkisinin de akarsularda biriktirmenin arttığı alt havzadaki vadi tabanına yakın alanlarda olduğu anlaşılmıştır.

İnceleme alanındaki sel kaynaklı toprak erozyonunun etkisi özellikle proaktif bir yaklaşımla çözümlenmelidir. Bunun için ana akarsu kolu üzerinde belirli aralıklarla sel tırmığı kurulmalıdır. Böylece yukarı havzadan gelebilecek toprak ve çöp erozyonunun tuzaklanıp mansaptaki ulaşım ağları, hidrolik yapılar ve diğer teknik altyapılarda yapabileceği hasar engellenebilir. Erozyonun şiddetli olduğu akarsu kolları üzerinde dinlendirme havuzları yapılmalıdır. Bununla birlikte akarsu vadisinde eğimin tam düzlük olduğu alanlar sel sonrasında su basması ve sediment birikimine karşı uygun bir kullanım şekliyle değerlendirilmelidir. Ayrıca inceleme alanındaki ana akarsu kolu üzerinde sediment ölçümünün yapılmasına yönelik çalışmalar başlatılmalıdır.

Çalışma sonuçları sel kaynaklı toprak erozyonunun yaşanmış olay ölçeğinde modellenmesinin önemini vurgulamaktadır. Zira yaşanmış bir olaya dayalı toprak erozyonu modellemesi hem ölçüm hem de tahmin verileriyle dayandığı için daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Çalışma sonuçları sel kaynaklı toprak erozyonunun MUSLE modeliyle başarılı bir şekilde tespit edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca bu sonuçlar paydaşlar ve politika yapıcılar tarafından erozyona yakın alanların belirlenmesi ve toprağın korunmasına yönelik eylemler hakkında bilgi sağlanması amacıyla da kullanılabilir.

Kaynaklar

- Abu El-Magd, S. A., Orabi, H. O., Ali, S. A., Parvin, F., & Pham, Q. B. (2021). An integrated approach for evaluating the flash flood risk and potential erosion using the hydrologic indices and morpho-tectonic parameters. *Environmental Earth Sciences*, 80, Article 694. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-10013-0>
- Adegede, A. P., & Mbajorgu, C. C. (2019). Event-based sediment yield modeling for small watersheds using MUSLE in north-central Nigeria. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 21(2), 7–17.
- Ahmari, H., Pebworth, M., Baharvand, S., Kandel, S., & Yu, X. (2022). Development of an ArcGIS-Pro Toolkit for assessing the effects of bridge construction on overland soil erosion. *Land*, 11, Article 1586. <https://doi.org/10.3390/land11091586>
- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges, and limitations of soil erosion modeling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 203–225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Alexiou, S., Efthimiou, N., Karamesouti, M., Papanikolaou, I., Psomiadis, E., & Charizopoulos, N. (2023). Measuring annual sedimentation through high-accuracy UAV-photogrammetry data and comparison with RUSLE and PESERA erosion models. *Remote Sensing*, 15, Article 1339. <https://doi.org/10.3390/rs15051339>
- ArcGIS. (2020, 22 Eylül). *Soil Erosion Tool*. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d9cf2bdc64e47d39df8410cb6814d20>
- Aronica, G., Brigandì, G., & Morey, N. (2012). Flash floods and debris flow in the city area of Messina, north-east part of Sicily, Italy in October 2009: The case of the Giampilieri catchment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(5), 1295–1309.
- Bannari, A., Kadhem, G., El-Battay, A., Hameid, N., & Rouai, M. (2016). Assessment of land erosion and sediment accumulation caused by runoff after a flash-flooding storm using topographic profiles and spectral indices. *Advances in Remote Sensing*, 5, 315–354. <https://doi.org/10.4236/ars.2016.54024>
- Bannari, A., Ghadeer, A., El-Battay, A., Hameed, N. A., & Rouai, M. (2017). Detection of areas associated with flash floods and erosion caused by rainfall storm using topographic attributes, hydrologic indices, and GIS. In S. Pirasteh & J. Li (Eds.), *Global changes and natural disaster management: Geo-information technologies* (pp. 201–213). Springer.
- Bauer, M., Dostal, T., Krasa, J., Jachymova, B., David, V., Devaty, J., Strouhal, L., & Rosendorf, P. (2019). Risk to residents, infrastructure, and water bodies from flash floods and sediment transport. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, Article 85. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7216-7>
- Berteni, F., Dada, A., & Grossi, G. (2021). Application of the MUSLE model and potential effects of climate change in a small alpine catchment in northern Italy. *Water*, 13(19), Article 2679. <https://doi.org/10.3390/w13192679>
- Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., & Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 518(PB), 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022>
- Conversion of Measurement Units. (2024). *Convert m³/s to acre foot/day*. 24 Mayıs 2024'te <https://www.convertunits.com/from/m%5E3/s/to/acre+foot/day> adresinden alındı.
