



ÇORUH NEHRİ HAVZASINA BAĞLI OLTU MİKROHAVZASINDA KANAL VE OYUNTU EROZYONUyla GERÇEKLEŞEN TOPRAK KAYBININ “EROZYON ÇUBUK YÖNTEMİYLE” BELİRLENMESİ

Mustafa TÜFEKÇİOĞLU^{1,*}, Cengizhan YILDIRIM¹, Ahmet DUMAN²

¹Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

²Ormanlık ve Orman Ürünleri Programı, Artvin Meslek Yüksekokulu, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

*Sorumlu Yazar: mtufekcioglu61@artvin.edu.tr

Mustafa TÜFEKÇİOĞLU: <https://orcid.org/0000-0002-3350-2897>

Cengizhan YILDIRIM: <https://orcid.org/0000-0003-1525-3265>

Ahmet DUMAN: <https://orcid.org/0000-0003-2712-2676>

Please cite this article as: Tüfekçioğlu, M., Yıldırım, C. & Duman, A. (2020) Çoruh nehri havzasına bağlı Oltu mikrohavzasında kanal ve oyuntu erozyonuyla gerçekleşen toprak kaybının “erozyon çubuk yöntemiyle” belirlenmesi, *Turkish Journal of Forest Science*, 4(2), 333-350.

ESER BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş 27 Temmuz 2020 / Received 27 July 2020

Düzeltilmelerin gelişi 24 Eylül 2020 / Received in revised form 24 September 2020

Kabul 25 Eylül 2020 / Accepted 25 September 2020

Yayımlanma 24 Ekim 2020 / Published online 24 October 2020

ÖZET: Toprağı en fazla aşındırıp taşıyan erozyon çeşidi su erozyonudur. Suyun eroziv etkisiyle oluşan oyuntu ve kanal/mecra erozyonları ise büyük miktardaki dere kenarı (şev) topraklarının erozyona maruz kalması ve taşınmasına neden olarak sel ve taşkın olaylarını tetiklemekte, bu da can ve mal kayıplarına yol açabildiği gibi baraj rezervuarlarındaki materyal/sediment birikimini hızlı bir şekilde artırarak barajların ekonomik ömrünü azaltmaktadır. Bu çalışma ile Çoruh Nehri Havzasının alt havzalarından Oltu Mikro Havzasında (OMH) rastgele seçilen 14 farklı deneme alanında, “erozyon çubuk yöntemi” kullanılarak beş yıllık süre boyunca kanal ve oyuntu erozyonu ölçülmüştür. Çalışmanın gerçekleştirildiği OMH’sı kurak ve yarı kurak iklim özelliğine sahip, %37’lik eğim derecesi ile engebeli bir yapıya sahiptir. Çalışma sonucunda, yıllık ortalama kanal ve oyuntu erozyon miktarlarının 1.25 ve 8.79 cm/yıl arasında değiştiği, tüm yılların ortalamasının ise 4.43 cm/yıl olduğu belirlenmiştir. Toprak kayıpları açısından değerlendirildiğinde, çalışma yılları arasındaki değişim 30.5-190.8 ton/km/yıl olarak, ortalama yıllık toprak kaybı ise 83.9 ton/km/yıl olarak tespit edilmiştir. Birinci ve ikinci sınıf derelerle karşılaştırıldığında, ölçülen bu toprak kayıplarının büyük bir oranı (%78) oyuntu erozyonuyla gerçekleşmiştir. Ayrıca yarı kurak özellikteki bu havzada artan mevsimsel yağış miktarına bağlı olarak erozyonda da çok büyük artışların gerçekleştiği tespit edilmiştir, bu da göstermektedir ki bu tür havzalar erozyona çok duyarlıdır. Sonuç olarak bu çalışma, kanal ve oyuntu erozyonunun çok dinamik bir süreç olarak gerçekleştiğini, zamansal ve mekânsal ölçütlerin bu süreçte çok büyük bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Diğer önemli bir sonuç ise toprak kaybının önlenmesi ve akarsularla taşınan sediment/rüsubat miktarının azaltılması ve neticesinde barajların ekonomik ömrünün uzatılmasına yönelik olarak havzada çeşitli ıslah tedbirlerinin (özellikle oyuntularda) acilen alınması gerekliliğidir.

Anahtar kelimeler: Kanal ve oyuntu erozyonu, Oltu mikrohavzası, Çoruh Nehri havzası, erozyon çubuk yöntemi

DETERMINATION OF SOIL LOSS OCCURRING VIA GULLY AND STREAMBANKS USING “EROSION PIN METHOD” IN OLTU MICRO-CATCHMENT WITHIN CORUH RIVER BASIN

ABSTRACT: Water erosion is an important erosion type that erodes and transports the most. With the effects of stream water, both streambank and gully erosions cause even more soil transport and debris accumulation resulting more flood events and associated loss of life and properties, as well as increasing the deposition of sediment in dam reservoirs that shorten the economic lifespan of these dams. This study was carried out in 14 different bank erosion sites (stream reach) in the Oltu Micro Catchment (OMC), one of the sub-watershed of the Coruh River Basin, to measure gully and streambank erosions over five-year long study period using “erosion pin method”. Oltu Micro Catchment has arid and semi-arid climate and has a 37% slope degree with a rugged structure. Over the five-year study period, the annual gully and streambank erosion rates were ranged from 1.25 to 8.79 cm/yr and the five-year average was measured as 4.43 cm/yr. The five-year soil losses were ranged from 30.5 to 190.8 tons/km/yr, and the five-year average was measured as 83.9 tons/km/yr. Compared to 1st and 2nd order streams, most of these measured soil losses were due to gully erosion (78%). In addition, it was determined that very large increase in bank erosion was occurred due to increase in rainfall in this semi-arid region showing that these types of watersheds are sensitive to bank erosions. As a conclusion, streambank and gully erosions are dynamic processes effected by the spatial and temporal scale differences under varying climate settings. Additionally, this study is a pioneer one in the region that identifies a need for the conservation practices (particularly for the gullies) to reduce the soil losses and deposited sediment in the whole channel system and eventually in dam reservoirs.

Keywords: Stream bank and gully erosion, Oltu micro catchment, Coruh River basin, erosion pin method

GİRİŞ

Toprak; ekolojik, ekonomik, biyolojik ve kültürel fonksiyonları ile bitki, hayvan ve en önemlisi insanlar için çok önemli doğal ve aynı zamanda tükenebilir bir kaynaktır. Toprağın aşırı, bilinçsiz ve plansız kullanımı onun sürdürülebilir kullanımını etkileyen en önemli idari ve sosyoekonomik faktörlerindendir. Bu faktörlerin etkisiyle toprak verimliliğini yitirmekte ve aşırı erozyona maruz kalmaktadır. Ülkemiz, içinde bulunduğu topoğrafya, iklim, jeolojik oluşum ve toprak yapısı nedeniyle de erozyona karşı oldukça duyarlıdır. Nitekim ülkemiz topraklarının %46’sında eğim %40’ı, %62.5’inde ise eğim %15’i geçmektedir (ÇMTUEP, 2005). Yanlış arazi kullanımına çetin coğrafi koşullar gibi doğal faktörlerde eklendiğinde erozyon kaçınılmaz olmaktadır. Erozyon, beraberinde organik madde ve mineral toprağı da taşıyarak toprak verimliliğini azaltmakta ve su kalitesini düşürmektedir. Erozyonla taşınan sediment ve rüsubat baraj rezervuarlarını doldurarak barajların ekonomik ömrünü azaltmakta,

sel ve taşkınlar ise yerleşim yerlerinde can ve mal kayıplarına neden olmaktadır (Stover ve Montgomery, 2001; Owens ve ark., 2005). Sürdürülebilir bir doğal kaynak yönetimi; toprak ve su kaynaklarının korunması ve de gıda güvenliğinin sağlanması için erozyonla mücadeleyi en önemli ve öncelikli çalışma alanı olarak belirlemiştir (Anonim, 2013).

Toprak/su erozyon çeşitleri dört ana başlıkta değerlendirilmektedir (Balcı, 1996). Gelişim itibarıyla bunlar sırasıyla; yüzey (tabaka), oluk, oyuntu ve kanal (mecra) erozyonudur. Yüzey (tabaka) erozyonu; yağmur damlalarının oluşturduğu eroziv etkiyle parçalanmış toprak taneciklerinin yüzey sularıyla taşınıp biriktirilmesiyle oluşur. Yavaş ve sinsi gerçekleşen tabaka erozyonu yüzeyde milimetreler boyutundaki bir tabakanın taşınmasına yol açar ve zamanla çok büyük toprak kayıplarına sebep verebilir. Oluk erozyonu; yüzey sularının eğim doğrultusunda belli çizgiler boyunca birikmesi ve basınç uygulaması neticesinde toprağın aşınımı ve oluk oluşumuna dönüşmesidir. Boyutları yaklaşık 5-10 cm derinlik ve genişlikle ifade edilebilir. Oyuntu erozyonu ise; oluk erozyonuna oranla daha büyük su kütlelerinin taşındığı daha büyük ebatlardaki kanal oluşumlarıdır. Derinlik ve genişlikleri en az 30-50 cm'den başlayıp metrelerle ifade edilebilen büyüklüklere ulaşabilirler. Son olarak kanal/mecra erozyonu ise; dere, çay ve nehir gibi çok büyük su kütlelerinin oluşturmuş olduğu geniş ve derin kanallardır. Oyuntu ve kanal erozyonu akarsuyun etkisiyle hem dere tabanında (stream bed) hem de kenarında (bank) gerçekleşmektedir. Havza ıslah faaliyetlerinin belirlenmesi ve hedef alanlara (derelere) yönlendirilmesi açısından havzada gerçekleşen baskın erozyon tipinin belirlenmesi gerekmektedir (Tufekcioglu, 2018). Bu bağlamda kanal ve oyuntu erozyonuyla gerçekleşen toprak kayıplarının ne kadar olduğu ve alansal dağılımının tespiti büyük önem arz etmektedir.

