



Karasu ve Murat Nehirlerinin mendereslenme dinamikleri: 1972–2022 dönemine ait morfometrik bir değerlendirme

Meander dynamics of the Karasu and Murat Rivers: A morphometric assessment for the period 1972–2022

İskender Dölek^{a*} 

^a Muş Alparslan Üniversitesi, Afet Yönetim Uygulama ve Araştırma Merkezi, Muş, Türkiye.

ORCID: İ. D. 0000-0002-5922-8515

BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 27.05.2025

Kabul/Accepted: 10.09.2025

Anahtar Kelimeler:

Menderes
Morfometri
Barajlar
Taşkın

Keywords:

Meander
Morphometry
Dams
Flood

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(İ. Dölek) i.dolek@alparslan.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1707663



Atıf/Citation:

Dölek, İ. (2025). Karasu ve Murat Nehirlerinin mendereslenme dinamikleri: 1972–2022 dönemine ait morfometrik bir değerlendirme. *Türk Coğrafya Dergisi* (88), 25–40.
<https://doi.org/10.17211/tcd.1707663>

ÖZ/ABSTRACT

Bu çalışma, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Muş Ovası'nı drene eden Karasu ve Murat nehirlerinin menderesli kanal dinamiklerini, 1972–2022 yılları arasındaki zamansal ve mekânsal değişimleri temel alarak analiz etmektedir. Çalışmada, ArcGIS tabanlı morfometrik ölçümlerle kanal uzunluğu, menderes sayısı, sinüozite oranı, amplitüd ve dalga boyu gibi temel parametreler kullanılarak, nehirlerin evrimsel süreçleri nicel verilerle değerlendirilmiştir. Bulgular, her iki nehrin de ovanın düşük eğimli yapısına bağlı olarak doğal olarak menderesli akış karakteri gösterdiğini, ancak zaman içerisinde hem doğal süreçler (taşkınlar, sediman taşınımı) hem de beşerî müdahaleler (baraj inşaatları, kanal düzenlemeleri) sonucunda morfolojik değişimler geçirdiğini ortaya koymaktadır. Murat Nehri'nin kuzey kolunda inşa edilen Alparslan I ve Alparslan II baraj yapılarının etkisiyle menderes aktivitesinde azalma ve kanal stabilizasyonu gözlenirken, batı kolunda daha yüksek menderes dinamikleri tespit edilmiştir. Karasu Nehri'nde ise 2008 yılında gerçekleştirilen kapsamlı yatak ıslahı müdahalesi, doğal menderes yapısının büyük ölçüde ortadan kalkmasına ve akım rejiminin değişmesine neden olmuştur. Elde edilen sonuçlar, nehir sistemlerinin doğal evriminin antropojenik müdahalelerle nasıl değişebileceğini ve bunun hem jeomorfolojik hem de ekolojik sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Çalışma, doğal ve yapay süreçlerin birlikte ele alınarak nehir morfodinamiğinin izlenmesi ve sürdürülebilir havza yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca elde edilen morfometrik veriler, taşkın risk analizi ve arazi kullanım planlaması gibi uygulamalarda karar destek mekanizmalarına katkı sunabilecek niteliktedir.

This study analyzes the temporal and spatial dynamics of the meandering channels of the Karasu and Murat rivers, which drain the Muş Plain in Eastern Anatolia, over the period from 1972 to 2022. Using ArcGIS-based morphometric measurements, key parameters such as channel length, number of meanders, sinuosity ratio, amplitude, and wavelength were determined, and the evolutionary processes of the rivers were quantitatively assessed. The findings reveal that both rivers naturally exhibit meandering flow characteristics due to the low-gradient nature of the plain. However, over time, significant morphological changes have occurred as a result of both natural processes (e.g., floods, sediment transport) and anthropogenic interventions (e.g., dam constructions, channel modifications). In the northern branch of the Murat River, a decrease in meander activity and increased channel stabilization were observed due to the influence of dam structures, whereas the western branch displayed more dynamic meandering activity. In the case of the Karasu River, a major channelization project carried out in 2008 led to the elimination of much of its natural meander pattern and altered the river's flow regime. The results demonstrate how the natural evolution of river systems can be significantly altered by human interventions, with substantial geomorphological and ecological implications. This study emphasizes the need to monitor river morphodynamics by considering both natural and artificial processes together and highlights the importance of developing sustainable watershed management strategies. Furthermore, the morphometric data obtained from this research can contribute to decision-support mechanisms in applications such as flood risk analysis and land-use planning.

Extended Abstract

Introduction

This study investigates the temporal and spatial evolution of the Karasu and Murat rivers, which traverse the tectonically-formed Muş Plain in Eastern Anatolia, focusing on their meander dynamics over a 50-year period (1972–2022). Utilizing GIS-based morphometric analysis, key parameters including channel length, sinuosity, meander frequency, amplitude, and wavelength were measured from topographic maps and high-resolution orthophotos. The results demonstrate that both rivers exhibit naturally meandering channels due to the low-gradient terrain, yet have undergone significant morphological transformations due to both natural fluvial processes and anthropogenic interventions. Particularly, the construction of dams on the Murat River and a comprehensive rectification project on the Karasu River have reshaped the geomorphic behavior of these rivers, altering their natural flow regimes and meander evolution.

Data and Methods

Results indicate significant morphological variability and transformation in both river systems. Between 1972 and 2001, the Karasu River experienced a 15% reduction in total channel length due to meander cutoffs, with a notable decline in the number of active meanders. Its sinuosity reached a peak of 2.17 in 2001, marking it as one of the most meandering rivers globally. Following a channelization project in 2008, approximately 40 km of the Karasu River was straightened, eliminating its natural meandering form and accelerating flow velocity.

In contrast, the Murat River's western branch showed the highest lateral migration, with some segments experiencing over 700 meters of displacement. Meanwhile, the northern branch of the Murat River exhibited relative morphological stability, particularly after the construction of the Alparslan I and II dams (1998–2017), which regulated flow and trapped upstream sediment. The morphometric parameters of both rivers, including wave amplitude and sinuosity, display divergent trends driven by a combination of geomorphological setting and human activities.

The findings reveal the dual influence of natural and anthropogenic factors on river morphodynamics. Natural processes, including seasonal snowmelt and sediment transport, played a substantial role in shaping meander development and cutoffs. However, anthropogenic interventions, such as dam construction and artificial straightening, have disrupted the natural equilibrium of the river systems. The Murat River's northern branch has stabilized due to reduced peak discharges and sediment starvation downstream of the dams. In contrast, the rectification of the Karasu River—initially aimed at reducing flood risk—has increased channel slope and erosion potential, raising long-term geomorphic and ecological concerns.

These results align with global examples, such as the Mississippi River, where similar modifications have yielded unforeseen geomorphic instabilities. The Muş Plain serves as a microcosm for understanding how topographic confinement (e.g., northern Murat) versus open floodplain conditions (e.g.,

western Murat, Karasu) produce varying meander behaviors under human influence.

This study underscores the importance of integrating morphometric monitoring with sustainable watershed management. The Karasu and Murat rivers display pronounced meander dynamics, shaped by both natural evolution and human engineering. While flood mitigation goals have been partly achieved—especially in the Karasu case—the geomorphic costs include reduced sinuosity, loss of ecological function, and increased downstream flood risk.

Future strategies should prioritize adaptive management approaches, such as controlled meander restoration, reconnection of abandoned channels, and sediment budget re-evaluation. The morphometric dataset and analytical framework presented here offer valuable tools for planning infrastructure, flood control, and ecological restoration in sediment-rich, low-gradient river environments.

1.Giriş

Flüviyal süreçler, karasal alanların morfolojik evriminde etkin olan en önemli süreçlerden biridir. İklim, topografya, jeolojik özellikler, bitki örtüsü ve zaman gibi çevresel ve yapısal faktörler, akarsuların oluşumu, gelişimi ve morfolojik çeşitliliği üzerinde önemli rol oynarlar (Atalay, 1990; Kondolf vd., 2003; Charlton, 2007; Hugget, 2015; Leopold vd., 2020). Bu süreçler içerisinde özellikle menderesli nehirler, kendilerine özgü yatak dinamikleri ve karmaşık kanal yapılarıyla öne çıkmakta ve hem doğal ortamın hem de insan kültürünün şekillenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Menderesli nehirler sahip oldukları ilginç kanal yapıları itibarıyla insanlığın dikkatini çok eski dönemlerden beri çekmiş, mitolojide, sanatta ve bilimde her zaman ilgi görmüştür (örn. Gürbüz ve Kazancı, 2019). Menderes, akarsu sistemlerinde bank erozyonu, sediman taşınımı ve ikincil akım (helical) dinamiklerinin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan, sinüzoidal (kıvrımlı) ve sürekli yer değiştiren kanal formunu ifade eder. Bu kanal formu, dış banklarda yoğun erozyon ve iç banklarda sediman birikimi (point bar oluşumu) ile karakterize olup, kanalın geometrik parametreleri (örneğin, dalga boyu, genlik, yarıçap ve sinüzite indeksi) aracılığıyla da tanımlanabilir (Gilvear vd., 2000, Frothingham vd., 2003, Gautier vd., 2007, Constantine vd., 2009, Hooke vd., 2010, Blanckaert vd., 2010, Kasvi vd., 2013, Yousefi vd., 2016, İslam vd., 2017, Zhou vd., 2020, İelpi vd., 2020).

Menderesli kanal yapılarının en temel özelliği, nehrin güncel yatağı ile taşkın yatağı arasındaki yüksek genlikli dinamik etkileşimin, özellikle topografik eğim koşulları tarafından belirlenmesidir (Rüther, 2007; Schwenk, 2016). Menderesli nehir kanalları, genellikle eğimin %0,5'ten az olduğu düz veya düze yakın alanlarda (Gürbüz & Kazancı, 2019; Chen, 2020), yalnızca konsolide olmamış alüvyal zeminlerde değil, zaman zaman anakaya üzerinde de gelişim gösterebilir. Topografyanın yanı sıra, antropojenik etkiler de akarsu kanallarının mendereslenme dinamikleri üzerinde önemli değişimlere yol açabilir. Özellikle büyük mühendislik projeleri, baraj inşaatları ve kanal düzenlemeleri, akış rejimini, sediman taşınımını ve bank direncini de-

ğiştirerek kanalın sinüzoidallığını azaltabilir veya menderes gelişimini farklı yönler evirme potansiyeline sahiptir (Motta vd., 2012; Kamarudin vd., 2014; İslam vd., 2017; Ielpi vd., 2020). Bu nedenle, uzun yıllardır farklı disiplinlerden araştırmacılar tarafından doğal dinamikleri detaylı biçimde incelenen menderesli nehir kanallarında, antropojenik etkilerin de kapsamlı şekilde anlaşılması, insan ve doğa etkileşimi açısından da büyük önem taşımaktadır.