- CRED. (2023). *Centre for research on the epidemiology of disasters*. <https://www.cred.be>
- Çağlar, F., Hanedar, A., Yıldırım, I., Görgün, E., Özdemir, A. D., Altürk, B., & Albut, S. (2019). TR21 Bölgesi'nde ekstrem iklim olaylarının mevcut durumu ve gelecek projeksiyonları. In F. Konukçu, S. Albut, & B. Altürk (Eds.), *TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri* (pp. 23–45). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi.
- Demir, S., Şimşek, H., & Kaya, Y. (2024). Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and MUSLE in Yozgat-Kadılı Village. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(10), 1684–1695.
- Dendy, F. E., & Bolton, G. C. (1976). Sediment yield-runoff drainage area relationships in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31, 264–266.
- Djoukbal, O., Hasbaia, M., Benselama, O., & Mazour, M. (2019). Comparison of the erosion prediction models from USLE, MUSLE and RUSLE in a Mediterranean watershed, case of Wadi Gazouana (N-W of Algeria). *Modeling Earth Systems and Environment*, 5, 725–743. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0562-6>
- Doğan, O., Cebel, H., Akgül, S., & Küçükçakar, N. (2000). *Türkiye büyük toprak grupları (K) faktörleri*. Köy Hizmetleri APK Dairesi Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü.
- Dönmez, Y. (1990). *Trakya bitki coğrafyası*. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Basımevi.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2015). *Akım gözlem yıllıkları*. <https://dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/744>

- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2023). *Kırklareli-Demirköy-Değirmen Dere ve Bulanık Dere taşkın tespiti ve hesabı (05-06/Eylül/2023)*. Devlet Su İşleri 11. Bölge Müdürlüğü, Edirne.
- Duman, H. (2024, 8 Mart). *Kırklareli’de doktor ve eşinin öldüğü sel felaketi: İlk duruşma görüldü*. <https://medimagazin.com.tr/hekim/kirkclareli-de-doktor-ve-esinin-oldugu-sel-felaketi-ilk-durusma-goruldu-110349>
- Edwards, K. (2024). *Rational equation calculator*. <https://www.lmnoeng.com/Hydrology/rational.php>
- Ege, İ. (2022). *İğneada Longoz Ormanlarını besleyen derelerin uygulamalı hidroğrafyası ve sürdürülebilirliği* [Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Eroğlu, İ. (2022). Trakya Yarımadası’nda ortalama hava sıcaklıklarının trend analizi. *International Social Sciences Studies Journal*, 8(102), 3121–3144. <http://dx.doi.org/10.29228/sss.64624>
- Eroğlu, İ. (2024). Trend analysis of precipitation in the Thrace Peninsula. *Coğrafya Dergisi*, 47, 165–182.
- Erpul, G. (2011). *Sediment modelinin geliştirilmesi ile Türkiye havzalarının erozyon risk haritalarının oluşturulması*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü.
- Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, M. A., Demirtaş, İ., & Çetin, E. (2018). *Türkiye Su Erozyonu Atlası*. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları.
- ESRI. (2023). *Sentinel-2 10m land use/land cover timeseries downloader (2017–2023)*. <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=-77.08371%2C26.38100%2C11&mode=step&timeExtent=2017%2C2023&year=2023>
- Farahnak, M., Sato, T., Tanaka, N., Nainar, A., Mohd Ghaus, I., & Kuraji, K. (2024). Impact of thinning and contour-felled logs on overland flow, soil erosion, and litter erosion in a monoculture Japanese Cypress forest plantation. *Water*, 16, Article 2874. <https://doi.org/10.3390/w16202874>
- García-Ruiz, J. M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., & Beguería, S. (2013). Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. *Geomorphology*, 198, 20–36. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023>
- Güresinli, Y. Z. (1978). Tortum Gölü su toplama havzasında sedimantasyon sorunu ve kontrolü üzerinde bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(2–3), 1–14.
- Harita Genel Müdürlüğü. (2023). 1:25.000 ölçekli topografya paftaları. Harita Genel Müdürlüğü. <https://www.harita.gov.tr/urun/125000-olcekli-raster-turkiye-topografik-harita/34>
- Islam, M. R., Imran, H. M., Islam, M. R., & Saha, G. S. (2024). A RUSLE-based comprehensive strategy to assess soil erosion in a riverine country, Bangladesh. *Environmental Earth Sciences*, 83, Article 162. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11455-y>
- İkiel, C., Ustaoglu, B., & Koç, D. E. (2020). Trakya Yarımadası’nda erozyon duyarlılık analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 4, 1–14. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jader/issue/53577/666287>
- JBA Risk Management. (2023, 4 Eylül). *Storm Daniel: September 2023*. <https://www.jbarisk.com/products-services/event-response/storm-daniel-september-2023/>
- Kaffas, K., Papaioannou, G., Varlas, G., Al Sayah, M. J., Papadopoulos, A., Dimitriou, E., Katsafados, P., & Righetti, M. (2022). Forecasting soil erosion and sediment yields during flash floods: The disastrous case of Mandra, Greece, 2017. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47(7), 1744–1760. <https://doi.org/10.1002/esp.5344>
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021, July 11–16). *Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning* [Symposium presentation]. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Brussels, Belgium.
- Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A., & Sahoo, S. (2018). Evaluation of soil loss estimation using the RUSLE model and SCS-CN method in hillslope mining areas. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(1), 31–42.
- Khemiri, K., & Jebbari, S. (2022). Identifying vulnerable lands using the duration-frequency of Mediterranean exceptional rainfall events in semiarid watersheds. In H. Chenchouni et al. (Eds.), *New Prospects in Environmental Geosciences and Hydrogeosciences* (pp. 433–446). Springer.
- Kırklareli Valiliği. (2023, 7 Eylül). *Geçmiş olsun Kırklareli*. <http://www.kirkclareli.gov.tr/gecmis-olsun-kirkclareli-20230907-1>
- Kiptum, A., Antonarakis, A. S., Todd, M. C., & Guigma, K. (2024). Characteristics, drivers, and predictability of flood events in the Tana River Basin, Kenya. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, Article 101748. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101748>
- Korkanç, S. Y., & Korkanç, M. (2006). Sel ve taşkınların insan hayatı üzerindeki etkileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8(9), 42–50. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/650468>
- Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. (1991). *Kırklareli ili arazi varlığı* (İl Rapor No:39). Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Kurter, A. (1978). Istranca (Yıldız) Dağlarının temel yapısal ve jeomorfolojik özellikleri (Yeni görüşlerin ışığında I). *Güneydoğu Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 6–7, 1–26.
- Kurter, A. (1982). Istranca (Yıldız) Dağlarının temel yapısal ve jeomorfolojik özellikleri (Yeni görüşlerin ışığında II). *Güneydoğu Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 10–11, 1–19.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). *Demirköy-İğneada meteoroloji istasyonlarının uzun yıllara ait tüm parametreler bülteni*. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023). *Demirköy (18102), Demirköy/Beğendik köyü (18795) ve Pınarhisar/Mahya Dağı (18797) meteoroloji istasyonları arası günlük ve saatlik yağış verileri*. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Millares, A., Chikh, H. A., Habi, M., Morsli, B., Galve, J. P., Pérez-Peña, J. V., & Martín-Rosales, W. (2020). Seasonal patterns of suspended sediment load and erosion-transport assessment in a Mediterranean basin. *Hydrological Sciences Journal*, 65(6), 969–983. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1724294>
- Miller, C. R. (1951). *Analysis of flow-duration. Sediment-rating curve method of computing sediment yield*. U.S. Bureau of Reclamation.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2002). *Edirne-Kırklareli 1/250.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ocak, F., & Bahadır, M. (2024). Evaluation of potential flood areas in the basin of Lake Ladik through AHP and GIS integration, (Samsun, Türkiye). *Journal of Geomorphological Researches*, 13, 71–93. <https://doi.org/10.46453/jader.1513212>
- Online Dendy-Bolton. (2024). *Calculation of sediment yield by the Dendy-Bolton formula*. <https://ion.sdsu.edu/onlinedendybolton.php>

- Opere, O. (2013). Chapter 21 - Floods in Kenya. In P. Paron, D. O. Olago, & C. T. Omuto (Eds.), *Kenya: A natural outlook: Geo-environmental resources and hazards* (pp. 315–330). Elsevier.
- Othman, A., El-Saoud, W. A., Habeebullah, T., Shaaban, F., & Abotalib, A. Z. (2023). Risk assessment of flash flood and soil erosion impacts on electrical infrastructures in overcrowded mountainous urban areas under climate change. *Reliability Engineering & System Safety*, 236, Article 109302. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109302>
- Oudchaira, S., Rhoujjati, A., Hanich, L., & El Hachimi, M. L. (2024). Evaluating soil loss and sediment yield for sustainable management of the Hassan II dam within Morocco's Upper Moulouya watershed using RUSLE model and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 83, Article 210. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11518-0>
- Özcan, E. (2006). Sel olayı ve Türkiye. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 26(1), 35–50.