Havza karakteristik özelliklerine (iklim, rölyef, drenaj ağı, toprak özellikleri vb.) bağlı olarak bazı havzalarda yüzey erozyonu etkin/baskın erozyon tipi olurken (Rijsdijk ve ark., 2007; Dabney ve ark., 2015) bazılarında da kanal ve oyuntu erozyonu baskın erozyon tipi olabilmektedir (Bartley ve ark., 2007; Simon ve Klimetz, 2008). Yakın tarihli bir derleme çalışmasına göre, kanal ve oyuntu erozyonuyla gerçekleşen toprak kayıplarının toplam kayıplara oranı %7 ila %92'i arasında değişim göstermektedir (Fox ve ark., 2016). Bu aralığın çok geniş olması erozyona etki eden faktörlerin çok fazla, değişken ve birbiriyle etkileşim içinde olmasıyla açıklanmaktadır. Bu faktörlerden bazıları ise şunlardır; dere bitişiğindeki (riparian) ve havza genelindeki tarımsal arazi kullanımı, havzanın topografyası (eğim ve yamaç uzunlukları), akarsu ağının morfolojik ve hidrolojik özellikler (eğim, menderes, akım hızı, debi vb.), iklimsel yapı (yağış miktarı ve şiddeti, frekansı vb.), baraj ve taş ocaklarının kurulumu ve derelerin beton yapılar içerisine hapsedilerek düzleştirilmesi gibi (Simon ve ark., 2006; Tufekcioglu ve ark., 2012; Bak ve ark., 2013; Zaimis ve ark., 2019). Ayrıca belirtmek gerekir ki bazı havzalarda bu faktörlerin tümü bazılarında ise birkaç önemli rol üstlenmektedir. Örneğin bu çalışmanın yürütüldüğü Çoruh Nehri Havzası'nda erozyon açısından en etkili faktörlerin başında hatalı ya da aşırı arazi kullanımı ve yüksek eğimli topografya gelmektedir. Diğer yandan, büyük ve küçük ölçekli baraj inşaatları da bu etkiye artırabilmektedir. Artvin sınırlarındaki, Çoruh Nehri ana kolunda 10 adet baraj projesi olup, mansaptan memba ya doğru Muratlı Barajı ve HES, Borçka, Deriner, Artvin ve Yusufeli Baraj ve HES tesisleridir. Ayrıca Bayram ve Bağlık Barajları da Berta Çayı üzerinde bulunmaktadır. Çoruh Nehri yıllık ortalama 6.3 milyar m³'lük akış hacmine sahiptir. Ülkemizde en çok erozyona maruz kalan havzalardan biri olan Çoruh Nehri Havzası yılda 5.8 milyon m³ rüsubat taşımaktadır (URL-1). Toprak erozyonu nedeniyle ciddi bir doğal kaynak kaybı riskini taşıyan Çoruh Nehri Havzası'nda şiddetli erozyon nedeniyle henüz inşaatı devam eden veya tamamlanmış baraj rezervuarlarının

planlanandan daha kısa bir sürede dolması ve ekonomik ömürlerinin kısılması tehlikeleri ile karşı karşıyadır (Anonim, 2012).

Bu çalışma, Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (URL-2) kapsamında gerçekleştirilmiş olup, bu kapsamda Oltu Mikro Havzasının (OMH) dere ağı üzerinde rastgele seçilen 14 farklı deneme alanında gerçekleşen kanal ve oyuntu erozyonu ile neticesinde kaybolan toprak miktarı “erozyon çubuk yöntemi” kullanılarak ölçülmüştür. Bu çalışma ayrıca OMH’nda bundan önceki yıllarda (Haziran 2014 - Mayıs 2016) yapılan iki yıllık erozyon çalışmanın devamı niteliğindedir (Tufekcioglu, 2018). Uzun dönemli çalışmalar, özellikle iklimsel değişimlerin erozyon üzerinde ortaya koyduğu etkileri daha doğru bir şekilde belirleyebilmektedir. Bu bağlamda, ölçümler üç yıl daha (Haziran 2016 - Mayıs 2019) uzatılarak toplamda beş yıllık bir veri seti ülkemizde ilk kez olarak bu çalışmayla birlikte değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

Çoruh Nehri Havzası ülkemizin kuzeydoğusunda yer alan toplamda 466 km uzunluğundaki Çoruh Nehri’nin drenaj havzasıdır. Bu havza Türkiye yüz ölçümünün %2,5’ine, bu da yaklaşık 2 milyon hektara karşılık gelmekte olup Bayburt, Erzurum ve Artvin illerinin büyük bir kısmını kapsamaktadır (Şekil 1). Havzanın yıllık yağış ortalaması 560 mm olup, genel olarak dağlık bir yapıda ve üzerinde 2500 ve 3000 m üstünde birçok dağ ve dağ silsilesine ev sahipliği yapmaktadır.

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği OMH’sı, Çoruh Nehri Havzası’nın güneydoğusunda yer alan toplamda 36900 hektarlık bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Havzanın yükseltisi 1170 m ile 3047 m arasında değişmektedir. Oltu MH’sı arazi kullanım şekli bakımından, 6275 hektarı bozuk orman, 3866 hektarı verimli orman, 17235 hektarı mera ve 6265 hektarı yerleşim yeri ve diğer alanları kapsamaktadır. Havzanın düşük rakımlı vadi düzlüklerinde verimli tarım alanları görülmektedir (Duman, 2017).

İklim Özellikleri

Oltu MH’sının orta ve üst bölümleri yarı nemli, nemli ve çok nemli iklim tipine sahip iken, alt bölümlerinde iklim tipi olarak kurak ve yarı kurak iklim tipi hâkimdir (Duman 2017). Esasen Oltu Havzası, ne Doğu Anadolu Bölgesi’nin ne de Doğu Karadeniz Bölgesi’nin iklim tipine benzemektedir. Bu yüzden vadi tabanlarında mikroklimatik iklim tipine rastlanırken, yüksek kesimlerde karasal iklim söz konusudur (Özav, 1996). Özellikle havza kenarlarında bulunan yüksek dağlık alanlarda yıllık ortalama sıcaklık değerleri 1⁰C ile 2⁰C’ye düşmekteyken, bu bölgelerdeki ortalama yağış miktarı 600 mm ye kadar yükselmektedir. Vadi ve havza tabanında ise yıllık ortalama sıcaklık değerleri 8⁰C ile 10⁰C’ye kadar yükselmekte iken ortalama yağış miktarı 350-400 mm arasında değişmektedir (Özav, 1996).