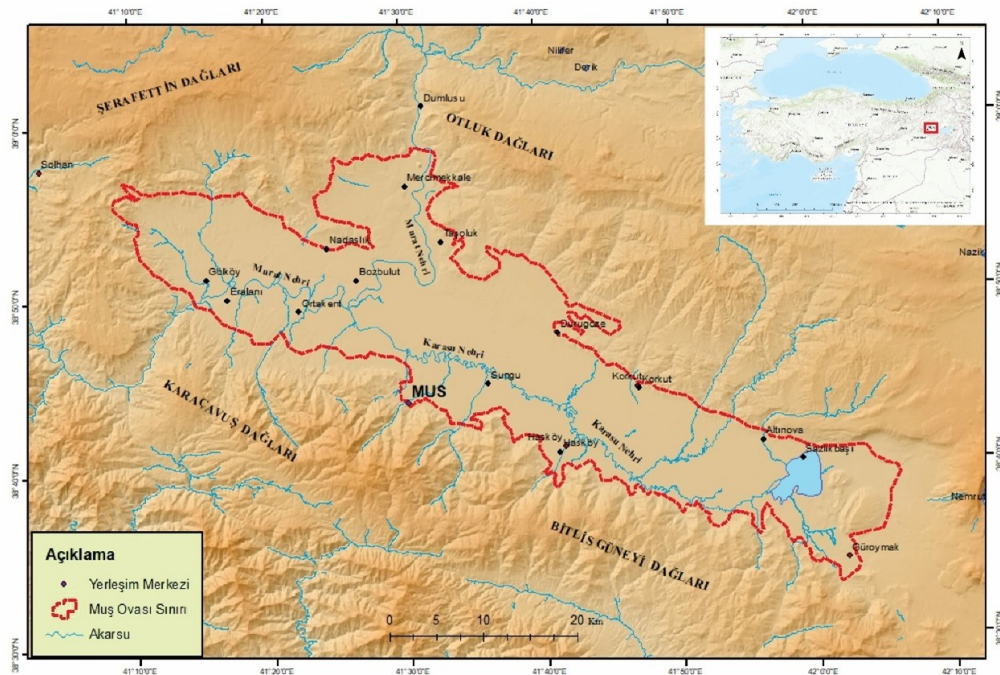
Ortama yapılan her türlü doğal veya yapay müdahalenin etkilerinin değerlendirilmesinde olduğu gibi, akarsuların doğal dinamik özelliklerinin öncelikle ayrıntılı biçimde ortaya konulması; ardından bu özellikler üzerindeki insan kaynaklı etkilerin niteliği ve niceliğinin sistematik analizlerle belirlenmesi gerekmektedir. Bu tür bütüncül yaklaşımlar sayesinde, bir akarsuyun doğal yatak yapısının sahip olduğu iç dinamiklerin yanı sıra, insan müdahaleleri sonucu ortaya çıkan değişimlerin nehrin su kalitesi, sulak alanlarının biyolojik çeşitliliği ve dolayısıyla bölgesel ekosistem üzerindeki etkileri de daha kapsamlı bir biçimde değerlendirilebilir (Rüther, 2007; Selim, 2011; Blanckaert, 2011; Schwenk, 2016).

Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Fırat Nehri beslenme havzasının Yukarı Murat–Van bölümünde yer alan Muş Ovası, yaklaşık 96 km uzunluğunda ve 18 km genişliğinde olup, DKD–BGB doğrultusunda uzanan, enine dar ve uzun morfolojiye sahip tektonik kökenli bir çöküntü alanı niteliğindedir (Şekil 1). Kanal sistemlerinde yoğun mendereslenme örüntüsü sergileyen Karasu ve Murat nehirleri tarafından drene edilen havza, kuzeyde Eosenden – Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bu kayalar üzerinde; Şerafettin (2675 m) ve Otluk (2155 m) dağları; güneyde ise Bitlis Masifi'ne ait metamorfik ve magmatik birimlerden meydana gelen Karaçavuş ve Bitlis Güneyi Dağları ile sınırlandırılmaktadır (Şekil 1). Tektonik kökenli bir oluşum olan Muş Ovası, literatürde "**dağarası havza**" (Şaroğlu & Güner, 1981) veya "**traspresyonel havza**" olarak da tanımlanmaktadır (Uzelli, 2019).

Kuvaterner dönemine ait flüviyal ve gösel çökellerle kaplı olan Muş Ovası'nda, Nemrut Volkanı'nın batısında yer alan İron Sazlığı'ndan kaynaklanan Karasu Nehri, KB–GD doğrultusunda yaklaşık 35 km batı yönünde akar. Bozbulut Köyü yakınlarında kuzeyden gelen Murat Nehri ile birleşir (Şekil 1). Karasu Nehri, Bozbulut Köyü güneyine kadar oldukça düşük eğime sahip (%0,09) bir kanal içerisinde akışını sürdürür. Kuzeyden Muş Ovası'na ulaşan Murat Nehri'nin kuzey kolu ise, Karasu ile birleşme noktasına kadar yaklaşık %0,15 eğime sahip bir kanal boyunca akar. Bozbulut Köyü yakınlarında Karasu ile birleşen Murat Nehri, bu noktada keskin bir dirsek yaparak batıya yönelir. Bozbulut Köyü'nün güneyinde birleşen Karasu ve Murat nehirleri, daha sonra %0,08 eğimli bir kanal boyunca Kızılağaç Beldesi'nin batısında bulunan Ohri (Oruh) Boğazı'ndan geçerek Muş Ovası'nı terk eder (Şekil 1).

Doğu Anadolu'daki akarsu sistemleri üzerine yapılan önceki araştırmalar, bölgenin flüviyal evriminin farklı boyutlarını ortaya koymaktadır. Murat Nehri vadisinin Kuvaterner dönemli tektono-klimatik gelişimi ve taraça oluşumları ayrıntılı biçimde incelenmiştir (Avşin, vd., 2021). Muş Ovası'nda daha küçük ölçekli akarsuların (Çar ve Muş dereleri) morfometrik özellikleri ve taşkın riskine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır (Günek, Sunkar & Toprak, 2013). Karasu Çayı havzasına ilişkin hidromorfometrik analizler ise drenaj yoğunluğu, çatallanma oranı ve havza karakteristiklerini ortaya koymuştur (Toprak & Sunkar, 2017). Ancak bu çalışmalar, nehirlerin uzun dönemli (yaklaşık 50 yıl) mendereslenme dinamiklerini ve insan müdahalelerinin morfoloji üzerindeki etkilerini sistematik biçimde ele almamıştır.

Bu çalışmada, Muş Ovası'nı drene eden Murat ve Karasu nehirlerinin (Şekil 1) (Şekil 4) 1972–2022 dönemindeki zamansal ve mekânsal değişimleri, menderesli kanal yapısı ve dinamikleri temel alınarak incelenmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan morfometrik yöntemler kullanılarak, Murat ve Karasu nehirlerinin menderes dinamikleri ve yatak değişimlerini nicel



Şekil 1. Çalışma alanını temsil eden Muş Ovası ve Karasu ve Murat nehirlerinin günümüz ana yatakları.

Figure 1. The Muş Plain representing the study area and the present-day main beds of the Karasu and Murat rivers.

olarak ortaya koyan veriler üretilmiştir. Bu veriler, Murat ve Karasu nehirlerine ait menderes sayısı, dalga boyu, eğrilik yarıçapı ve toplam kanal uzunluğu gibi morfometrik indisleri kapsamaktadır. Söz konusu 50 yıllık süreçte nehirlerin kanal morfolojilerindeki zamansal ve mekânsal değişimlerin yanı sıra, bu değişimleri yönlendiren doğal ve antropojenik faktörlerin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

2. Mendereslenme Dinamiklerinin Morfometrik Analizi

Nehir sistemlerinin incelenmesinde, toplam uzunluk, menderes sayısı, sinüzoidalite, amplitüd, yay açısı ve dalga boyu gibi morfometrik parametrelerin belirlenmesi, nehirlerin akış karakteristiklerini ve kanal gelişim dinamiklerini anlamada temel analitik araçlar olarak kullanılmaktadır (Leopold vd., 1966; Kondolf, 2006; Knighton, 2014; Kumar vd., 2022). Bu parametreler, nehirlerin zamansal morfolojik evrimini, hangi çevresel ve antropojenik faktörlerden etkilendiğini ve bu değişimlerin su yönetimi, taşkın kontrolü, mühendislik yapıları ile çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirmek için önemli bilgiler sunmaktadır (Mitsudera vd., 2001; Huggett, 2024/2003; Revelli vd., 2002/2011; daleno vd., 2011; Oktay vd., 2016; Cooper vd., 2018; Chen, 2020).

Bu çalışmada, ArcGIS Pro yazılımı kullanılarak haritalar ve ortofoto görüntüleri üzerinden, Karasu ve Murat nehirlerinin Muş Ovası sınırları içerisinde kalan kanal morfolojilerinde meydana gelen zamansal ve mekânsal değişiklikler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ortofoto görüntülerinden sayısallaştırılan kanal sınırları, farklı dönemlerde yapılan arazi gözlemleriyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Arazi çalışmaları sırasında, aktif menderes göçü, kopuk menderes izleri ve yanal erozyon süreçleri yerinde gözlemlenmiş, CBS ortamında üretilen verilerin güvenilirliği sahadan elde edilen bulgularla desteklenmiştir.

Murat ve Karasu nehirlerine ait, toplam kanal uzunluğu, menderes sayısı, sinüzoidalite (bükümlülük/eğrisellik), amplitüd (genlik), yay açısı ve dalga boyu gibi temel morfometrik parametreler hesaplanmıştır. Elde edilen bu morfometrik indisler, 1972–2022 yılları arasındaki zamansal değişimleri ve menderes dinamiklerindeki evrimi değerlendirmek amacıyla birincil veri seti olarak bu çalışmada kullanılmıştır.

2.1. Toplam Uzunluk ve Menderes Sayısı

Toplam kanal uzunluğu ve menderes sayısı, bir nehir sisteminin yapısal özelliklerini ve morfodinamik evrimini analiz etmek için kullanılan temel morfometrik parametrelerden biridir (Şekil 2). Bir nehir kanalının uzaması, doğal eğimin azalmasına yol açarak akış hızını, taşınan sediman miktarını ve kanal yatağı ile kenarlarında meydana gelen erozyon süreçlerini doğrudan etkiler.

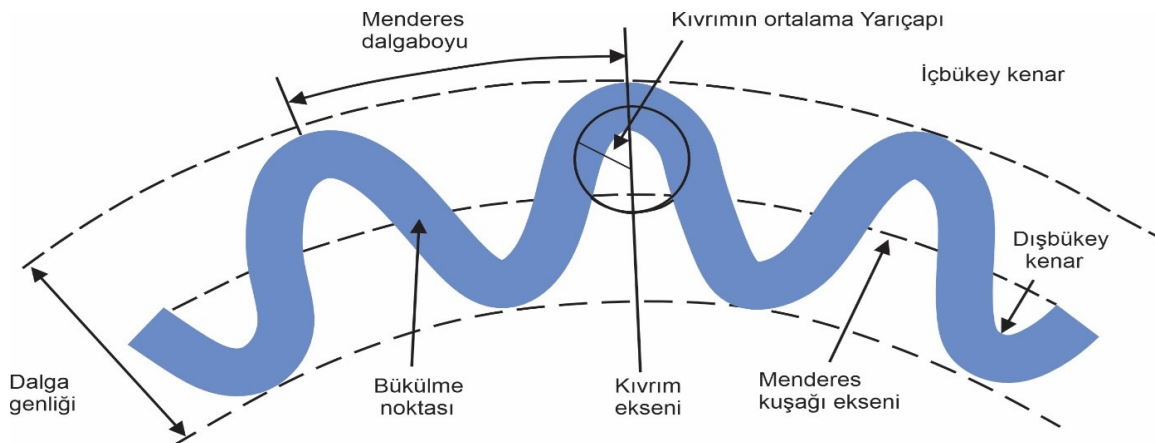
Menderes sayısındaki artış ise, akarsu yatağında hidrolik direncin arttığını ve dolayısıyla su akışını sürdürebilmek için daha fazla enerjiye gerek olduğunu gösterir (Charlton, 2007). Bu nedenle, toplam kanal uzunluğu ve menderes sayısı gibi parametreler, diğer morfometrik göstergelerle birlikte değerlendirildiğinde, bir nehir sisteminin zaman içindeki morfolojik değişimlerini ve dinamik evrimini ortaya koymada önemli bilgiler sunar (Magdaleno, 2011; Zinger, 2013).

Kanal uzunluğu ve menderes sayısındaki zamansal değişimler, yalnızca erozyon ve sedimantasyon süreçlerinin değil, aynı zamanda su rejimindeki dalgalanmaların ve insan kaynaklı müdahalelerin de izlerini taşır. Bu değişimlerin analizi, akarsu yataklarının taşkın kontrol projeleri, baraj inşası veya doğal morfodinamik süreçlerden nasıl etkilendiğini değerlendirmek için kullanılan bir araçtır (Kumar vd., 2022; Nnaji vd., 2023).