- Özdemir, M. A., & Kaymak, H. (2022). 16 Haziran 2022 tarımsal arazilere zarar veren Ayazini (Afyonkarahisar) sel ve taşkını. *International Social Sciences Studies Journal*, 8(105), 4174–4188. <http://dx.doi.org/10.29228/sssj.66493>
- Özsoy, G. (2007). Uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) teknikleri kullanılarak erozyon riskinin belirlenmesi [Doktora tezi, Uludağ Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Ozsahin, E., Duru, U., & Eroglu, I. (2018). Land Use and Land Cover Changes (LULCC), a Key to Understand Soil Erosion Intensities in the Maritsa Basin. *Water*, 10(3), Article 335. <https://doi.org/10.3390/w10030335>
- Özşahin, E. (2016). Alakır Çayı Havzasında (Antalya) Toprak Kaybının Mekânsal Dağılışı ve Etkili Faktörler. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2), 123–134. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/178660>
- Özşahin, E. (2023a). Farklı erozyon tahmin modellerine göre akarsu sedimantasyon miktarının belirlenmesine bir örnek: Naip Barajı Havzası (Tekirdağ, Türkiye). *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 10, 1–19. <https://doi.org/10.46453/jader.1203890>
- Özşahin, E. (2023b). Climate change effect on soil erosion using different erosion models: A case study in the Naip Dam basin, Türkiye. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207, Article 107711. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107711>
- Özşahin, E., & Öztürk, M. (2024). An evaluation of the causes and consequences of the flash floods (5.9.2023) in the Degirmen River Basin in İğneada (Demirköy/Kırklareli). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 29(51), 61–77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12571618>
- Pakoksung, K. (2024). Assessment of soil loss from land cover changes in the Nan River Basin, Thailand. *GeoHazards*, 5(1), 1–21.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, C., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015a). Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use Policy*, 48C, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015b). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, 438–447.
- Phillips, J. D. (2002). Geomorphic impacts of flash flooding in a forested headwater basin. *Journal of Hydrology*, 269(3–4), 236–250.
- Polat, P., Kopar, İ., & Yalçın, F. (2023). Günebakan (Erzincan) seli örneği ile Esence Dağları'nın güney-güneybatı aklanında oluşan moloz yüklü eski ve yeni selleri denetleyen morфометrik faktörler. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 279–294.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., & Porter, J. P. (1991). Revised universal soil loss equation (RUSLE). *Journal Soil Water Conservation*, 46, 30–33.
- SCS Curve Number. (2024). *Free software tool*. https://zonums.com/online/hydrology/curve_number.php?id=9
- Stefanidis, S. P., Chatzichristaki, C. A., & Stefanidis, P. S. (2021). An ArcGIS toolbox for estimation and mapping soil erosion. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 22(2), 689–696.
- Stefanović, I., Ristić, R., Dragović, N., Stefanović, M., Živanović, N., & Čotrić, J. (2024). Effects of erosion control works: Case study – Reservoir Celije, Rasina River Basin, the Zapadna Morava River (Serbia). *Water*, 16(6), Article 855. <https://doi.org/10.3390/w16060855>
- Taylan, E. D., & Damçayırı, D. (2016). Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *Teknik Dergi*, 27(3), 7551–7559. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/284992>
- Thornes, J. B. (2002). The evolving context of Mediterranean desertification. In N. A. Geeson, C. J. Brandt, & J. B. Thornes (Eds.), *Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses* (pp. 5–11). John Wiley.
- Turoğlu, H. (1997). Istanca yöresi'nin Karadeniz akları: Coğrafi özellikler, sorunlar ve öneriler. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, 5, 283–333. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25054/264519>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015*. https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/GAR_2015/GAR_2015_73.html
- Víg, B., Fábán, S. A., Czirány, S., Pirkhoffer, E., Halmay, A., Kovács, I. P., Varga, G., Dezső, J., Nagy, G., & Lóczy, D. (2023). Morphometric analysis of low mountains for mapping flash flood susceptibility in headwaters. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1318911/v1>
- Williams, J. R. (1975). Sediment-yield prediction with universal soil loss equation using runoff energy factor. In *Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources* (pp. 244–252). Agricultural Research Service & U.S. Department of Agriculture.
- Williams, J. R., & Berndt, H. D. (1977). Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Transactions of the ASAE*, 20(6), 1100–1104. <https://doi.org/10.13031/2013.35710>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1965). *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: A guide for selection of practices for soil and water Conservation* (Agricultural Handbook, No. 282). U.S. Department of Agriculture.
- World Meteorological Organization. (2020). *2020 on track to be one of three warmest years on record*. World Meteorological Organization (WMO). <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2020-track-be-one-of-three-warmest-years-record>
- Zhang, J., Wang, J., Zhao, N., Shi, J., & Wang, Y. (2024). Analysis of changes in runoff and sediment load and their attribution in the Kuye River Basin of the Middle Yellow River based on the slope change ratio of cumulative quantity method. *Water*, 16(7), Article 944. <https://doi.org/10.3390/w16070944>