Toprak ve Jeolojik Yapısı

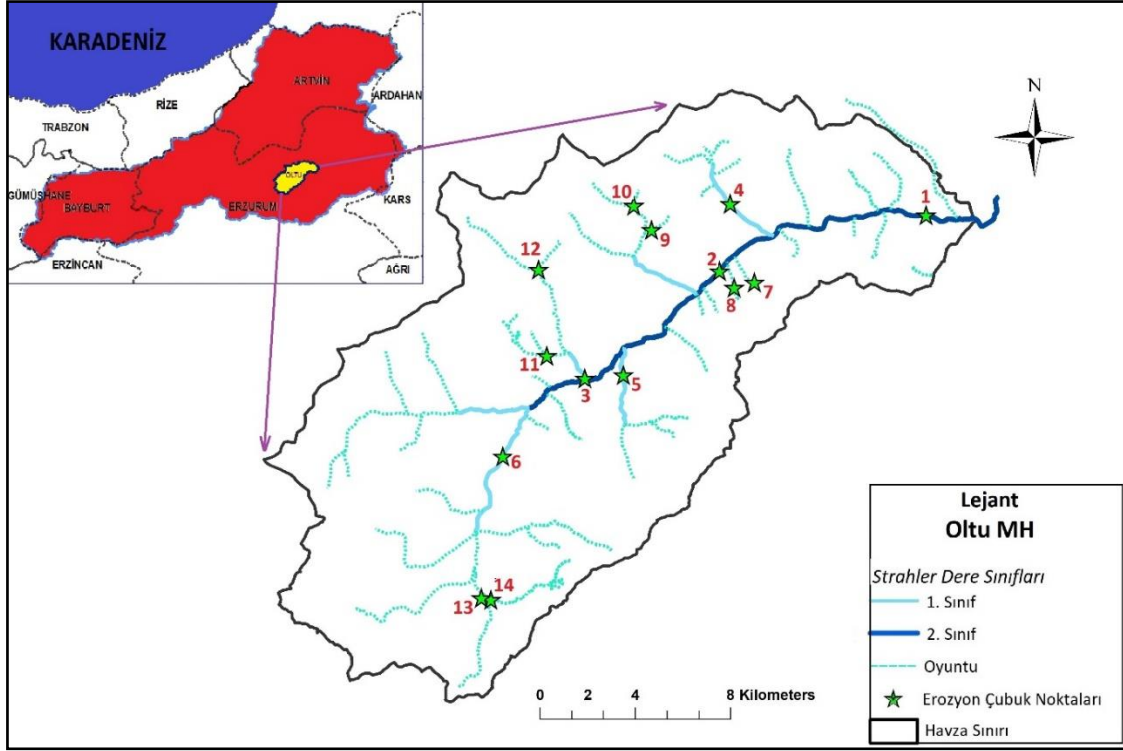
Oltu MH'nin jeolojik yapısı malm, filiş, jipsli fasiyes tortul kayalar, ultrabasik kayalar ve karasal başkalaşmamış gevşek ve yarı gevşek kayalardan oluşmaktadır. Ortalama 2038 m rakıma sahip olan Oltu MH'sında kısa mesafelerde fark edilebilecek derecede yükselti farkları bulunmaktadır (Özav, 1995). Geniş vadiler ve sarp kayalıkların bulunduğu bölge, ova niteliğinde olan yüksek dağlarla çevrili ve ilginç jeolojik yapılara sahiptir. İlçenin tam ortasından Oltu Çayı kuzeydoğu ve güneybatı doğrultusunda geçmektedir (Eken ve ark., 2006). Oltu ilçesinin alansal olarak % 46'sı kahverengi orman toprağı, % 39'u kahverengi toprak, % 8'i bazaltik toprak ve % 7'si ise kolüvyal topraktan oluşmaktadır (Duman, 2017). Oltu İlçesinin bakı sınıfı genel olarak güney bakıdadır. Oltu MH'nin en düşük eğim %0, en yüksek eğim %181 ve ortalama eğim değeri ise % 37 olarak tespit edilmiştir (Duman, 2017). Havzanın ortalama eğimi yüksek olduğu için ve jeolojik yapısı aşınmaya elverişli olduğundan erozyon, sel ve taşkın olaylarına çok sık rastlanmaktadır.

Bitki Örtüsü

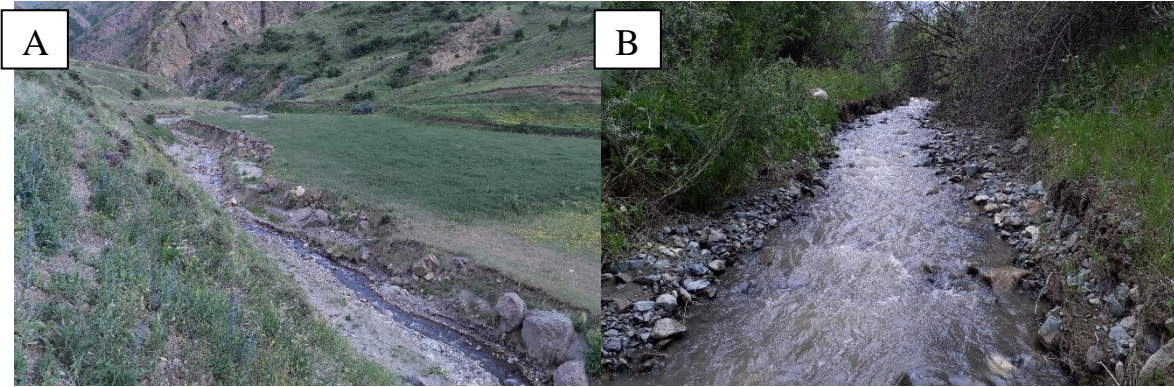
Oltu MH İran-Turan flora bölgesinin Doğu Anadolu kısmında yer almaktadır (Duman, 2017). 1350-1400 metre yükseklikte bulunan kesimlerde orman örtüsü olarak, sarıçam, seyrek olarak meşe, ardıç, söğüt, üvez ve kavak ormanları bulunmaktadır. Dağ yamaçlarında ve alçak alanlarda ise doğal çayırlar ve otluklar yer almaktadır. Özellikle söğüt ve kavak ağaçları da sulu ve mevsimlik dereler boyunca yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Havzanın ovalık alanlarında meyve bahçeleri ve tarım arazileri mevcuttur. Oltu, bölgedeki kesintisiz ve tek tuzcul bozkırları içermektedir. Bozkır bitkilerinden en çok görülen türler *Astragalus nigrocalycinus* (geven), *Centaurea taochia* (peygamber çiçeği), ve *Delphinium munzianum* (dügün çiçeği)'dir (Eken ve ark., 2006).

Deneme Alanları ve Sahaya Aplikasyonu

Çalışma, Oltu MH'sı içinde rastgele seçilen 14 farklı deneme alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Seçilen örnek alanların dağılımı, Oltu MH'daki drenaj ağı içinde yer alan dere sınıflandırması (Strahler, 1957) ve tiplerine (sürekli ve kuru dereler) göre yapılmıştır. Çünkü bir dere kenarındaki (şevindeki) aşınma neden olan temel faktörlerden biri o derenin büyüklüğü yani potansiyel su taşıma gücüdür. Bu bağlamda, deneme alanlarından 3 tanesi 2. sınıf (ana kol), 3 tanesi 1. sınıf dereler (yan kollar) ve geri kalan 8 adet ise havzada çok fazla sayı ve uzunlukta bulunan oyuntu (kuru) dereleri üzerinde konumlandırılmıştır (Şekil 1). Her bir deneme alanı 100 m uzunluğundaki dere koridorundan (sağ ve sol dere şevlerinden) ibarettir. Bu 14 alandaki sağ ve sol dere şevlerinde "erozyon çubuk yöntemi" uygulanarak, oyuntu ve kanal/mecra erozyonu (gully and streambank) ölçümü yapılmıştır. Çalışmanın yapılmış olduğu kanal ve oyuntuların bitişiğindeki tarımsal alanlar bozulmuş mera (otlak) alanları olarak tanımlanabilir. Bunlar az miktarda vejetatif örtü ve birkaç seyrek ağaçlı çıplak veya yarı çıplak toprak yüzeyine sahip alanlardır (Şekil 2). Birinci ve 2. sınıf dere kenarlarında ki bitki örtüsü oyuntu derelerine kıyasla daha gür ve odunsu yapıda (çalı ve ağaç) olduğu söylenebilir.



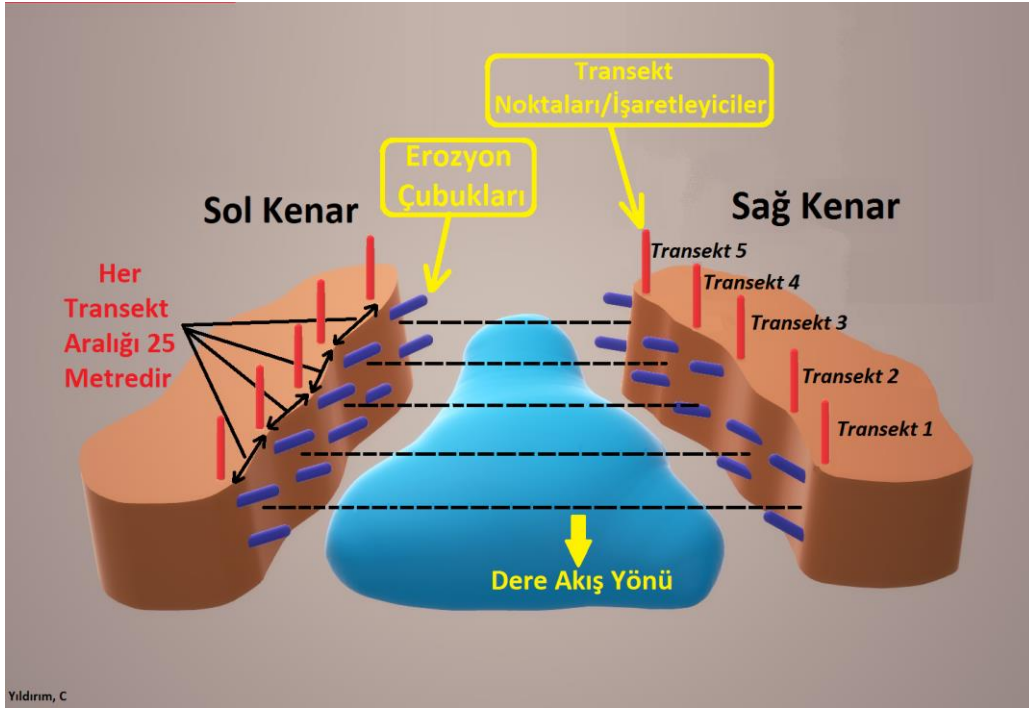
Şekil 1. Çoruh Nehri Havzası'nın alt havzalarından Oltu MH'nin kanal (1. sınıf ve 2. sınıf dereler; 6 adet) ve oyuntu dereleri (8 adet) üzerinde seçilen erozyon ölçüm noktaları.