Özellikle menderes sayısının belirlenmesi, nehir kanalının kıvrımlı yapısının zaman içindeki gelişimini ve bu gelişimi etkileyen faktörleri anlamada önemli bir ölçüttür. Menderes sayısındaki artış veya azalış; akış hızındaki değişimler, topoğrafik eğim farklılıkları ve erozyon dinamikleri gibi etkenlere bağlı olarak gerçekleşir. Böylece, bir nehir sisteminin stabilite düzeyi ve hangi dönemlerde daha dinamik bir yapı sergilediğine ilişkin bilgiler, uygun veri setlerinin analizi ile elde edilebilir (Mitsudera vd., 2001; Revelli vd., 2008; Huggett, 2024/2003; Oktay vd., 2016; Cooper vd., 2018; Chen, 2020).

2.2. Eğrilik Değeri (Sinüzoidalite)

Eğrilik değeri (sinüzoidalite), bir nehir kanalının kıvrımlı yapısının derecesini nicel olarak tanımlayan başka bir morfometrik parametredir (Şekil 2). Sinüzoidalite, nehir kanalının gerçek uzunluğunun iki nokta arasındaki kuş uçuşu mesafeye oranlanmasıyla hesaplanır (Schumm vd., 1963; Charlton, 2007; Huggett, 2024/2003; Kumar vd., 2022). Kanal uzunluğundaki artış,



Şekil 2. Bir Menderesin tanımlanması ve temel bileşenleri (Charlton, 2007; Huggett, 2024/2003).

Figure 2. Definition of a Meander and its basic components (Charlton, 2007; Huggett, 2024/2003).

kanalın daha kıvrımlı bir yapıya sahip olduğunu ve buna bağlı olarak eğimin azaldığını, hidrolik direncin ise arttığını göstermektedir.

Eğrilik değeri, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\text{Eğrilik Değeri} = \frac{L_m}{L_r}$$

Bu formülde;

L_m : Nehir kanalının gerçek uzunluğu (menderesli uzunluk)

L_r : Nehrin iki nokta arasındaki kuş uçuşu (doğrusal) mesafeyi ifade eder.

Eğrilik değerinin yüksek olması, akarsu yatağındaki menderes sayısının arttığını, akışın yatay düzlemde daha fazla enerji kaybına uğradığını ifade eder. Bu durum, aynı zamanda kanal eğiminin azaldığı, akış hızının düştüğü ve sedimentasyon ile yanal erozyon süreçlerinin güçlendiği şeklinde de yorumlanabilir.

Ortalama eğrilik değeri, özellikle eğimin azaldığı kesimlerde nehrin kıvrımlı yapısının zamansal değişimini değerlendirmek açısından önemli bir göstergedir. Ayrıca bu parametre, nehir kanalının akış yönündeki değişimleri, erozyon ve sedimentasyon süreçlerinin etkisini, taşkın riski potansiyelini ve geleceğe dönük su yönetimi stratejilerini analiz etmek içinde diğer özelliklerle bir arada kullanılabilir (Kumar vd., 2022; Nnaji vd., 2022).

Bu çalışmada, Karasu ve Murat nehirlerine ait ortalama eğrilik değerleri hesaplanarak nehir dinamiklerinin genel davranışına ilişkin bir öngörü oluşturulmaya çalışılmıştır. Ortalama eğrilik değerlerinin hesaplanmasında her bir kıvrıma ait sinüzoidallik değerleri belirlenmiş bunun içinde aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$\text{Ortalama Değer } (\mu) = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{n}$$

$X_1, X_2, \dots, X_n$: Her bir veri noktası

n : Toplam veri sayısı

2.3. Amplitüd (Genlik/Genişlik)

Amplitüd (genlik/genişlik), bir menderesin en dış noktasının nehir kanalının orta hattına olan ortalama uzaklığını ifade eden temel bir morfometrik parametredir (Şekil 2). Ortalama amplitüd değeri, mendereslerin kıvrım derinliğini belirleyerek, nehir yatağındaki yanal genişlemenin değişimi hakkında fikir verebilir.

Mendereslerin oluşumu sırasında meydana gelen yanal genişleme, kanal uzunluğunu artırarak akış hızının ve eğimin azalmasına yol açar. Bu nedenle, mendereslere ait genlik değerleri, akarsu dinamiklerini anlamak, özellikle de kanalın hangi bölgelerinde daha aktif değişimlerin, hangi bölgelerde ise daha stabil morfolojik yapıların bulunduğunu belirlemek için kullanılabilir.

Geniş ve derin mendereslerin, düşük akış hızına ve etkili yanal erozyon süreçlerine sahip alanlarda geliştiği bilinmektedir. Bu

durum, menderesli nehirlerin taşkın kontrolü, yatak yönetimi ve morfolojik istikrar analizleri için amplitüd parametresini önemli bir değerlendirme unsuru haline getirmektedir (Leopold vd., 1966; Kumar vd., 2022; Leopold vd., 2020; Nnaji vd., 2022).

Amplitüd değeri, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\text{Amplitüd (Genlik/Genişlik)} = \frac{(D_1 + D_2)}{2}$$

burada;

D_1 : Menderesin başlangıç noktasından kıvrımın dış kenarına olan mesafe

D_2 : Menderesin bitiş noktasından kıvrımın dış kenarına olan mesafeyi ifade eder.

2.4. Yay Açısı

Ortalama yay açısı, bir nehir kanalının kıvrım yaptığı her bölümde meydana gelen bükülmenin açısal büyüklüğünü ifade eder (Şekil 2). Yay açısı, mendereslerin keskinliğini nicel olarak ölçmeye olanak sağlayarak, nehir yatağının morfodinamik süreçlerinin analizinde kullanılan bir diğer morfometrik indis değeridir (Blanckaert vd., 2010; Blanckaert, 2011).

Yay açısının analizi, bir nehir sisteminin menderes dinamiklerinin ne derece aktif olduğunu belirlemek açısından da önemlidir. Daha geniş yay açılarına sahip nehirler, daha büyük çaplı ve geniş menderesler oluşturur; bu durum, nehir yatağının zaman içerisinde daha geniş alanlara yayıldığını gösterir.

Bu veriler, taşkın risk değerlendirmeleri, nehir yatağının genişleme yönü ve su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından değerli veriler sağlar (Schumm vd., 1963; Leopold vd., 1966; Kondolf, 2006; Knighton, 2014; Kumar vd., 2022; Leopold vd., 2020; Nnaji vd., 2022).

Yay açısının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$\text{Yay Açısı } (\theta) = \frac{L_m}{R}$$

Bu formülde;

θ : Yay açısı (radyan cinsinden)

L_m : Yayın uzunluğu (menderesin eğrisel uzunluğu)

R : Yayın yarıçapı (menderesin merkezinden yayılan mesafe)

Eğer yay açısını derece cinsinden hesaplamak istenirse,

$$\text{Yay Açısı } (\theta) = \frac{(\text{Yay Açısı (Derece)})}{\pi} * 180$$

formülü ile hesaplanabilir.

2.5. Dalga Boyu

Dalga boyu, bir menderes kıvrımının başlangıç noktasından bir sonraki kıvrımın başlangıç noktasına kadar olan yatay mesafeyi ifade eder ve nehir kanalının menderesli yapısının temel ka-

rakteristiklerinden biri olarak kabul edilir (Şekil 2). Dalga boyu parametresi, diğer morfometrik ölçütlerle birlikte değerlendirildiğinde, menderesli nehirlerin yapısal özelliklerini ve morfo-dinamik süreçlerini anlamada önemli bir değerlendirme ölçütüdür.

Dalga boyu, akarsu yatağındaki eğim, akış hızı ve sedimantasyon süreçlerine bağlı olarak değişir. Daha uzun dalga boylarına sahip nehirler genellikle daha az kıvrımlı bir yapıya sahip olup, daha yüksek akış hızlarına ve daha düşük yatay enerji kaybına sahiptirler.

Dalga boyunun analizi, nehirlerin enerji seviyelerindeki değişimleri ve akış rejimi dinamiklerini değerlendirmek için kullanılır (Schumm vd., 1963; Kondolf, 2006; Knighton, 2014; Kumar vd., 2022). Ayrıca dalga boyu, menderes gelişim süreçlerinin anlaşılması ve gelecekte meydana gelebilecek kanal morfolojisi değişimlerine ilişkin öngörülerin oluşturulması açısından da önemli bir göstergedir.

Dalga boyu değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$\text{Dalga Boyu } (\lambda) = \frac{L_m}{N}$$

Bu formülde:

λ : Dalga boyu (menderesler arasındaki mesafe)

L_m : Nehrin menderesli uzunluğu

N : Menderes sayısı'nı ifade eder.

3. Bulgular

Muş Ovası'nı drene eden Murat ve Karasu nehirlerinin menderesli kanal yapılarında, son 50 yıllık süreçte belirgin morfometrik değişimler meydana gelmiştir. Bu değişim, menderes geometrisine ilişkin toplam kanal uzunluğu, menderes sayısı, kıvrımlılık (sinüzoidalılık) oranı, amplitüd (genlik) ve dalga boyu gibi parametrelerdeki yaşanan zamansal ve mekânsal değişim-

ler tablo (Tablo 1), şekillerle (Şekil 3,4,5,6) ortaya konulmaktadır. Şekil 3,4,5,6'da Murat ve Karasu nehirlerinin farklı yıllara (1972, 1988 ve 2022) ait yatak konumları sunulmakta; Tablo 1'de ise bu dönemlere ilişkin hesaplanan temel morfometrik indis değerleri gösterilmektedir.

Elde edilen bulgular, her iki nehrin de Muş Ovası içerisindeki yataklarında yüksek düzeyde morfodinamik aktiviteye sahip olduğu görüşünü desteklemektedir. Bununla birlikte, kanal morfodinamiklerinin Karasu ve Murat nehirleri ile, bu nehirlerin yataklarının farklı kesimleri arasında değişkenlik gösterdiği söylenebilir.

3.1. Karasu Nehri

1970'lerden 2000'lerin başına kadar Karasu Nehri'nin toplam kanal uzunluğunda belirgin dalgalanmalar ve net bir azalma saptanmıştır (Tablo 1). 1972 yılında yaklaşık 107 km olan kanal uzunluğu, 2001 yılına gelindiğinde ~91 km'ye düşerek yaklaşık %15 oranında bir kısalma göstermiştir. Bu kısalma, büyük ölçüde doğal menderes kesilmeleri ile 2000'li yıllara doğru artan beşerî müdahalelerin etkisiyle ilişkilendirilmektedir.

Aynı dönemde Karasu Nehri üzerindeki aktif menderes sayısında da azalma eğilimi gözlenmiştir. 1980'lerde 143 olan aktif menderes sayısı, 2001 yılında 132'ye gerilemiştir (Tablo 1).

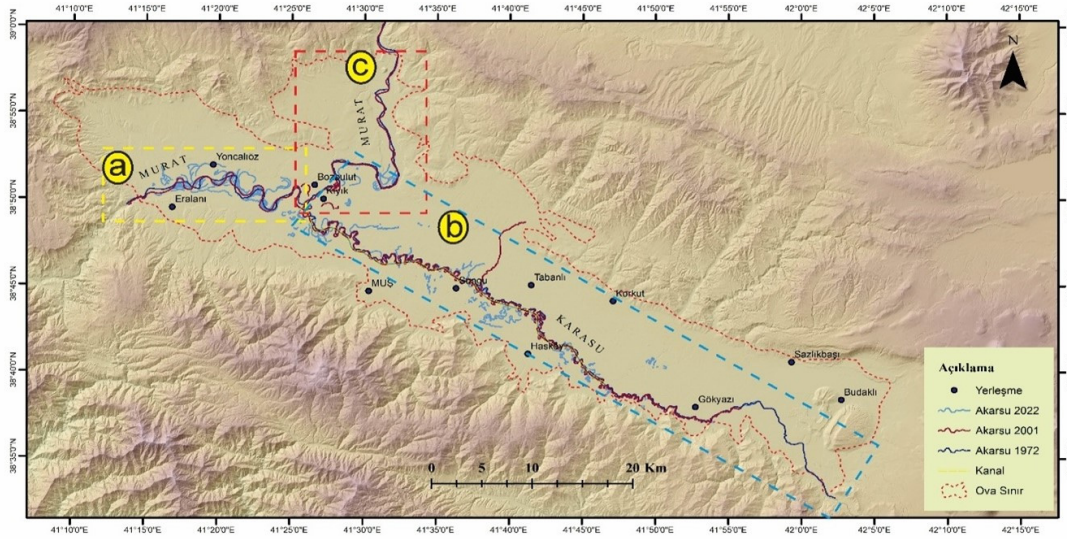
Ortalama kıvrımlılık (sinüzoidalılık) değeri, incelenen dönem boyunca 1,4 ile 2,2 arasında değişim göstermiş; 2001 yılında yaklaşık 2,17 ile maksimum seviyeye ulaşmıştır. Bu yüksek sinüzoidalite değeri, Karasu Nehri'nin oldukça kıvrımlı bir akış yolu izlediğini ve akışa karşı önemli bir kanal direnci oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Ortalama menderes genişliği (amplitüd) 1972 yılında ~154 metre iken, 2001 yılında ~220 metreye yükselmiştir. Menderes dalga boyu ise analiz süresince genel olarak 400–500 metre aralığında seyretmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Karasu ve Murat Nehirlerine ait morfometrik değerler.

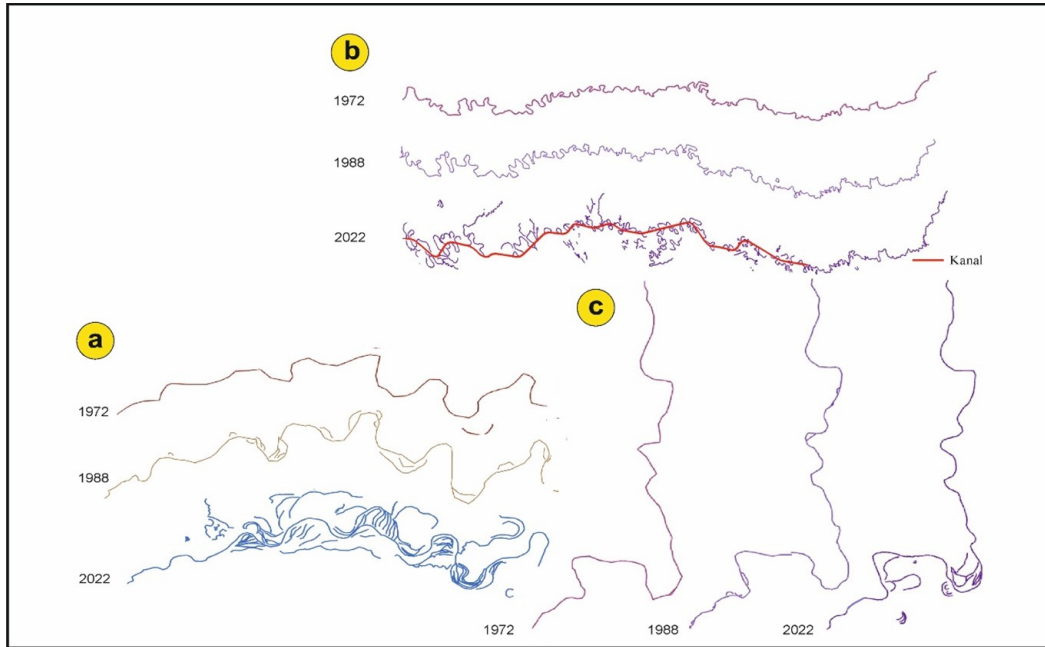
Table 1. Morphometric values of the Karasu and Murat Rivers.

	Toplam Uzunluk	Menderes Sayısı	Ortalama Bükümlülük (Eğrisellik)	Ortalama Amplitüd	Ortalama Dalga Genliği
Karasu (1965)	78,69	128	1,66	154,2	382,46
Karasu (1972)	91,12	132	1,42	160,14	487,2
Karasu (1988)	101,34	143	1,9	183,3	405,82
Karasu (2001)	91,2	132	2,17	220	486,91
Murat (Batı) 1953	32,64	26	1,26	241,64	970,93
Murat Batı (1972)	32,8	21	1,25	311,3	1212,34
Murat Batı (1988)	39,61	40	1,22	212	779
Murat Batı (2001)	30,45	35	1,29	194,7	624,15
Murat Batı (2022)	27,9	18	1,41	357,36	1095
Murat Kuzey (1972)	39,02	25	1,16	286,16	1277,56
Murat (Kuzey) 1988	38,98	41	1,09	146,37	832,5
Murat (Kuzey) 2001	40,86	45	1,1	147,63	790,45
Murat Kuzey (2022)	40,62	39	1,14	201,8	830,44



Şekil 3. Karasu ve Murat nehirlerinin 1972-2022 yılları arasındaki akarsu yatakları.

Figure 3. Streambeds of Karasu and Murat streams between 1972-2022.



Şekil 4. 1972-2022 yılları arasında Karasu ve Murat nehirlerinin değişen kanal yapısı. (a) Murat nehrinin batı kolu, (b) Murat Nehrinin kuzey kolu, (c) Karasu nehrinin akarsu yatakları.

Figure 4. Changing channel structure of Karasu and Murat rivers between 1972 and 2022. (a) Western branch of Murat River, (b) Northern branch of Murat River, (c) Streambeds of Karasu River.

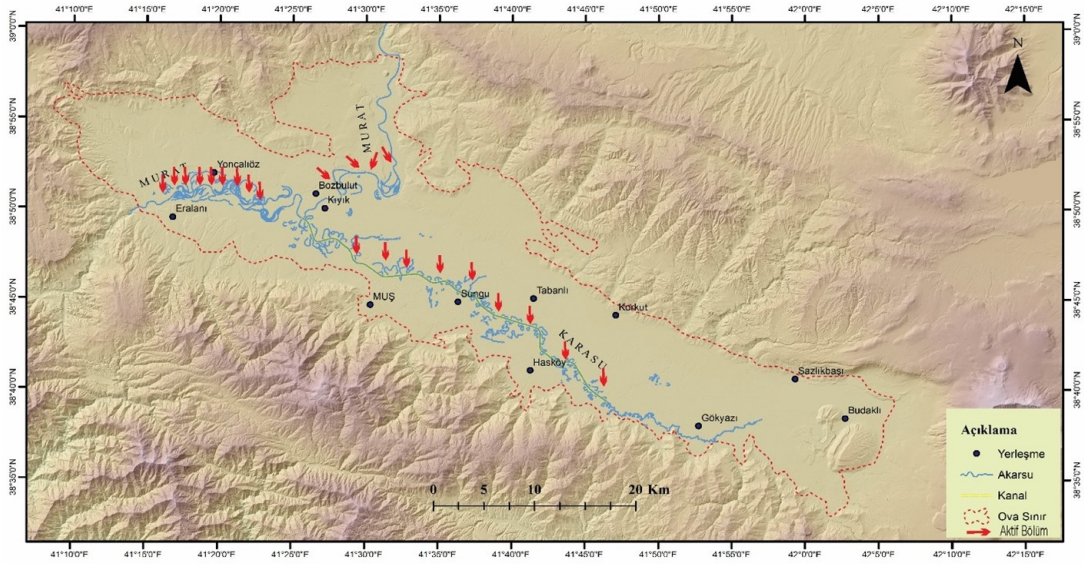
Karasu Nehri'nde gözlemlenen bu morfometrik değişimler, nehir kollarının sık sık yer değiştirdiğini ve bazı büyük mendereslerin kesilerek güncel yatağın dışına çıktığını göstermektedir. Ova tabanında, Karasu Nehri'nin yakın çevresinde çok sayıda eski menderes gölü (oxbow gölü) ve kopuk menderes gözlenmektedir (Şekil 3, 4, 5 ve 6), (Fotoğraf 1). Bu yapılar, Karasu Nehri'nin yakın geçmişte geçirdiği menderes kopmalarını somut olarak da göstermektedir.

İncelenen dönem boyunca (1972–2022), Karasu Nehri yatağının batı yönünde göç ettiği belirlenmiştir. Bu lateral göç oranı, Karasu nehrinin farklı kesimlerinde 0,37 metreden 700 metreye kadar bir değişim göstermektedir. Özellikle Karasu Nehri'nin Murat Nehri'ne katılmadan önceki 20–50. kilometreleri arasındaki kesim, en yoğun menderes dinamiklerini sergileyen bölge olarak belirlenmiştir (Şekil 5), (Şekil 7a,b). Bu kesimde yanal

aşınma ve menderes büyümesi daha hızlı gerçekleşmiş; bazı bölgelerde büyük mendereslerin kopmasıyla birlikte birkaç yüz metreyi bulan kalıcı yatak değişimleri meydana gelmiştir.

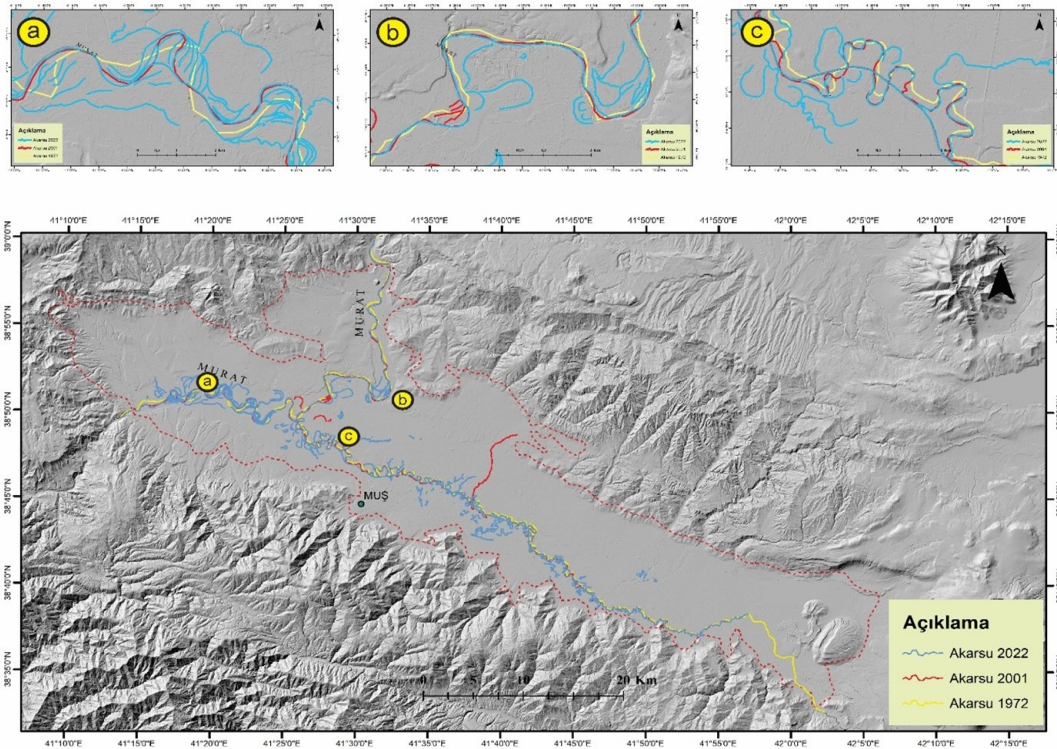
1972–2001 dönemi sonunda yalnızca kanal uzunluğunda kısalma ve menderes sayısında azalma yaşanmamış, aynı zamanda sinüzoidal değerlerinde de düşüş eğilimi gözlenmiştir. Bu değişimlerin doğal flüvyal dinamiklerin yanı sıra, sık yaşanan taşkınlar (Dölek, 2013; 2015; Dölek vd., 2017; Kalın, 2024) ve bunların tetiklediği yatak ıslahı müdahaleleri ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir (Fotoğraf 1).