Şekil 2. Deneme alanlarından görünüm; oyuntu deresi (A), 1. sınıf dere (B).

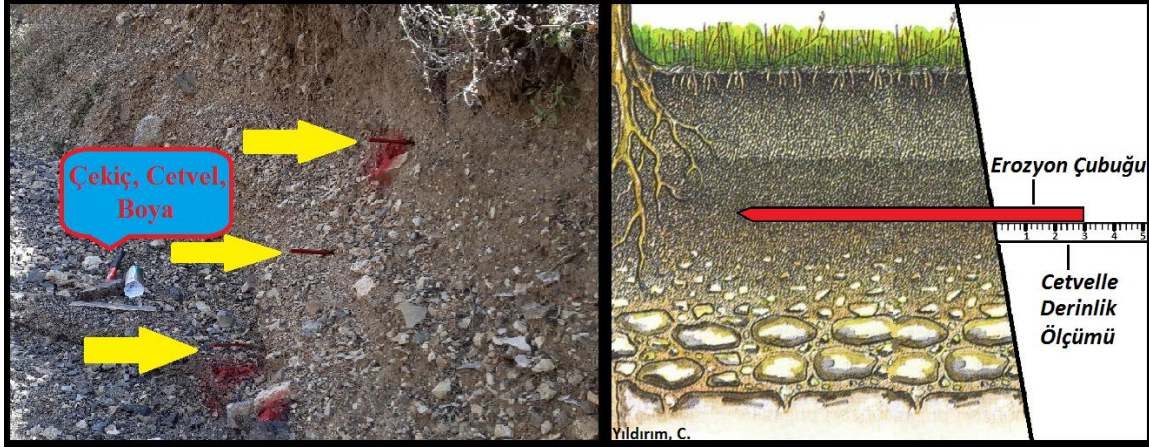
Erozyon Çubuk Yöntemi

Bu yöntem, kısa ve orta vadeli (2-5 yıl gibi) araştırmalar için ucuz olması, pratik kullanımı ve yüksek doğruluk oranı ile ümit verici sonuçlar üretmesi nedeniyle erozyon çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır (Zaimes, 2004; Tufekcioglu, 2006, 2010; Bear, 2011) Bu yöntemde kullanılan bazı araç ve gereçler şunlardır; memleket haritası, GPS, erozyon çubukları, kalem, çekiç, boya, cetvel vb. Kullanılan demir erozyon çubuklarının uzunluğu 60 cm, çapı ise 0.8 cm'dir.



Şekil 3. 100 m uzunluğundaki oyuntu deresi üzerinde 25 metre aralıklarla belirlenen 5 transekt/düzlem noktası ve bu düzlemlerin bulunduğu şevler üzerindeki erozyon çubuklarının konumu (Yıldırım, 2019).

Erozyon çubuk yönteminin uygulamasında farklılıklar mevcut olabilir. Bu çalışmada, erozyon çubuklarının alana uygulamasında transekt (enine kesit/düzlem) yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemle göre; rastgele seçilen 100 m uzunluğundaki dere yatağı üzerinde eşit aralıklarla (25 m) dağıtılmış 5 adet transekt (enine kesit) noktası belirlenmiştir (Şekil 3). Bu transektlere bağlı kalmak koşuluyla derenin her iki şevine de (sağ ve sol) yeterli miktarda erozyon çubuğu çakılmıştır. Çubuklar sağ ve sol dere şevlerine (kenarlarına) en aşağıdan (şev tabandan) yukarıya doğru yüzeye dik bir şekilde yaklaşık 50 cm'lik kısımları toprağa girecek şekilde çakılmıştır. Dere şev yüksekliğinin 1 metreden az olduğu durumlarda toplam şev yüksekliğinin yarısına sadece bir adet demir çubuk çakılmıştır. Dere şev yüksekliğinin 1 metreden fazla olduğu durumlarda ise dere kenarının yüzeyine yerleştirilen çubukların sayısı 2 ila 3 adet arasında değişmektedir. Çubukların her biri ayrı olarak üç sıra şeklinde, dere kenarı yüksekliğinin üçte biri (1/3), üçte ikisi (2/3) ve üçte üçü (3/3) nün orta noktasına sırasıyla yerleştirilmiştir (Şekil 4). Böylece Oltu Mikro Havzası'nın dere sistemi üzerinde seçilen 14 adet deneme alanında toplamda 275 adet erozyon çubuğu yerleştirilmiştir. Önemle belirtmek gerekir ki bu çalışmada yapılan erozyon ölçümleri tamamen dere şevleri (kenarları) üzerinde meydana gelen aşınmayı ya da birikmeyi ölçmeye yöneliktir; diğer bir ifadeyle dere tabanında gerçekleşen aşınma (kazınma) ya da birikmeyle (depolama) ilgili herhangi bir ölçüm yapılmamıştır.



Şekil 4. Erozyon çubuk ölçümü; demir çubukların açıkta kalan (toprak dışında) uzunluklarının ölçümü (sağda) ve şev üzerindeki görünümü (solda).

Erozyon çubuk ölçümleri 5 yıllık çalışma süresi boyunca (Mayıs 2014-2019) yılda iki kez 6 aylık periyotlarla gerçekleştirilmiştir. Erozyon çubuklarının kurulumu Mayıs 2014, takibindeki periyodik ölçümler ise Kasım 2014, Mayıs 2015, Kasım 2015, Mayıs 2016, Kasım 2016, Mayıs 2017, Kasım 2017, Mayıs 2018, Kasım 2018 ve son ölçüm olarak Mayıs 2019 ay ve yıllarında gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm periyodu için hesaplanan erozyon miktarı, o dönem için ölçülen çubuk erozyon değerinden bir önceki ölçümün çıkartılmasıyla hesaplanır. Sonuç pozitif bir değer ise, o zaman çubuk ölçümü erozyon olduğunu, eğer negatif ise birikme olduğunu ifade eder.

Şev Toprak Hacim Ağırlıklarının ve Şev Alanlarının Ölçümü

Her bir deneme alanında (şerit metre ile ölçülüp belirlenen 100 metrelik dere boyunca) sağ ve sol dere kenarlarından/şevlerinden birinci, üçüncü ve beşinci transektlerin (erozyon çubuklarının) konuşlandırıldığı yerlerden toprak hacim örnekleme yapılmıştır (Tufekcioglu, 2018). İki adet toprak hacim örneği erozyon çubuklarının orta noktasına gelecek şekilde şev üzerinden toplanmıştır. Erozyon çubuk sayısının birden fazla olduğu şevlerde bu sayı 6-8 adet gibi daha fazla olarak örnekleme yapılmıştır. Çalışmada toplamda 218 dere şevi toprak hacim örnekleme gerçekleştirilmiştir. Örneklemede 2 cm çapında ve 10 cm uzunluğunda toprak örnekleme silindirleri kullanılmıştır. Laboratuvar ortamına getirilen toprak örneklerinin hacim ağırlıkları (g/cm^3), $105\ C^0$ 'de 24 saat kurutulduktan sonra tartılarak belirlenmiştir (Blake ve Hartge, 1986).

Şev alanlarının hesaplanabilmesi için ise şevlerin yüksekliklerinin ve dere sisteminin toplam uzunluklarının (sağ ve sol dere şevlerine ait) bilinmesi gerekir. Şev yüksekliklerinin belirlenmesinde mira kullanılmıştır. Bu ölçümler her bir deneme alanındaki bütün transekt (5 adet) noktalarında ve her iki dere şevinde (sağ ve sol) olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Dere ağına ait toplam uzunluklar ise WorldView-2 (50 cm çözünürlükte) uydu verisi üzerinde sayısallaştırıldıktan sonra Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımında mevcut olan araçlar kullanılarak hesaplanmıştır. Belirlenen toplam dere uzunlukları (m) ile ortalama dere şevi yükseklikleri (m) çarpılarak o deneme alanına ait dere şevi alanı (m^2) olarak hesaplanmıştır.

Şev Toprak Kayıplarının Belirlenmesi

Şevlerde erozyonla gerçekleşen toplam toprak kaybı her bir dere sınıfı türüne göre (oyuntu, 1. ve 2. sınıf dereler) ayrı ayrı hesap edilmiştir. Bu bağlamda birim dere şevlerden (1 km) gerçekleşen toplam toprak kaybı (TTK; t/km/yıl) aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanmıştır (Eşitlik 1);

$$TTK = \text{ŞA} \times \text{TH} \times \text{EM} \quad (1)$$

Formüldeki ŞA, birim dere uzunluğuna ait şev alanını (m^2/km), TH şevlere ait ortalama toprak hacim ağırlığını (t/m^3), EM ise erozyon çubukları ile ölçülen ortalama yıllık erozyon miktarını ifade etmektedir ($\text{m}/\text{yıl}$).

Akabinde her dere sınıfında bulunan ve ArcGIS programıyla ölçülen toplam (sağ ve sol) dere kenarı uzunlukları birim toprak kayıpları ($\text{ton}/\text{km}/\text{yıl}$) ile çarpılarak alandaki dere sınıflarına ait toprak kayıp değerleri “ $\text{ton}/\text{yıl}$ ” olarak tespit edilmiştir. Farklı dere sınıfları için bulunan toprak kaybı değerleri toplanarak tüm havzanın kanal ve oyuntu şevlerinden gerçekleşen toplam toprak kaybı hesaplanmıştır. Ayrıca belirlenen toprak kaybı değeri hektar birimindeki havza alan büyüklüğüne bölünüp tüm havzanın kanal ve oyuntu erozyon değeri “ $\text{ton}/\text{ha}/\text{yıl}$ ” olarak da tespit edilmiştir.

İstatistik Analizleri

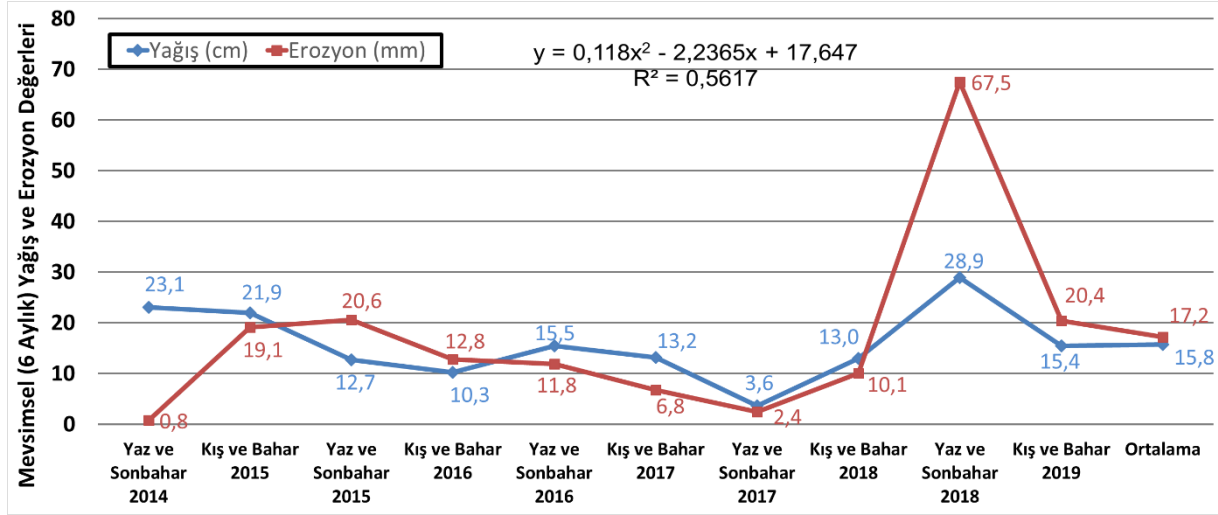
Veriler SAS (Statistical Analysis System) istatistik yazılımında varyans analizi (ANOVA) ve “GLM” (Genel Doğrusal Modelleme) işlemi kullanılarak analiz edilmiştir (SAS, 2003). GLM prosedürü, genel doğrusal modelleri tahmin etmek için en küçük kareler yöntemini kullanır. Bu bağlamda ölçülen erozyon miktarları ve toprak kayıplarındaki farklılıklar dere sınıflarına göre (1.sınıf, 2.sınıf ve oyuntu) analiz edilmiştir. Erozyonda gerçekleşen yıllık ve mevsimsel (periyodik) değişimler ise tanımlayıcı istatistiksel metotlar kullanılarak gösterilmiştir. Bilindiği üzere, erozyon süreci, birçok iklimsel ve mekânsal faktörlerin etkisi altında gerçekleşmekte olup, ölçek değişimlerine göre çok farklı sonuçlar üretebildiğinden çalışmada güvenilirlik düzeyi $p \leq 0.1$ olarak alınmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma süresi boyunca altı aylık periyotlarla yapılan erozyon çubuk ölçümleri neticesinde deneme alanlarında ortalama kanal ve oyuntu erozyonu miktarları 0.8-67.5 mm arasında değişim göstermiştir (Şekil 5). Bu periyotlara ait ortalama erozyon miktarı ise 17.2 mm olarak hesaplanmıştır. Ölçüm periyotlarındaki yağış miktarları ise 3.6-28.9 cm arasında değişim göstermiştir (Şekil 5). Bu periyotlarda ölçülen erozyon miktarları ile yağış miktarları arasında güçlü bir polinom fonksiyon ilişkisi ($R^2=0.56$) olduğu tespit edilmiştir. Yine bu bağlamda toplam yağışın en fazla ölçüldüğü (28.9 mm) Yaz/Sonbahar 2018 periyodunda yaşanan yağıştaki artışa paralel olarak erozyonda da en fazla artış (67.5 mm) ölçülmüştür.

Bu sonuç göstermiştir ki çalışmanın ilk periyotları için az miktarda gerçekleşen kanal ve oyuntu erozyonu yağış miktarının artmasıyla (son periyotlarda) birlikte çok ciddi düzeylere

çıkabilmektedir. Özellikle çok şiddetli ve fazla yağışlara bağlı olarak artış gösteren su seviyesinin (debi) kanal ve oyuntu erozyona olan direkt etkisi diğer birçok araştırmacı tarafından da belirlenmiştir (Gomez-Gutierrez ve ark., 2012; Palmer ve ark., 2014; Tufekcioglu ve ark., 2019). Bu bağlamda, bu çalışmada olduğu gibi benzer çalışmaların daha uzun süreli uygulanarak özellikle iklimsel farklılıkların (kurak, yağışlı dönemler veya münferit büyük yağışların) erozyon üzerindeki etkisini daha gerçekçi ve doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 5. Deneme alanlarında ölçülen ortalama 6 aylık erozyon ve de yağış miktarları.

Tablo 1. Deneme alanlarında ölçülen yıllık kanal ve oyuntu erozyonu miktarları ve ortalamalar.

Alan No & Dere Sınıfı	Erozyon/Birikim (cm/yıl)_1.yıl	Erozyon/Birikim (cm/yıl)_2. yıl	Erozyon/Birikim (cm/yıl)_3. yıl	Erozyon/Birikim (cm/yıl)_4. yıl	Erozyon/Birikim (cm/yıl)_5. yıl	Ortalama (cm/yıl)
1&2. Sınıf	1.99	2.11	2.02	-0.59	4.50	2.01
2&2. Sınıf	-1.78	-1.02	-0.66	-2.75	0.80	-1.08
3&2. Sınıf	-2.78	0.35	0.65	-1.53	-2.28	-1.12
4&1. Sınıf	7.51	6.14	2.31	-0.42	14.96	6.10
5&1. Sınıf	-2.81	6.50	2.81	-2.19	12.13	3.29
6&1. Sınıf	3.35	15.77	2.91	13.08	18.13	10.65
7&Oyuntu	2.55	11.38	4.31	0.01	1.63	3.98
8&Oyuntu	-0.87	1.24	-0.70	3.86	11.16	2.94
9&Oyuntu	5.13	-0.95	2.65	0.16	1.03	1.60
10&Oyuntu	2.61	0.99	0.76	-0.85	2.45	1.19
11&Oyuntu	2.95	1.18	7.78	3.67	6.62	4.44
12&Oyuntu	-1.87	0.34	0.58	-0.59	7.46	1.19
13&Oyuntu	5.99	1.24	0.31	5.62	19.51	6.53
14&Oyuntu	5.88	0.14	0.31	-0.03	24.99	6.26
Ortalama 2. Sınıf	-0.86	0.48	0.67	-1.62	1.01	-0.06
Ortalama 1. Sınıf	2.68	9.47	2.67	3.49	15.07	6.68
Ortalama Oyuntu	2.80	1.94	2.00	1.48	9.36	3.52
Tüm Ortalama	1.99	3.24	1.86	1.25	8.79	3.43

Not: Tablodaki eksi değerler erozyon çubukları etrafındaki/üzerindeki toprak birikimini, artı değerler ise aşınmayı (erozyonu) göstermektedir.