Nitekim 2000'li yılların sonunda (özellikle 2008 itibarıyla) başlatılan kapsamlı ıslah projeleriyle nehrin önemli bir bölümü düzeltilmiş ve doğal menderes yapısı büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır (bkz. Tartışma Bölümü).



Şekil 5. Karasu ve Murat nehirlerinin kanalları içerisinde yatak değişiminin en yoğun yaşandığı ve morfodina mik açıdan en aktif kesimler (kırmızı oklarla gösterilen alanlar). Bu bölgeler, özellikle menderes göçü ve yanıl erozyon süreçlerinin hızlandığı alanları işaret etmekte olup, flüvyal sistemin doğal evrim kapasitesini ve insan müdahalelerine duyarlılığını açık biçimde göstermektedir.

Figure 5. The most intense channel changes and the most morphodynamically active sections within the Karasu and Murat river channels (areas indicated by red arrows). These areas indicate areas where meander migration and lateral erosion processes are particularly accelerated, clearly demonstrating the fluvial system's capacity for natural evolution and its susceptibility to human intervention.



Şekil 6. Karasu ve Murat akarsularının 1972-2022 yılları arasındaki akarsu yatakları.

Figure 6. Streambeds of Karasu and Murat streams between 1972-2022.

3.2. Murat Nehri – Batı Kolu

Muş Ovası içerisinde akan Murat Nehri'nin batı kolu (Şekil 3c), çalışma döneminde en yoğun morfodinamik değişimlerin gözlemlendiği kesimlerden biridir. 1972 yılında yaklaşık 32,8 km olan batı kolunun kanal uzunluğu, 2022 yılında 27,9 km'ye düşerek yaklaşık %12,8 oranında kısalmıştır (Tablo 1). Bu kısalma, nehirde sıkça meydana gelen menderes kopmalarının etkisiyle daha düz bir akış hattının oluştuğunu göstermektedir. Nitekim 1972 yılında 21 olan aktif menderes sayısı, 2022 yılında 18'e gerilemiştir.

Menderes sayısındaki bu azalmaya karşın, ortalama menderes genişliğinde artış gözlenmiştir. 2001 yılında yaklaşık 195 metre olan ortalama genlik (Tablo 1), 2022'de ~357 metreye ulaşmıştır. Bu durum, daha az sayıda ancak daha büyük yarıçaplı mendereslerin baskın hale geldiğini göstermektedir.

Batı kolunun ortalama sinüzoidalite oranı, 1970'li yıllarda yaklaşık 1,25 iken 2022 yılında 1,41'e yükselmiştir. Bu artış, nehir uzunluğu azalmasına rağmen kıvrımlılık derecesinin az da olsa arttığını göstermektedir.



Foto 1. Karasu Nehri yatağında kopuk menderesler (Muş Ovası, Muş Havalimanı güneyi, 2022). Görselde ok işaretleri, ıslah müdahaleleri sonrasında akarsu kanalından ayrılan eski menderes izlerini göstermektedir. Bu tür kopuk menderesler, kanalın yapay olarak stabilize edilmesinin ardından flüvyal sistemin doğal evrim kapasitesinin sınırlandırıldığının somut göstergeleridir.

Photo 1. Abandoned meander loops along the Karasu River channel (Muş Plain, south of Muş Airport, 2022). Arrows indicate former meander traces that became disconnected from the active channel following river training interventions. Such abandoned meanders provide tangible evidence that artificial channel stabilization constrains the natural evolutionary capacity of fluvial dynamics.



Foto 2. Murat nehrinin batı kolu üzerinde gözlenen yatak değişim izleri (Muş Ovasının güneybatısı, 2023). Fotoğrafta, menderes göçü ve yanal erozyon süreçlerinin oluşturduğu eski kanal izleri açıkça seçilmektedir. Bu tür izler, nehir yatağının kısa dönemli morfolodinamik tepkilerini ve kanal stabilitesindeki değişimleri göstermesi bakımından önemlidir.

Photo 2. Traces of channel migration observed along the western branch of the Murat River (southwestern Muş Plain, 2023). The photograph clearly illustrates abandoned channel scars formed by meander migration and lateral erosion processes. Such features provide valuable evidence of the river's short-term morphodynamic responses and variations in channel stability.

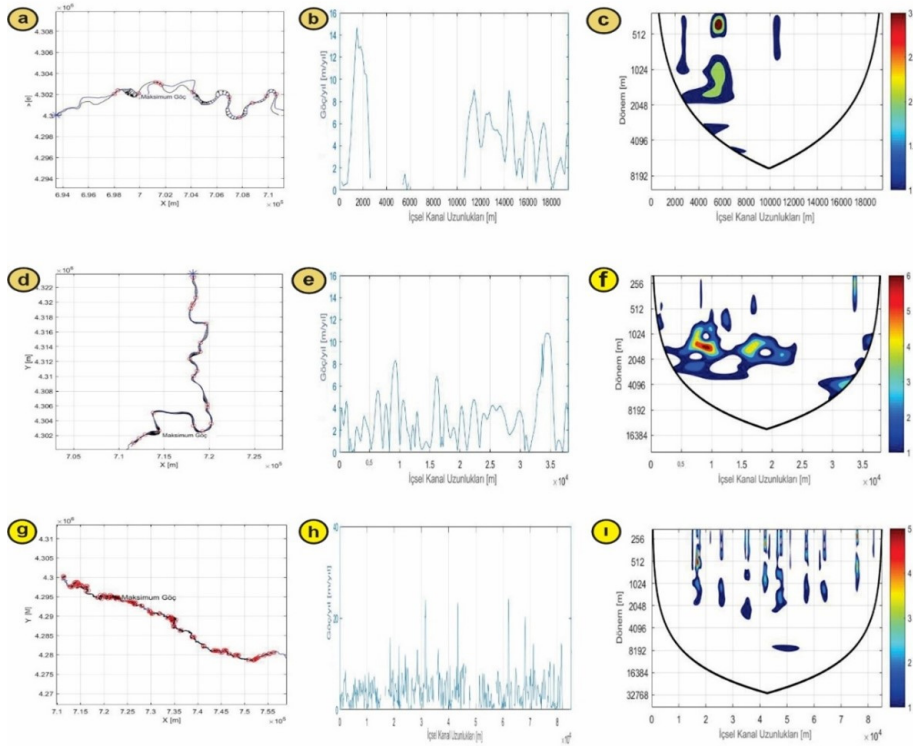
Detaylı konumsal analizler, batı kolundaki lateral (yanal) kanal göçünün nehir boyunca homojen dağılmadığını göstermektedir. 1972–2022 yılları arasında, batı kolun farklı kesimlerinde 0,56 metreden 732 metreye kadar yer değiştirdiğini göstermektedir (Şekil 6b), (Şekil 7d, f).

Özellikle 7. ile 12. kilometreler arasındaki kesimde (Şekil 5) menderes dinamiklerinin ve yanal yer değiştirme oranlarının maksimum seviyelere ulaştığı belirlenmiştir. Bu bölgede büyük boyutlu menderesler gelişmiş, akış yatağı sık sık yer değiştirmiş ve bazı menderes boyunlarının kesilmesi sonucunda nehir yolu kısalmıştır (Şekil 6b). Sonuç olarak, bu bölümde kanal uzunluğu azalmış, yatak eğimi artmış ve bu durum suyun enerji seviyesinde yükselmeye neden olarak kanalın daha aktif bir hâle gelmesini sağlamıştır. Söz konusu kesimde, artan eğimle birlikte akış direnci azalmış ve nehir, kendi kendini hızlandıran bir

döngü içerisinde yanal göçünü sürdürmüştür.

Teorik olarak, ideal koşullarda bir nehir sisteminde mendereslerin simetrik ve düzenli gelişimi, kanal enerjisinin verimli kullanıldığını ve kanal uzunluğunun zamanla artabileceğini göstermektedir (Charlton, 2007). Ancak Murat Nehri'nin batı kolunda gözlemlenen asimetrik menderes gelişimi, akış koşulları ile sediman dağılımındaki zamansal değişkenliğin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Bu nedenle, bazı menderesler hızla büyüyüp koparken, diğerleri görece durağan kalmış ve farklı büyüme dinamikleri sergilemiştir. Murat Nehri'nin batı kolunda tespit edilen bu farklılaşmış morfolodinamik davranış, kanal evriminin oldukça karmaşık ve yüksek derecede değişken olabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Karasu (a,b,c) ve Murat Nehirlerine ait (d,e,f,g,h,i) 1977-2022 yılları arasındaki menderes göçü (a,d,e), menderes genişliği (b,e,h), menderes aktivitesi (c,f,i).

Figure 7. Meander migration (a,d,e), meander amplitude (b,e,h), meander activity (c,f,i) of Karasu (a,b,c) and Murat Rivers (d,e,f,g,h,i) between 1977-2022.

3.3. Murat Nehri – Kuzey Kolu

Murat Nehri'nin kuzey kolu, Muş Ovası'nı kuzeyden sınırlayan dar bir vadi içerisinde aktığı için, görece daha düşük düzeyde menderes aktivitesi göstermektedir. 1972–2022 dönemi boyunca, kuzey kolun kanal uzunluğunda %4,1 oranında bir artış kaydedilmiştir. 1972 yılında yaklaşık 39,0 km olan kanal uzunluğu, 2022 yılında ~40,6 km'ye ulaşmıştır (Tablo 1).

Bu uzama, menderes sayısında azalma olmasına rağmen meydana gelmiştir. Nitekim 2001 yılında 45 olarak tespit edilen aktif menderes sayısı, 2022 yılında 39'a gerilemiştir. Ortalama kıvrımlılık (sinüzoidalite) değeri ise yaklaşık 1,1 seviyelerinde sabit kalmış ve anlamlı bir değişim göstermemiştir.

Elde edilen bulgular, kuzey kolunda menderes boylarının kısmen azalmasına karşın, kanal uzunluğundaki artışın, küçük yarıçaplı yeni kıvrımların gelişmesiyle ve büyük ölçekli mendereslerin kesilmeden korunmasıyla ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Ortalama menderes genişliği, 1970'li yıllarda yaklaşık 286 metre iken, 1980'lerde belirgin bir azalmayla 146 metreye düşmüştü; 2000'li yıllar boyunca ~147 metre seviyesinde sabit kalmış ve 2022 yılında tekrar ~202 metreye yükselmiştir (Tablo 1).

Bu değişim, kuzey kolunun incelenen süreçte başlangıçta daha doğrusal bir akış eğilimi gösterdiğini (muhtemelen azalan debi ve sediman taşınımıyla ilişkili olarak) ve takip eden dönemde ise kısmi bir menderes gelişimi yaşadığını ortaya koymaktadır.

Detaylı mekânsal analizler, kuzey kolun 10. ile 30. kilometreleri arasındaki kesimde (Şekil 5) lokal olarak daha belirgin mende-

res gelişimi ve yanal yer değiştirme dinamiklerinin etkin olduğunu göstermiştir (Şekil 7b, Şekil 7f). Kuzey kolda yıllık ortalama yatak göçü hızı 3,02 metre olarak hesaplanmış; maksimum lateral yer değiştirme ise yaklaşık 538 metre olarak belirlenmiştir (7d,f).

4. Tartışma

Bu çalışmanın bulguları, Karasu ve Murat nehirlerindeki menderes dinamiklerinin doğal süreçlerle beşerî etkilerin bileşik bir sonucu olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak bir nehir sisteminde akış rejimi ve sediman taşınımı, kanal morfolojisinin evriminde temel belirleyici unsurlardır. Akarsu debisi ve akım sürekliliği, kanalın oyulması ve birikmesi için gerekli enerjiyi sağlarken; sediman yükü ve taneli yapısı, kanalın şekil değişimlerine karşı gösterdiği direnci belirlemektedir (Charlton, 2007).