Yıllar bazında deneme alanlarında ölçülen toplam en küçük erozyon/birikim miktarı -2.81 cm/yıl (5 nolu alanda 1.yılda) ve en büyük erozyon miktarı ise 24.99 cm/yıl (14 nolu alanda 5. yılda) olarak ölçülmüştür (Tablo 1). Deneme alanları içerisinde en küçük ortalama erozyon/birikim -1.12 cm/yıl ile 3 numaralı deneme alanında, en büyük erozyon ise 10.65 cm/yıl ile 6 numaralı deneme alanının da tespit edilmiştir. Bütün deneme alanlarının ortalama erozyon miktarı ise 3.43 cm/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışmada, yıllara göre ölçülen ortalama erozyon miktarları ise en küçük 1.25 cm/yıl (4.yıl) ve en büyük 8.79 cm/yıl (5.yıl) olarak değişim göstermiştir (Tablo 1). Yıllar bazında erozyon miktarındaki bu büyük farklılık değişen yağış miktarıyla da paralellik göstermektedir (Şekil 6). Benzer şekilde, Oltu MH'nin hemen kuzeyinde yer alan Olur MH'nda gerçekleştirilen iki yıllık diğer bir kanal ve oyuntu erozyonu çalışmasında (Yıldırım, 2019) elde edilen yıllık ortalama erozyon miktarları çalışmanın ilk yılı için 1,83 cm/yıl, ikinci yılı için ise 15,27 cm/yıl olarak çok yüksek ölçülmüştür. Yazar, çalışmasının ikinci yılında erozyonda gerçekleşen bu yüksek artışı münferit büyük yağışların sayısındaki artışla açıklamıştır. Tortum Kuzey MH'nda gerçekleştirilen benzer nitelikteki diğer iki yıllık bir erozyon çalışmasının ilk yılında 0.7 cm/yıl, ikinci yılında ise 2.5 cm/yıl kanal ve oyuntu erozyonu ölçülmüştür (Acar, 2019). Ancak, bu iki yıllık çalışmanın gerek erozyon gerekse yağış verilerinde yıllar bazında çok fazla bir değişim ve farklılık tespit edilmemiştir.

Bizim çalışmamızda ortaya çıkan diğer önemli bir sonuçta, erozyondaki zamansal (mevsimsel) farklılıkların yanı sıra (2018 yaz ve sonbahar döneminde olduğu gibi) lokal etkilerin de etkin

bir şekilde gerçekleşebilmesidir. Örneğin, bazı deneme alanlarında (alan no 6, 13 ve 14 vb.) beşinci yılda ölçülen büyük erozyon miktarları gibi. Bu sonuç bizlere erozyonun doğru tespiti ve ölçümünde zamansal ve mekânsal ölçüklerin ne kadar önemli ve topografya ile çok güçlü bir etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir.

Dere sınıfları açısından değerlendirildiğinde, bütün sınıflarda erozyon miktarı açısından anlamlı farklılıklar bulunmuştur (oyuntu-1.sınıf: $p=0.084$, oyuntu-2.sınıf: $p=0.055$, 1.sınıf-2.sınıf: $p=0.006$). 1.sınıf derelerde ölçülen erozyon miktarı en fazla (6.68 cm/yıl), 2.sınıf derelerde en az (-0.06) ve oyuntularda orta derecede (3.52 cm/yıl) ölçülmüştür (Tablo 1). Bu sonuçlara göre 1.sınıf ve oyuntu derelerinin toplam erozyona olan katkısının fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Yapılacak olan muhtemel dere ıslah faaliyetlerinde bu iki dere sistemine daha çok önem verilmesi gerekmektedir.

Tablo 2. Kanal ve oyuntu dere şevlerinden gerçekleşen yıllık toprak kaybı miktarları.

Alan No & Dere Sınıfı	Toprak Kaybı (ton/km/y)_1.yıl	Toprak Kaybı (ton/km/y)_2.yıl	Toprak Kaybı (ton/km/y)_3.yıl	Toprak Kaybı (ton/km/y)_4.yıl	Toprak Kaybı (ton/km/y)_5.yıl	Ortalama (ton/km/y)
1&2. Sınıf	28.2	29.9	28.6	0.0	63.7	30.1
2&2. Sınıf	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	3.7
3&2. Sınıf	0.0	11.6	21.5	0.0	0.0	6.6
4&1. Sınıf	315.1	257.8	96.8	0.0	628.1	259.6
5&1. Sınıf	0.0	96.5	41.6	0.0	180.1	63.7
6&1. Sınıf	30.9	145.4	26.8	120.6	167.2	98.2
7&Oyuntu	87.1	388.5	147.3	0.3	55.7	135.8
8&Oyuntu	0.0	37.0	0.0	115.1	333.0	97.0
9&Oyuntu	217.8	0.0	112.5	6.6	43.7	76.1
10&Oyuntu	91.6	34.7	26.7	0.0	86.0	47.8
11&Oyuntu	53.3	21.3	140.3	66.2	119.5	80.1
12&Oyuntu	0.0	6.0	10.3	0.0	131.3	29.5
13&Oyuntu	126.5	26.2	6.6	118.6	412.1	138.0
14&Oyuntu	101.7	2.4	5.3	-0.4	432.1	108.2
Ortalama 2. Sınıf	9.4	13.8	16.7	0	27.4	13.5
Ortalama 1. Sınıf	115.3	166.6	55.1	40.2	325.1	140.5
Ortalama Oyuntu	84.8	64.5	56.1	38.3	201.7	89.1
Tüm Ortalama	75.2	75.5	47.5	30.5	190.8	83.9

Toprak kaybı açısından değerlendirildiğinde, deneme alanlarında hesaplanan toplam en küçük erozyon miktarı 0 ton/km/yıl ve en büyük erozyon miktarı ise 628.1 ton/km/yıl'dır (4 nolu alanda 5. yılda; Tablo 2). Deneme alanları içerisinde en küçük ortalama toprak kaybı 3.7 ton/km/yıl ile 2 nolu deneme alanında, en büyük erozyon ise 259.6 ton/km/yıl ile 4 nolu deneme alanının da hesaplanmıştır. Tüm alanlar için ortalama toprak kaybı miktarı ise 83.9 ton/km/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma yılları bazında (1–5) deneme alanlarında hesaplanan ortalama toprak kaybı miktarları ise 30.5 ton/km/yıl (4.yıl) – 190.8 ton/km/yıl (5.yıl) olarak değişim göstermiştir (Tablo 2). Her bir deneme alanı için belirlenen toplam toprak kaybı hesabında çarpan olarak kullanılan şev yüksekliği (m), şev alanı (m^2/km) ve toprak hacim ağırlığı (t/m^3) parametrelerine ait detaylı veriler Tufekcioglu (2018) Tablo 1'de sunulmuştur.

Bitişik havzalarda Acar (2019) ve Yıldırım (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda belirlenen toprak kayıpları bu çalışmadaki verilerle benzerlik göstermektedir. Tortum Kuzey MH'sında gerçekleştirilen kanal ve oyuntu erozyon çalışmasında ölçülen yıllık toprak kayıpları çalışmanın ilk yılı için 20.5 ton/km/yıl, ve ikinci yılı için 38.8 ton/km/yıl'dır. Yıldırım (2019) tarafından Olur MH'nda gerçekleştirilen kanal ve oyuntu erozyonu çalışmasında ise birinci yılda ortalama toprak kaybı 56.1 ton/km/yıl, ikinci yılda ise 375.3 ton/km/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın beşinci yılında olduğu gibi Yıldırım (2019) çalışmasının ikinci yılında yağış miktarındaki artışa bağlı toprak kayıplarında da çok yüksek artışlar tespit edilmiştir. Bu da münferit fazla yağışlı yıllarda gerçekleşen erozyonun uzun yıllar (10-15 yıl) içinde gerçekleşen toplam erozyona katkısının çok büyük olduğunu göstermektedir.

Amerika Birleşik Devletinin Iowa eyaletinde Tufekcioglu (2006) tarafından gerçekleştirilen iki yıllık kanal erozyonu çalışmasında ortalama yıllık toprak kaybı 217 ton/km/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu deneme alanlarında gerçekleşen kayıplar 44-558 ton/km/yıl arasında değişim göstermiştir. Aynı deneme alanlarında daha önceki yıllarda yapılan üç yıllık diğer bir çalışmada hesaplanan toprak kayıpları benzer şekilde 63-258 ton/km/yıl arasında değişim göstermiştir (Zaimes, 2004). Gerek erozyon miktarları ve gerekse toprak kayıpları için yukarıda değerlendirilen bu iki uluslararası çalışmada bizim çalışmamıza oranla çok daha fazla miktarlarda erozyon ölçülmüş ve toprak kaybı hesaplanmıştır. Bu çalışmalardaki yüksek düzeydeki erozyonun en önemli sebeplerinden birincisi yine bu alanlarda kayıtlı edilen yüksek miktarlardaki yıllık ortalama yağışlardır (1. yıl: 96.7 cm; 2. yıl: 81.9 cm). Bizim çalışmamızdaki yıllık yağış miktarları ise sırasıyla birinci yıl 45, ikinci yıl 23, üçüncü yıl 28.6, dördüncü yıl 16.6 ve beşinci yıl için 44.4 cm'dir. İkinci önemli sebep olarak da bizim çalışmamızdaki dere şevlerinin toprak erodibilitesinin az oluşu gösterilebilir; dere şevleri genellikle kaba materyalin (çakıl ve taş) fazla bulunduğu alanlardan oluşmaktadır. Bu da dere suyunun şev yüzeyi ile gerçekleştirdiği sürtünmeye bağlı direnç kuvvetini artırarak erozyona olan hassasiyeti düşürmekte ve toprak kaybını azaltmaktadır.

Tablo 3. Oltu MH'sının tamamı için gerçekleşen toprak kayıpları

Dere Sınıfları	Şev Uzunluğu (km)	Toprak Kaybı (ton/km/yıl)	Toplam Toprak Kaybı (ton/yıl)	Toplam Toprak Kaybı (%)	Havza Alanı (ha)	Toprak Kaybı (t/ha/yıl)
2.sınıf	51	13	680	2	-	-
1.sınıf	44	140	6124	20	-	-
Oyuntu	272	89	24193	78	-	-
Toplam	366	-	30997	100	36876	0.8

Çalışmada, kanal (1. ve 2. Sınıf) ve oyuntu derelerinde yapılan 5 yıllık ölçümler sonucunda ortaya çıkan ortalama toprak kayıpları dere sınıfları açısından Tablo 3'te değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre birim kanal/oyuntu uzunlukları için hesaplanan ortalama toprak kayıpları 2. sınıf, 1. sınıf ve oyuntu dereleri için sırasıyla 13, 140 ve 89 ton/km/yıl olarak bulunmuştur. Bu ortalamalara göre oyuntu (p=0.065) ve 1. sınıf (p=0.016) derelerden gerçekleşen kayıplar 2.sınıf derelere göre anlamlı bir farklılık oluşturmuştur. Toplamda (sağ ve sol şevler) 51 km şev uzunluğuna sahip 2. sınıf derelerden 680 ton/yıl, 44 km şev uzunluğuna sahip 1. sınıf derelerden 6124 ton/yıl ve 272 km şev uzunluğuna sahip oyuntu derelerinde 24193 ton/yıl toprak kaybı gerçekleşmiştir. Buna göre en fazla toprak kaybı oyuntu dere sınıfında (%78), ikinci olarak (%20) ile 1. sınıf ve son olarak (%2) ile 2. sınıf derelerden

gerçekleşmiştir. Oyuntulardan gerçekleşen toplam kayıpların çok fazla oluşunun en önemli sebebi, bu dere ağı sisteminin hem sayıca hem de uzunluk olarak (272 km) havzada en fazla oluşudur (Şekil 2). Toplam 36876 hektar alana sahip havzada dere şevlerinden gerçekleşen toplam toprak kaybı 30977 ton/yıl, hesaplamalar sonucu birim alana düşen toprak kaybı ise 0.8 ton/ha/yıl olarak bulunmuştur (Tablo 3).

Acar (2019) ve Yıldırım (2019)'ın çalışmalarına göre, oyuntularda meydana gelen toprak kaybı toplam toprak kaybının sırasıyla %73'ü ve %92'sine karşılık gelmektedir. Bu çalışmada da benzer şekilde oyuntular için %78 gibi yüksek bir oran bulunmuştur (Tablo 3). Bu üç çalışma bir arada değerlendirildiğinde, oyuntu şevlerinden gerçekleşen kayıp toplam (oyuntu, 1. ve 2. sınıf dere şevleri) toprak kaybının yaklaşık %81'ine tekabül ettiği anlaşılmaktadır.

Alanda yapılan diğer bir araştırmada, Oltu MH için RUSLE eşitliğiyle belirlenen potansiyel yüzey erozyonu miktarı 16.48 ton/ha/yıl olarak tespit edilmiştir (Yavuz ve Tüfekçioğlu, 2019). Bu veriler ışığında havzadan gerçekleşen toplam erozyon ise (yüzey, kanal ve oyuntu) 17,28 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu durumda meydana gelen toplam erozyonun yalnız %4,6'sı kanal ve oyuntu deresi şevlerinden üretilmiştir. Bu sonuç havzadan gerçekleşen toplam toprak kayıplarının büyük bir miktarının (%95.4) yüzey erozyonuyla gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. RUSLE yöntemiyle hesaplanan yüzey erozyonu miktarının bir potansiyel erozyon verisi olduğu düşünüldüğünde ve bu potansiyel miktarın değiştiği durumlarda kanal ve oyuntu erozyonuyla gerçekleşen kayıpların toplam erozyon içindeki oranında da bir değişiklik olması muhtemeldir ve değerlendirmelerde göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan uluslararası çalışmalarda da kanal ve oyuntu erozyonu oluşumunda orta ve büyük ölçekteki proseslerin çok etkin rol oynadığı ve bundan dolayıdır ki havzanın toplam sediment verimine katkısının çok geniş bir aralıkta (%7-%92) seyrettiği tespit edilmiştir (Fox ve ark., 2016).

Genel olarak incelendiğinde Oltu MH'nda gözlenen yıllık ortalama kanal ve oyuntu erozyon oranlarının düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun en önemli nedeninin ise yarı kurak özellik gösteren bu havzadaki yıllık yağış miktarlarının düşük olmasıdır. Diğer taraftan son altı aylık dönemde gerçekleşen yüksek düzeydeki oyuntu ve kanal erozyonu göstermiştir ki erozyon olayı hem yağışların zamanlaması hem de sıklık ve miktarına yüksek derecede duyarlılık göstermektedir. Mekânsal ve zamansal ölçekler dikkate alındığında arazi kullanımı, toprak tipi, jeoloji, morfoloji, yağış ve akarsu hidrolojisi gibi çeşitli havza özellikleri erozyon gelişimini etkileyen diğer önemli faktörler olarak belirtilmektedir (Le Roux ve Sumner, 2012; Mararakanye ve Sumner, 2017; Zaimes ve ark., 2019) ve muhtemelen bu çalışmada da ortaya çıkan sonuçlara belirli oranlarda katkı sağlamışlardır.

Oltu MH'nın kanal ve oyuntu derelerinde gerçekleşen toplam toprak erozyonunu ve taşıma kapasitesini azaltmanın en etkili yolu bu derelere yeterli miktarda kafes-tel ve kuru-taş duvar gibi uygun eşik tiplerinin yapılması olacaktır. Nitekim bu tür enine yapıların kanal ve oyuntu erozyonu sonucu gerçekleşen sediment miktarını azaltmada oldukça etkili olduğu ortaya konulmuştur (Tufekcioglu, 2018). Ayrıca belirtmek gerekir ki bu enine yapılar sadece sediment ve rüsubat depolamakla kalmayıp suyun akış hızında azaltarak mansap kısmındaki diğer kanal sistemlerindeki erozyon miktarını da azaltmaktadır. Bütün bunlara ek olarak, yamaç ıslah faaliyetlerinin de (teras, taş kordon, tel-çit, ağaçlandırma ve ot ekimi vb.) eşgüdümlü yürütülmesi erozyonda oluşacak potansiyel faydayı/azalışı sürdürülebilir kılacaktır. Ayrıca, yapılan bütün bu ıslah faaliyetleri neticesinde erozyonun azaltıldığı ve toprağının stabil hali

geldiği dere kenarlarında “yeşil kuşak sisteminin” adaptasyonu uzan zamanlı hedefler arasında yer almalıdır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, özellikle 2018 yılı yaz ve sonbahar döneminde toplam yağışta (289 mm) gerçekleşen artış, beraberinde erozyonda da büyük bir artışa (67.5 mm) neden olmuştur. Bu da kurak ve yarı-kurak özellikteki bu tür alanların, büyük ve yüksek şiddetteki yağış vakalarına karşı çok daha hassas olduğunu göstermektedir. Ayrıca belirtmek gerekir ki, bu çalışmada, yağış miktarındaki artış havza geneline dağılmaktan ziyade yerel (lokal) bir dağılım göstermiştir. Nitekim bu da seçili deneme alanlarında başlangıçta kanal ve oyuntu erozyonunu, beraberinde taşkın ve sel olaylarını tetiklemiştir. Tabii burada yüzey sularıyla gelen materyalin oluşturduğu katkıda ve/veya etkide unutulmamalıdır. Ölçülen yıllık birim erozyon miktarları açısından değerlendirildiğinde; oyuntu (3.52 cm/yıl; 89 ton/km/yıl) ve 1. sınıf (6.68 cm/yıl; 140 ton/km/yıl) derelerin erozyona büyük katkı sağladığı, havza dere sisteminden gerçekleşen toplam toprak kayıpları açısından ise yalnızca oyuntu derelerinin (%78) etkisinin çok yüksek olduğu tespitine varılmıştır. Sonuç olarak; bu çalışma, çeşitli ıslah tedbirlerinin alınarak toprak kaybının önlenmesi, akarsularla taşınan sediment ve rüsubat miktarının azaltılması ve barajların ekonomik ömrünün uzatılması gibi odak faaliyetlerin belirlenmesi için altlık oluşturup yeni çalışmalara ışık tutacaktır. Bitki örtüsünün yetersiz olduğu alanlarda uygun ekim ve ağaçlandırma çalışmaları yapılarak bu alanların korunması ve yüzeysel akışla başlayan oyuntu ve kanal erozyonu oluşumu azaltılmalıdır. Bunun için kuru-duvar ve kafes-tel gibi oyuntu ıslah yöntemlerinin özellikle üst havzalarda daha yoğun şekilde uygulanması yerinde bir karar olacaktır.