Literatürde de vurgulandığı üzere, kanal morfolojisi uzun vadede hem doğal jeomorfolojik süreçlerden hem de antropojenik müdahalelerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Büyük ölçekli taşkınlar, nehir yatağında ani değişimlere (yeni yatak açılması, menderes kopmaları gibi) yol açabilirken; baraj inşası gibi insan kaynaklı müdahaleler, akım ve sediman rejimini köklü biçimde değiştirerek kanal formunu farklı bir denge durumuna doğru zorlamaktadır (Charlton, 2007).

Bu çalışmanın bulguları da, incelenen dönem boyunca Murat ve Karasu nehirlerinin morfolojisinin hem iklimsel ve hidrolik koşullar (mevsimsel akım değişimleri, ekstrem yağışlar, kar erimesi kaynaklı taşkınlar) hem de beşerî müdahaleler (barajlar, kanal düzenlemeleri, sediman miktarındaki değişim) tarafından biçimlendirildiğini açık bir şekilde göstermektedir.



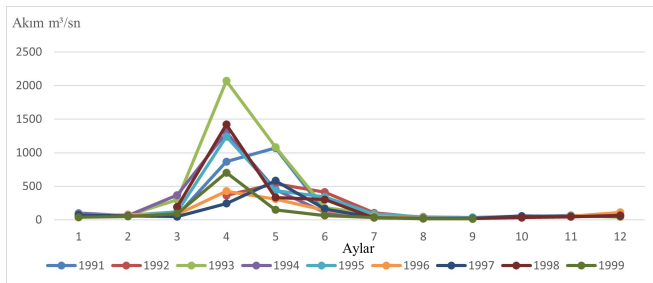
Foto 3. Karasu ve Murat Nehirlerinde gözlenen yatak değişimine ait izler.

Photo 3. Traces of channel changes observed in the Karasu and Murat Rivers.

Murat Nehri vadisinin jeomorfik evrimi yalnızca güncel hidrografik koşulların değil, tektono-klimatik süreçlerin de ürünüdür. Avşin vd. (2021), Kuvaterner boyunca farklı iklim evreleri ve tektonik hareketlerin belirleyici olduğunu, özellikle Holosen ve Son Buzul Maksimumu'na ait taraçaların bu kontrolü yansıttığını ortaya koymuştur. Bu bulgu, çalışmamızda incelenen menderes dinamiklerinin beşerî etkiler kadar bölgesel jeodinamik arka planla da ilişkilendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

4.1. İklimsel ve Hidrografik Etkiler

Doğu Anadolu Bölgesi'nde hüküm süren karasal iklim ve yüksek rakım koşulları, bölgedeki akarsuların akım rejimini büyük ölçüde mevsimsel kar erimelerine bağımlı kılmaktadır. Murat ve Karasu nehirleri, ilkbahar aylarında kar erimesi ve yağışların birleşimiyle yüksek debilere ulaşmakta, yaz sonuna doğru ise akım seviyeleri belirgin şekilde azalmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Murat ırmağının batı kolu üzerinde Elektrik Etüd İdaresi (EEİ) tarafından ölçülen akım miktarı.

Figure 8. Current amount measured by the Electricity Research Administration (EEI) on the western branch of the Murat River.

Bu mevsimsel akım dalgalanmaları, menderes oluşumu ve gelişimi için periyodik olarak enerji girdileri sağlamaktadır. Özellikle ilkbahar taşkınları, nehir kenarlarında yanıl erozyonu artırarak mendereslerin genişlemesine ve keskin kıvrımların kopmasına neden olabilmektedir.

Tarihsel kayıtlar, 20. yüzyılın son çeyreğinde Karasu Nehri'nde sık taşkın olaylarının yaşandığını göstermektedir (Dölek, 2013; 2015; Dölek vd., 2017; Kalın, 2024). Bu taşkınlar, yeni yan kol- ların oluşmasına ve eski mendereslerin devre dışı kalmasına yol açarak morfodinamik evrimi hızlandırmıştır.

Bununla birlikte, son 30 yılda iklim değişikliğinin bir yansıması olarak "rain-on-snow" tipi ani taşkın olaylarının sıklığında azalma gözlenmektedir. Bu durum, ekstrem akım olaylarının azalmasına bağlı olarak menderes kopmalarının doğal sıklığında da düşüşe yol açmış ve nehirlerin daha durağan bir morfolojik yapı kazanmasına neden olmuştur.

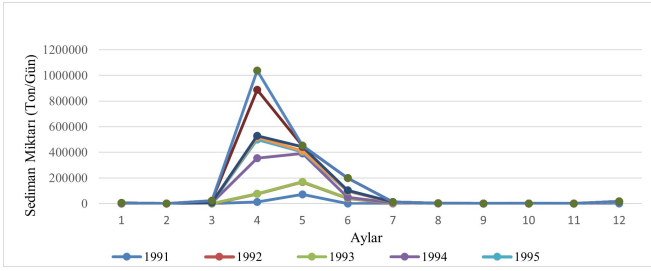
Murat Nehri'nin kuzey kolunda sinüzoidalite değerlerinin görece sabit kalması, akım rejimindeki bu yumuşamanın dolaylı bir sonucu olarak değerlendirilebilir.

Muş Ovası örneğinde de yüksek enerjili yıllarda hızlı menderes büyümeleri ve kesilmeleri gözlenirken, düşük enerjili yıllarda kanalın daha sabit kaldığı, mevcut mendereslerin olgunlaşma fırsatı bulduğu düşünülebilir.

4.2. Mühendislik Yapıları ve Beşerî Etkiler

Murat ve Karasu nehirleri üzerinde son yarım yüzyılda gerçekleşen insan kaynaklı müdahalelerin, menderes dinamiklerini köklü biçimde etkilediği görülmektedir (Tablo 1). Özellikle baraj inşaatları, akarsu rejimini ve sediman taşınımını değiştirerek nehir morfolojisinde dolaylı ancak kalıcı etkiler yaratmaktadır.

Murat Nehri'nin yukarı havzasında inşa edilen Alparslan I (1998–2002) ve Alparslan II (2013–2017) barajları, incelenen dönemin ikinci yarısında devreye girmiş ve özellikle kuzey kolun akım rejiminde belirleyici bir rol oynamıştır. Bu barajlar, büyük taşkınları kontrol altına alarak akımı yıl içine yaymakta; öte yandan, taşıdıkları sedimanın büyük kısmını rezervuarlarında tutarak aşağı mansaptaki sediman yükünü önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 9. Murat ırmağının batı kolu üzerinde Elektrik Etüd İdaresi (EEI) tarafından ölçülen sediman miktarı.

Figure 9. The amount of sediment measured by the Electricity Research Administration (EEI) on the western branch of the Murat River.

Murat Nehri özelinde, barajların etkisiyle 2000’li yıllardan itibaren kuzey kolda menderes dinamiklerinin belirgin biçimde azaldığı ve kanalın oldukça stabil bir yapıya kavuştuğu gözlenmiştir (Tablo 1). Ayrıca çalışma sahasında bulunan kum ocakları ve inşaat amaçlı malzeme alımları da özellikle baraj inşaat dönemlerinde nehirde çıkarılan sediman miktarını artırarak yatakta sediman açığının büyümesine neden olmuştur.

Bu çalışma kapsamında Murat nehrinin kuzey kolunda, barajlar sonrası dönemde menderes artışının durması ve bazı küçük mendereslerin aktifliğini yitirmesi, literatürdeki benzer çalışmalarla da uyumluluk göstermektedir. Örneğin, dünyanın birçok nehrinde (Karkheh Nehri/İran, Garonne Nehri/İspanya) baraj inşaatı sonrası kanal daralması ve kanal morfolojisinin gelişiminin yavaşladığı; barajların akım rejimini düzenlerken aynı zamanda sediman rejimini değiştirdiğini ve bunun doğrudan kanal formuna yansıdığı vurgulanmaktadır (Osterkamp vd., 1998; Marren vd., 2014; Liaghat, vd., 2017; Kumar vd., 2022).

Karasu Nehri’nde ise insan etkisi ile kanal morfolojisinin değişimi daha belirgindir. Karasu, Muş Ovası’nda tarihsel olarak en geniş menderesli paterne sahip akarsudur; ancak sık tekrar eden taşkınlar ve ova yerleşimleri üzerinde yarattığı riskler nedeniyle 2008 yılında kapsamlı bir mühendislik müdahalesine tabi tutulmuştur. Bu müdahale, “Karasu Nehri Yatak Islahı ve Taşkın Önleme Projesi” adıyla yürütülmüş ve nehrin önemli bir bölümü düzeltilerek doğal menderes sistemi büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır.

Bu projenin bir parçası olarak Karasu Nehri’nin yaklaşık 40 km’lik kesimi düz bir kanal içerisine alınmış; yani mevcut menderesli doğal yatak tamamen kesilerek yerine yapay ve doğrusal bir yatak oluşturulmuştur (Foto 1). Bu müdahale sonucunda nehrin ovadaki doğal kanal uzunluğu önemli ölçüde kısalmış (Tablo 1), dolayısıyla yatak eğimi belirgin şekilde artmıştır.

Projenin kısa vadeli hedefi olan taşkın riskinin azaltılması büyük ölçüde sağlanmıştır. Nehir boyunun kısalması, akış hızının artmasına neden olmuş; böylece taşkın anlarında su daha hızlı bir şekilde ovadan tahliye edilebilmiştir. Nitekim 2008 sonrası dönemde Karasu Nehri’nde taşkın sıklığındaki azalma AFAD kayıtlarından da belirlenebilmektedir.

Ancak bu müdahalenin jeomorfolojik ve ekolojik sonuçları tartışmalıdır. Kanalın düzeltilerek kısaltılması, akarsuyun hidrolik geometrisini değiştirmiş; menderesli yapıya kıyasla daha düşük yatak direnciyle karşılaşan akış, erozyon potansiyelini artırmıştır. Yani suyun kanal yatağını aşındırma kapasitesi bu yapay hatta önemli ölçüde yükselmiştir.

Ancak bu müdahalenin jeomorfolojik ve ekolojik sonuçları tartışmalıdır. Kanalın düzeltilerek kısaltılması, akarsuyun hidrolik geometrisini değiştirmiş; menderesli yapıya kıyasla daha düşük yatak direnciyle karşılaşan akış, erozyon potansiyelini artırmıştır. Yani suyun kanal yatağını aşındırma kapasitesi bu yapay hatta önemli ölçüde yükselmiştir.

Dünyadaki benzer nehir ıslah çalışmalarından da bilindiği üzere, akarsuların doğrusal hale getirilmesi kısa vadede olumlu sonuçlar doğuruyor gibi görünse de, uzun vadede kanal instabilitesine ve aşağı havzalarda taşkın riskinin artmasına neden olabilmektedir. Örneğin Mississippi Nehri’nde 1930’lu yıllarda gerçekleştirilen 16 büyük menderes kesimi sonucunda nehir uzunluğu yaklaşık %25 oranında kısaltılmış; ancak bu müdahale, yatak eğimini artırarak beklenmedik şekilde sediman taşınımını hızlandırmış ve bazı kesimlerde taşkın riskini daha da yükseltmiştir.

Karasu Nehri örneğinde de benzer bir risk söz konusudur: Nehrin ova içerisindeki kesimi, doğal menderes yapısını kaybederek yapay bir kanal haline getirilmiştir. Bu durum, olası ekstrem akım olaylarında suyun taşkın anında yayılabileceği eski menderes yataklarının devre dışı kalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, büyük taşkın durumlarında suyun mevcut doğrusal kanal içerisinde yüksek hızla akarak aşağı kotlarda birikmesi ve bu bölgelerde daha ciddi taşkın etkileri yaratması ihtimali gündeme gelmektedir.