YAZAR KATKILARI

Mustafa Tüfekçioğlu: Araştırma alanının ve makale konusunun belirlenmesi, arazi çalışmalarının yürütülmesi ve katılım, metodolojinin belirlenmesi, analizlerin yapılması ve makalenin yazılması. **Cengizhan Yıldırım** ve **Ahmet Duman:** Uygulanacak olan yöntemin kararında katkı sağlama, haritaların üretilmesi, arazi çalışmalarına katkı sağlama ve makalenin yazımında aktif rol alma.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, “Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi” kapsamında destekleyen Orman Genel Müdürlüğü ve Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) yönetici ve personeline, çalışmada katkıları bulunan bütün kişi ve kuruluşlara teşekkürlerimizi bir borç biliriz. Ayrıca bu çalışmada ki bazı veriler Orm. Yük. Müh. Handan Pakih’in yüksek lisans tez çalışmasında kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- Acar, A. (2019) Tortum Kuzey Havzasında Gerçekleşen Kanal ve Oyuntu Erozyonu Miktarının Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Artvin, 95 s.
- Anonim, (2012) *Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (2012-2019)*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara. Web: www.coruhhavzasi.com
- Anonim, (2013) *Erozyonla Mücadele Eylem Planı 2013-2017*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, OGM, Ankara, 100 s.
- Bak, L., Michalik, A., & Tekielak, T. (2013) The relationship between bank erosion, local aggradation and sediment transport in a small Carpathian stream. *Geomorphology*, 191, 51-63.
- Balcı, N. (1996) *Toprak Koruması*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No:3947.
- Bartley, R., Hawdon, A., Post, D.A., & Roth, C.H. (2007). A sediment budget for a grazed semi-arid catchment in the Burdekin basin, Australia. *Geomorphology*, 87, 302-321.
- Bear, D. A. (2011) Pasture Management Effects On Nonpoint Source Pollution of Midwestern Watersheds (Graduate Theses and Dissertations). 11983. *Iowa State University*, Ames, Iowa. USA.
- Blake, G., R., & Hartge, K., H. (1986) Bulk Density. In: Klute A., Ed., *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, 363-382 p.
- ÇMTUEP (2005) Çölleşme ile mücadele Türkiye ulusal eylem planı. Çölleşme ile Mücadele Ulusal Koordinasyon Birimi, *Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları*, No: 250, 124 s, Ankara.
- Dabney, S. M., Vieira, D. A. N., Yoder, D. C., Langendoen, E. J., Wells, R. R., & Ursic, M. E. (2015) Spatially distributed sheet, rill, and ephemeral gully erosion. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(6), SI, Article no: C4014009.
- Duman, A. (2017) Artvin, Erzurum Ve Bayburt İllerindeki Bazı Mikro Havzalarda Bozuk Orman Ve Mera Alanlarında Bazı Toprak Özelliklerinin Belirlenmesi, Uydu Görüntüleri İle İlişkilendirilmesi ve Modellenmesi. Doktora Tezi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Artvin, 172 s.
- Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyaroğlu, S., Kılıç, D, T. & Lise, Y. (2006) Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları. Cilt 2, *Doğa Derneği*, Ankara, 240-241 s
- Fox, G. A., Purvis, R. A., & Penn, C. J. (2016) Streambanks: A net source of sediment and phosphorus to stream and rivers. *Journal of Environmental Management*, 181, 602-614.
- Gomez-Gutierrez, A., Schnabel, S., De Sanjose, J., & Contador, F. L. (2012) Exploring the relationships between gully erosion and hydrology in rangeland of SW Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 56, Suppl. 1, 27-44.
- Le Roux, J. J., & Sumner, P. D. (2012) Factor controlling gully development: comparing continuous and discontinuous gullies. *Land Degradation Development*, 23, 440-449.
- Mararakanye, N., & Sumner, P. D. (2017) Gully erosion: A comparison of controlling factors in two catchment in South Africa. *Geomorphology*, 288, 99-110.
- Owens, P.N., Batalla, R.J., Collins, A.J., Gomez, B., Hicks, D.M., Horowitz, A.J., Kondolf, G.M., Marden, M., Page, M.J., Peacock, D.H., & et al. (2005) *Fine-grained sediment in*

- river systems: *Environmental significance and management issues*. River Res. Appl. 21, 693–717.
- Özav, L. (1995) Oltu (Erzurum) İlçesindeki Köy Yerleşmelerinin Coğrafi Özellikleri İle İlgili Bir İnceleme. Atatürk Üniversitesi, Kâzım Karabekir Eğitim Fak. Coğrafya Eğitimi Bölümü, *Doğu Coğrafya Dergisi*, Sayı:1, s.336-361, Erzurum.
- Özav, L. (1996) Oltu İlçesinde Geçici Yerleşme Şekilleri. Atatürk Üniversitesi, *Türkiyat Araştırma Enstitüsü*, Erzurum. Sayı:4, 115-141 s.
- Palmer, J. A., Schilling, K. E., Isenhardt, T. M., Schultz, R. C., & Tomer, M. D. (2014) Streambank erosion rates and loads within a single watershed: Bridging the gap between temporal and spatial scales. *Geomorphology*, 209, 66-78.
- Rijsdijk, A., Bruijnzeel, L.A. (S.) & Prins, Th.M. (2007) Sediment yield from gullies, riparian mass wasting and bank erosion in the Upper Konto catchment, East Java, Indonesia. *Geomorphology*, 87, 38-52.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute. (2003) SAS Release 9.1 ed. Cary, *North Carolina: SAS Institute, Inc.*
- Simon, A., & Klimetz, L. (2008) Relative magnitudes and sources of sediment in benchmark watersheds of the conservation effects assessment project. *Journal of Soil and Water Conservation*, 63(6), 504-522.
- Simon, A., & Rinaldi, M. (2006) Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology*, 79, 361-383.
- Stover, S. C., & Montgomery, D. R. (2001) Channel change and flooding, Skokomish River, Washington. *J. Hydrol*, 243, 272–286.
- Strahler, A. N. (1957) Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, Vol: 38, No: 6 December 1957. 913-920 p.
- Tufekcioglu, M., Isenhardt, T. M., & Schultz, R. C. (2019) High Stage Events and Stream Bank Erosion on Small Grazed Pasture Stream Reaches in the Rathbun Lake Watershed, Southern Iowa, USA. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*, 9(4), 775-786.
- Tufekcioglu, M. (2006) Riparian Land-Use Impacts on Stream Bank Soil and Phosphorus Losses from Grazed Pastures (Master Thesis). 863. *Iowa State University*, Ames, Iowa, USA.
- Tufekcioglu, M. (2010) Stream Bank Soil and Phosphorus Losses within Grazed Pasture Stream Reaches in the Rathbun Watershed in Southern Iowa (PhD. Dissertations). 11895. *Iowa State University*, Ames, Iowa, USA.
- Tufekcioglu, M. (2018) Gully and Stream Bank Erosion and the Effectiveness of Control Measures in a Semi-Arid Watershed. *Fresenius Environmental Bulletin*, Volume 27 - No. 12/2018 s 8233-8243.
- Tufekcioglu, M., Isenhardt, T. M., Schultz, R. C., Bear, D. A., Kovar, J. L., & Russell, J. R. (2012) Stream bank erosion as a source of sediment and phosphorus in grazed pastures of the Rathbun Lake Watershed in Southern Iowa, United States. *J. Soil Water Conserv.* 67, 545–555.
- URL-1.Su Dünyası Dergisi, Devlet Su İşleri Vakfı, Mayıs-2011(94), 34-36 s. www.dsi.gov.tr/yayinlarimiz/su-dunyasi. Ziyaret: 22.07.2020.
- URL-2. ÇNHRP (2012-2019). Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi. www.coruhhavzasi.com, Ziyaret: 22.07.2020.

- Yavuz, M., & Tüfekçioğlu, M. (2019) *Erozyon İzleme ve Değerlendirme Nihai Raporu (V.05), Bölüm 2, Yüzey Toprak/Su Erozyonu ve RUSLE Erozyon Haritalarının Değerlendirilmesi*, ÇNHRP, Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Yıldırım, C. (2019) Çoruh Nehri Havzası'na Bağlı Olur Mikrohavzası'ndaki Sediment Üretiminin Erozyon Çubuk Yöntemi, Askıda Katı Madde Ölçümü Ve GeoWEPP Tahmin Modeli İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Artvin, 203 s.
- Zaimes, G. N. (2004) Riparian Land-Use Impacts On Stream And Gully Bank Soil And Phosphorus Losses With An Emphasis On Grazing Practices (Doctor Of Philosophy), *Iowa State University*, Ames, Iowa. USA.
- Zaimes, G. N., Tufekcioglu, M., Schultz, R. C. (2019) Riparian Land-Use Impacts on Stream Bank and Gully Erosion in Agricultural Watersheds: What We Have Learned. *Water*, 11(7), 1343.