Özetle, Karasu Nehri’nde gerçekleştirilen yatak ıslahı müdahalesi, hidrolojik açıdan kısa vadede olumlu sonuçlar üretmiş gibi görünse de jeomorfolojik açıdan nehrin doğal dengesini bozmuş ve sistemin uzun vadeli sürdürülebilirliği konusunda çeşitli soru işaretleri doğurmuştur.

Bu tür kapsamlı müdahalelerin nehir ekosistemi üzerindeki etkilerinin düzenli olarak izlenmesi ve gerektiğinde iyileştirici/rehabilitate edici adımların atılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle kontrollü menderes restorasyonu, yan kolların yeniden canlandırılması ve taşkın alanlarının yeniden tanımlanması gibi uygulamalar hem ekosistem hizmetlerinin korunması hem de jeomorfolojik istikrarın sağlanması açısından kritik stratejiler olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada ölçülen menderes deformasyon hızları ve morfolojik değişim eğilimleri, bölgesel ve küresel ölçekteki benzer araştırmalarla karşılaştırıldığında genel olarak uyumlu bir görünüm sergilemektedir. Karasu ve Murat nehirlerinde hesaplanan ortalama yatak göç hızları (yaklaşık 3–5 m/yıl), orta büyüklükteki alüvyal nehirler için literatürde bildirilen değer aralığına uygundur.

Örneğin Kuzey Amerika’daki birçok doğal menderesli nehirde (Trinity, Milk, Brazos, Missouri) yanal göç hızlarının genellikle 1,75 m/yıl ile 6,6 m/yıl arasında değiştiği bilinmektedir (Wellmeyer vd., 2005; Marren vd., 2014). Bu bağlamda, özellikle Karasu ve Murat Nehri’nin batı kolunda gözlenen değerlerin bu aralığın üst sınırlarına yaklaşması, Muş Ovası’nın düşük eğimli ve sediman açısından zengin yatağında menderes aktivitesinin ne denli yüksek olabileceğini göstermektedir.

Öte yandan, Karasu ve Murat nehirlerinde tek seferde gözlenen maksimum yer değiştirme değerleri (~500–700 m), bir mende-

res kopması sonucunda nehrin eski yolunu terk ederek yeni bir yatak oluşturduğuna işaret eden tipik büyüklük değerleridir. Literatürde, büyük nehirlerde benzer menderes kopmaları sonrasında kanal uzunluğunda kilometre mertebesinde kısaltmalar yaşandığı örneklenmektedir.

Örneğin Mississippi Nehri'nde mühendislik amaçlı gerçekleştirilen menderes kesimleri sonucunda toplam nehir boyunda yaklaşık 235 km'lik bir kısalma (yaklaşık %25 oranında) rapor edilmiştir.

Karasu Nehri'nin 1970'lerden 2000'li yıllara kadar yaklaşık %15 oranında kısaltması, bir dizi doğal menderes kopmasının yanı sıra, son dönemde gerçekleştirilen mühendislik kaynaklı yatak düzeltmeleri sonucunda meydana gelmiştir. Bu bulgular, doğal ve yapay menderes kesilmelerinin 7 kopmalarının nehir uzunluğunu belirgin bir biçimde azaltılabileceğine dair literatürdeki tespitlerle de örtüşmektedir.

Ayrıca Karasu Nehri'nin 2001 yılına kadar ulaştığı 2,17'lik sinüozite değeri, dünya ölçeğinde en kıvrımlı nehirlerden bazılarıyla karşılaştırılabilir düzeydedir. Örneğin, Amazon havzasındaki bazı küçük alüvyal nehirlerde sinüozite değerinin 2'nin üzerine çıktığı bilinmektedir. Bu denli yüksek kıvrımlılık, Karasu Nehri'nin doğal akış koşulları altında geniş bir taşkın yatağına yayıldığını ve enerjisini bu geniş alana yaydığını göstermektedir. Ancak söz konusu yapay müdahaleler, bu dengeyi bozar nitelikte olmuş ve sistemde uzun vadede gözlenebilecek ani morfolodinamik değişimlere neden olmuş olmalıdır.

Murat Nehri'nin kuzey ve batı kolları arasındaki farklı davranış biçimleri ise, literatürde sıklıkla vurgulanan "confined meanders" (vadi kısıtlaması/kıvrım sınırlandırılması) etkisiyle açıklanabilir. Dar vadide akan kuzey kolu, daha düşük sinüozite değerleri ve sınırlı yanal göç ile karakterize edilirken; ovaya yayılan batı kolunda, sediman miktarında etkisiyle menderes gelişimi daha kolay olmuştur. Bu durum, **vadi kısıtlamasının yanal göçü sınırladığını ve sinüoziteyi düşürdüğünü** belirten (Nicoll vd., 2010; Fryirs vd., 2016) görüşlerle de uyumlu olduğu söylenebilir (dar vadideki kuzey kolunun davranışını açıklayan kısmı). Bu durum, menderes geometrisinin ve dinamiklerinin yerel sınır koşulları tarafından kontrol edildiği fikrini güçlendirmektedir.

Nehirlerin, içinde aktıkları çevresel/topografik ve jeolojik koşullara bağlı olarak menderesli ya da doğrusal bir karakter kazandıkları yönündeki kuramsal çerçeve, Muş Ovası'nda Murat Nehri'nin iki kola ayrılması sayesinde adeta doğal bir deney sonucunda gözlemlenebilir bir durum olarak ifade edilebilir. Batı kolu ovada serbest salınım yaparken, kuzey kolu jeolojik olarak dar bir koridora sıkışmış ve bu nedenle görece doğrusal bir akış biçimi sergilemiştir.

5. Sonuç

Karasu ve Murat nehirlerinin Muş Ovası içerisindeki mendereslenme dinamiklerini inceleyen bu çalışma, akarsu morfolodinamiği ile insan müdahaleleri arasındaki etkileşimi ortaya koyması bakımından önemlidir. Ovanın düşük eğimli yapısı nedeniyle her iki nehir de doğal olarak bükümlü (menderesli) akış yatağına sahiptir. Son 50 yıla ait veriler, Karasu ve Murat nehirlerinin kanal geometrisinde belirgin değişimler meydana geldiğini; bu

değişimlerin, kanal uzunluğu, menderes sayısı, sinüozite, amplitüd ve dalga boyu gibi morfolitik göstergelerle nicel olarak izlenebildiğini göstermektedir.

Özellikle Murat Nehri'nin batı kolu ile Karasu Nehri'nde gözlenen yüksek menderes aktiviteleri, zamanla doğal süreçlerin (erozyon ve sediman birikimi) etkisiyle kanal göçlerine, menderes göllerinin oluşumuna ve kanal kısaltmalarına yol açmıştır. Ancak antropojenik müdahalelerin bu doğal evrimsel süreci büyük ölçüde dönüştürdüğü de çalışmanın temel bulgularındandır. Murat Nehri'nin kuzey kolu üzerinde inşa edilen Alparslan I ve II barajları (1998–2017), akım rejimini düzenlemiş ve sediman yükünü önemli ölçüde azaltmıştır. 2001–2022 döneminde kuzey kolundaki menderes sayısının azalması ve kanalın daha doğrusal bir karakter kazanması, barajların morfolojik etkisinin belirginleştiğini ortaya koymaktadır.

Sediman birikiminin büyük oranda rezervuarlarda tutulması, mansaptaki sediman açığını artırmış; bu durum, kanalın genişlemesi ve yanal göç etmesi yerine mevcut yatak içinde derinleşmesine neden olmuştur. Bu etkinin, barajların işletim süresi uzadıkça daha da artması ve nehrin yeni bir morfolojik denge arayışına girmesi beklenmektedir. Karasu Nehri'nde ise 2008 yılında başlatılan yatak ıslah projesi kapsamında yaklaşık 40 km'lik kesimde menderesli yapı tamamen ortadan kaldırılmıştır. Bu müdahale, kanal uzunluğunu kısaltarak eğimi artırmış; bu sayede taşkın riski kısa vadede azalmış olsa da nehrin doğal morfolodinamiği bozulmuştur. Akış hızının artması, erozyon oranlarını yükseltmiş ve nehir ekosisteminde önemli yapısal değişimlere yol açmıştır.

Dolayısıyla Karasu örneğinde insan müdahalesi, nehrin doğal evrimsel seyrini kesintiye uğratarak farklı bir morfolojik sürecin başlamasına neden olmuştur. Bu bulgular doğrultusunda, nehir morfolodinamiğinin anlaşılması, doğal risklerin yönetimi ve sürdürülebilir havza planlaması açısından kritik öneme sahiptir. Çalışma kapsamında Karasu ve Murat nehirlerinin zamana bağlı morfolitik değişimleri izlenmiş; bu veriler, ovadaki taşkın risklerinin öngörülmesi ve zarar azaltıcı planlamaların yapılması açısından anlamlı bilgiler sunmuştur.

Örneğin, nehirlerin yıllık ortalama göç hızlarının bilinmesi, alt-yapı yatırımlarının (köprü, yol, yerleşim ve tarım alanları) bu lateral hareketler dikkate alınarak konumlandırılmasına katkı sağlayabilir. Aynı şekilde, menderes aktivitesinin en yoğun olduğu kesimlerin (örneğin Murat batı kolu 7–12 km, Karasu 20–50 km) doğal risk alanları olarak tanımlanması ve bu alanlarda arazi kullanım kararlarının bilimsel verilere dayalı olarak yeniden gözden geçirilmesi önerilebilir.

Sürdürülebilir havza yönetimi açısından, akarsuların doğal dinamikleriyle uyumlu müdahale stratejileri geliştirilmelidir. Karasu Nehri örneğinde görüldüğü üzere, tamamen kontrol odaklı mühendislik çözümleri, kısa vadeli başarılar sağlasa da uzun vadede ekolojik ve jeomorfolojik istikrarsızlıklara yol açabilir. Günümüzde pek çok gelişmiş ülkede, geçmişte doğrultulan nehirlerin yeniden menderesli hale getirilmesine yönelik ekosistem temelli restorasyon projeleri gündemdedir. Benzer şekilde, Muş Ovası özelinde de Karasu Nehri'nin düzleştirilen kesimlerinde oluşabilecek olumsuz etkilerin izlenmesi ve gerektiğinde iyileştirici adımların atılması, havzanın sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest: Yazar bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. *The author declare that there is no conflict of interest.*

Etik Kurulu Onayı/ Ethics Committee Approval: Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

Katkı Belirtme ve Teşekkür/Acknowledgements: Bu çalışma Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: BAP-20-EMF-4901-01. Yazar görüş ve önerileriyle çalışmanın geliştirilmesine katkı sunan hakemlere; ayrıca bu çalışmaya verdikleri desteklerden dolayı, Dr. Fuat Şaroğlu'na, Doç. Dr. Alper Gürbüz'e ve Prof. Dr. Harun Aydın'a teşekkür eder. *This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Muş Alparslan University. Project Number: BAP-20-EMF-4901-01. The author would like to thank the referees who contributed to the development of the study with their comments and suggestions, as well as Dr. Fuat Şaroğlu, Assoc. Prof. Dr. Alper Gürbüz'e, and Prof. Dr. Harun Aydın for their support of this work.*

Kaynakça

- Atalay, İ. (1990). *Türkiye jeomorfolojisine giriş*. Ege Üniversitesi Basımevi.
- Avşın, N., Erturaç, M. K., Şahiner, E., & Demir, T. (2021). The Quaternary climatic and tectonic development of the Murat River Valley (Muş Basin, Eastern Turkey) as recorded by fluvial deposits dated by optically stimulated luminescence. *Quaternary*, 4(3), 29. <https://doi.org/10.3390/quat4030029>
- Blanckaert, K. (2011). Hydrodynamic processes in sharp meander bends and their morphological implications. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 116(F1). <https://doi.org/10.1029/2010JF001806>
- Blanckaert, K., & De Vriend, H. J. (2010). Meander dynamics: A reduced-order nonlinear model without curvature restrictions for flow and bed morphology. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115(F4). <https://doi.org/10.1029/2009JF001301>
- Charlton, R. (2007). *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203371084>
- Chen, A., Ng, Young Zhang, Erkuang Tian, Mingzhong. (2020). Meander Landscape. In A. Chen, Y. Ng, Y. Zhang, E. Tian, & M. Mingzhong (Eds.), *Dictionary of geotourism* (pp. 388-389). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2538-0_1530
- Cooper, M., Chakraborty, A., & Chakraborty, S. (2018). *Rivers and society*. Routledge.
- Constantine, J. A., McLean, S. R., & Dunne, T. (2009). A mechanism of chute cutoff along large meandering rivers with uniform floodplain topography. *Geological Society of America Bulletin*, 122(5-6), 855-869. <https://doi.org/10.1130/B26560.1>
- Crosato, A. (2009). Physical explanations of variations in river meander migration rates from model comparison. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(15), 2078-2086. <https://doi.org/10.1002/esp.1898>
- Dhumal, H., Thakare, S., Londhe, S., Gavali, P., & Niyaz, M. (2021). Flood Mitigation in and Around Sangli, Maharashtra, India, by Modification of River Meander Geometry. In P. V. Timbadiya, P. L. Patel, V. P. Singh, & V. L. Manekar (Eds.), *Flood forecasting and hydraulic structures: Proceedings of the 26th International Conference on Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering (HYDRO 2021)* (pp. 101-114). International Conference on Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-1890-4_8
- Dölek, İ. (2013). Muş'ta yaşanan sel ve taşkınlara neden olan doğal faktörlerin analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (28), 408-422. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/marucog/issue/475/3939>
- Dölek, İ. (2015). Sungu beldesi ve yakın çevresinde (Muş) sel ve taşkına duyarlı alanların belirlenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (31), 258-280. <https://doi.org/10.14781/mcd.26466>
- Dölek, İ., & Avcı, V., (2017). Muş ilinin sel ve taşkın duyarlılık haritalarının oluşturulması. *The Journal of Academic Social Science*, 44(44), 190-204. DOI: 10.16992/ASOS.12089
- Friedman, J. M., Osterkamp, W. R., Scott, M. L., & Auble, G. T. (1998). Downstream effects of dams on channel geometry and bottomland vegetation: Regional patterns in the Great Plains. *Wetlands*, 18(4), 619-633. <https://doi.org/10.1241/W0J4t1>
- Frothingham, K. M., & Rhoads, B. L. (2003). Three-dimensional flow structure and channel change in an evolving compound meander bend, Embarras River, Illinois. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(6), 625-644. <https://doi.org/10.1002/esp.471>
- Garcia, X.-F., Schnauder, I., & Pusch, M. T. (2012). Complex hydromorphology of meanders can support benthic invertebrate diversity in rivers. *Hydrobiologia*, 685, 49-68. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0905-z>
- Gautier, E., Brunstein, D., Vauchel, P., Roulet, M., Fuertes, O., Guyot, J. L., & Darozzes, J. (2007). Temporal relations between meander migration and riparian vegetation dynamics in the Mamoré River, Bolivian Amazonia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(2), 230-248. <https://doi.org/10.1002/esp.1394>
- Güneş, H., Sunkar, M., & Toprak, A. (2013, November 11-13). *Muş şehrini etkileyen Çar ve Muş derelerinin bazı jeomorfometrik indislerlere göre analizleri* [Konferans bildirisi]. In Proceedings of the TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi (pp. 1-12). Ankara, Turkey.
- Gürbüz, A., & Kazancı, N. (2019). The Büyük Menderes River: Origin of meandering phenomenon. In Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., & Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and landforms of Turkey* (pp. 509-519). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03515-0_29
- Gilvear, D., Winterbottom, S., & Sickingabula, H. (2000). Character of channel planform change and meander development: Luangwa River, Zambia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(4), 421-436. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(200004\)25:4<421::AID-ESP65>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(200004)25:4<421::AID-ESP65>3.0.CO;2-Q)
- Huggett, R. J. (2024). *Jeomorfolojinin temelleri* (U. Doğan, Ed.; A. E. Erginal, C. Yıldırım, & diğerleri, Çev.). Nobel Akademik Yayıncılık. (Orijinal eser 2003 yılında yayımlanmıştır).
- Hooke, J. M., & Yorke, L. (2010). Rates, distributions and mec-

- hanisms of change in meander morphology over decadal timescales, River Dane, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(13), 1601-1614. <https://doi.org/10.1002/esp.2079>
- Ielpi, A., & Lapôtre, M. G. A. (2020). A tenfold slowdown in river meander migration driven by plant life. *Nature Geoscience*, 13, 82-86. <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0491-7>
- Islam, A., & Guchhait, S. K. (2017). Analysing the influence of Farakka Barrage Project on channel dynamics and meander geometry of Bhagirathi river of West Bengal, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 245. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3004-2>
- Kalın, Ö. (2024). *Muş havzası sel ve taşkın riski analizi* (Tez No. 913237) [Yüksek lisans tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Kamarudin, M. K. A., Toriman, M. E., Rosli, M. H., Juahir, H., Abdul Aziz, N. A., Azid, A., Mohamed Zainuddin, S. F., & Sulaiman, W. N. A. (2014). Analysis of meander evolution studies on effect from land use and climate change at the upstream reach of the Pahang River, Malaysia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(8), 1319-1334. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9547-6>
- Kasvi, E., Laamanen, L., Lotsari, E., & Alho, P. (2013). Flow patterns and morphological changes in a sandy meander bend during a flood-spate. *Geomorphology*, 202, 265-278. <https://doi.org/10.3390/w9020106>
- Knighton, D. (2014). *Fluvial forms and processes: a new perspective*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203784662>
- Kondolf, G. M. (2006). River restoration and meanders. *Ecology and Society*, 11(2). <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art42/>
- Kondolf, G. M., Piégay, H., & Landon, N. (2003). *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118648551.ch9>
- Kumar, A., Kumar, P., & Sharma, A. (2023). Structure of turbulent flow in a meander gravel bed channel. In S. Dutta & V. Chembolu (Eds.), *Recent development in river corridor management* (RCRM 2022, Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 376, pp. 107-116). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4423-1_8
- Leopold, L. B., & Langbein, W. B. (1966). River meanders. *Scientific American*, 214(6), 6073. <http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican0666-60>
- Leopold, L. B., Wolman, M. G., Miller, J. P., & Wohl, E. E. (2020). *Fluvial processes in geomorphology*. Courier Dover Publications. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-2538-0_1530
- Liaghat, A., Adib, A., & Gafouri, H. R. (2017). Evaluating the effects of dam construction on the morphological changes of downstream meandering rivers (Case study: Karkheh River). *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7(2), 1515-1522. <https://doi.org/10.48084/etasr.969>
- Magdaleno, F., & Fernández-Yuste, J. A. (2011). Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology*, 130(3-4), 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.016>
- Marren, P. M., Grove, J. R., Webb, J. A., & Stewardson, M. J. (2014). The potential for dams to impact lowland meandering river floodplain geomorphology. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 309673. <https://doi.org/10.1155/2014/309673>
- Motta, D., Abad, J. D., Langendoen, E. J., & Garcia, M. H. (2012). A simplified 2D model for meander migration with physically-based bank evolution. *Geomorphology*, 163-164, 10-25. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.016>
- Mitsudera, H., Waseda, T., Yoshikawa, Y., & Taguchi, B. (2001). Anticyclonic eddies and Kuroshio meander formation. *Geophysical Research Letters*, 28(10), 2025-2028. <https://doi.org/10.1029/2000GL012668>
- Micheli, E. R., Kirchner, J. W., & Larsen, E. W. (2004). Quantifying the effect of riparian forest versus agricultural vegetation on river meander migration rates, Central Sacramento River, California, USA. *River Research and Applications*, 20(5), 537-548. <https://doi.org/10.1002/rra.756>
- Nicoll, T. J., & Hickin, E. J. (2010). Planform geometry and channel migration of confined meandering rivers on the Canadian prairies. *Geomorphology*, 116(1-2), 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.10.005>
- Nnaji, C. C., Akeke, G., & Afangideh, C. (2023). Investigating the effects of river channel meander on bridge hydraulics. In C. Aigbavboa, W. Thwala, & D. Aghimien (Eds.), *Towards a sustainable construction industry: The role of innovation and digitalisation* (CIDB 2022, pp. 598-605). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22434-8_58
- Oktay, H. E., Erdoğan, R., & Oktay, F. B. (2016). Akarsular ve akarsularda rekreasyon olanakları. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 6(13), 1-14. <https://doi.org/10.16950/iustd.48892>
- Osterkamp, W. R., Scott, M. L., & Auble, G. T. (1998). Downstream effects of dams on channel geometry and bottomland vegetation: regional patterns in the Great Plains. *Wetlands*, 18(4), 619-633.
- Revelli, R., Boano, F., Camporeale, C., & Ridolfi, L. (2008). Intra-meander hyporheic flow in alluvial rivers. *Water Resources Research*, 44(12). <https://doi.org/10.1029/2008WR007081>
- Rüther, N. (2007). *Computational fluid dynamics in fluvial sedimentation engineering* [PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology]. <http://hdl.handle.net/11250/242072>
- Saroglu, F., & Guner, Y. (1981). Dogu Anadolu'nun Jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 39-50. <https://bit.ly/3TDdWl0>
- Schumm, S. A., & Lichty, R. W. (1963). *Channel widening and flood-plain construction along Cimarron River in southwestern Kansas*. US Government Printing Office. <https://l24.im/ksNI>
- Schumm, S. A. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geological Society of America Bulletin*, 74(9), 1089-1100. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1963\)74\[1089:SOAROT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2)
- Schwenk, J., & Foufoula-Georgiou, E. (2016). Meander cutoffs nonlocally accelerate upstream and downstream migration and channel widening. *Geophysical Research Letters*, 43(24), 12-437. <https://doi.org/10.1002/2016GL071670>
- Toprak, A., & Sunkar, M. (2017). Muş Ovasını drene eden Karasu Çayı havzasının (Muş) hidromorfometrik analizi. In *Proceedings of the International Geomorphology Symposium (IGS 2017)* (pp. 184-191). Kastamonu University.

- Uzelli, T. (2019). *Varto ve Muş havzalarındaki (Doğu Anadolu, Türkiye) jeotermal sistemlerin yapısal kontrolleri* [Basilmamış doktora tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
- W. B., & Leopold, L. B. (1966). River meanders and the theory of minimum variance. In *Rivers and river terraces* (pp. 238-263). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-349-15382-4_9
- Wellmeyer, J. L., Slattery, M. C., & Phillips, J. D. (2005). Quantifying downstream impacts of impoundment on flow regime and channel planform, lower Trinity River, Texas. *Geomorphology*, 69(1-4), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.034>
- Xu, H., Tokinaga, H., & Xie, S. P. (2010). Atmospheric effects of the Kuroshio large meander during 2004–05. *Journal of Climate*, 23, 4704–4715. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3267.1>
- Yousefi, S., Pourghasemi, H. R., Hooke, J., Navratil, O., & Kidová, A. (2016). Changes in morphometric meander parameters identified on the Karoon River, Iran, using remote sensing data. *Geomorphology*, 271, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.034>
- Zhou, T., & Endreny, T. (2020). The straightening of a river meander leads to extensive losses in flow complexity and ecosystem services. *Water*, 12(6), 1680. <https://doi.org/10.3390/w12061680>
- Zinger, J. A., Rhoads, B. L., Best, J. L., & Johnson, K. K. (2013). Flow structure and channel morphodynamics of meander-bend chute cutoffs: A case study of the Wabash River, USA. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(4), 2468–2487. <https://doi.org/10.1002/jgrf.20155>