



Altınapa Barajı Havzasında Erozyon Risk Değerlendirmesi: CRITIC-WASPAS Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı

İbrahim DURSUN*

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Geliş Tarihi: 01.08.2025

Kabul Tarihi: 12.09.2025

Basım Tarihi: 30.09.2025

Atıf yapmak için: Dursun, İ. (2025). Altınapa Barajı Havzasında Erozyon Risk Değerlendirmesi: CRITIC-WASPAS Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(5), 740-747. <https://doi.org/10.35229/jaes.1755203>

How to cite: Dursun, İ. (2025). Assessment of Erosion Risk in the Altınapa Dam Watershed Using a CRITIC-WASPAS Based Multi Criteria Decision Making Approach. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(5), 740-747. <https://doi.org/10.35229/jaes.1755203>

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2261-1112>

*Sorumlu yazar:

İbrahim DURSUN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği
Bölümü, Isparta, Türkiye

✉: ibrahimdursun@isparta.edu.tr

Öz: Bu çalışma, Konya Kapalı Havzası içerisinde yer alan Altınapa Barajı Havzası'na ait 13 alt havzanın (AH) erozyon riski bakımından önceliklendirilmesini amaçlamaktadır. Araştırmada, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verilerinden elde edilen morfolometrik parametreler karar kriteri olarak kullanılmıştır. Her bir parametrenin göreceli önemi CRITIC yöntemiyle belirlenmiş ve WASPAS yöntemiyle değerlendirilmiştir. Erozyon riski, ($\lambda = 0, 0.5$ ve 1) senaryoları altında incelenmiş ve Qi skorları hesaplanarak havzaların öncelik sıralaması oluşturulmuştur. Bulgulara göre, AH-8, AH-11 ve AH-13 tüm senaryolarda "çok yüksek" risk sınıfında yer almış; bu alt havzaların eğim, drenaj yoğunluğu ve topoğrafik özellikler gibi faktörler açısından dikkat çekici değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, AH-2, AH-6 ve AH-12 "çok düşük" risk grubuna dâhil edilmiştir. WASPAS modelinin λ parametresine duyarlılık gösterdiği gözlemlenmiş ancak yüksek riskli havzaların sıralamasındaki istikrar, yöntemin güvenilirliğini desteklemiştir. Sonuç olarak, CRITIC-WASPAS yaklaşımı, morfolometrik verilere dayalı erozyon risk analizinde etkili ve uygulanabilir bir karar destek aracı sunmaktadır. Bu bulgular, sürdürülebilir havza yönetimi ve erozyon kontrol stratejileri için bilimsel zemin oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Önceliklendirme, morfolometri, çok kriterli karar verme, erozyon riski.

Assessment of Erosion Risk in the Altınapa Dam Watershed Using a CRITIC-WASPAS Based Multi Criteria Decision Making Approach

Abstract: This study aims to prioritize the erosion risk of 13 sub-watersheds (SW) within the Altınapa Dam Watershed, located in the Konya Closed Basin. In the research, morphometric parameters derived from Digital Elevation Model (DEM) data were used as decision criteria. The relative importance of each parameter was determined using the CRITIC method and evaluated through the WASPAS approach. Erosion risk was examined under $\lambda = 0, 0.5$, and 1 scenarios, and the sub-watersheds were ranked based on the calculated Qi scores. According to the results, SW-8, SW-11, and SW-13 were classified in the "very high" risk category in all scenarios, showing remarkable values in terms of slope, drainage density, and topographic features. In contrast, SW-2, SW-6 and SW-12 were included in the "very low" risk group. Although the WASPAS model showed sensitivity to the λ parameter, the consistency in the ranking of high-risk supported the reliability of the method. In conclusion, the CRITIC-WASPAS approach provides an effective and applicable decision-support tool for erosion risk analysis based on morphometric data. These findings establish a scientific basis for sustainable watershed management and erosion control strategies.

Keywords: Prioritization, morphometry, multi-criteria decision-making, erosion risk.

GİRİŞ

Toprak ve su, ekosistem işleyişi ile insan yaşamının sürdürülebilirliğinde kritik rol oynayan temel doğal kaynaklardır (Dutal & Reis, 2020). Suyun dünya genelinde düzensiz dağılımı, bazı bölgelerde kıtlık, diğerlerinde ise taşkın riski gibi sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum, yerel koşulları gözeten, uzun vadeli stratejilere dayalı bütüncül su

yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Radwan vd., 2017; Dursun & Babalık, 2021). Bu çerçevede, hidrolojik parametrelerin ayrıntılı olarak incelenmesi ve bölgesel su dinamiklerinin bilimsel temelde anlaşılması, sürdürülebilir kaynak yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır.

Altınapa Barajı Havzası, içme suyu temini ve tarımsal sulama faaliyetleriyle birlikte su güvenliği, tarımsal üretim ve biyolojik çeşitliliğin korunması

açısından kritik ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Bu nedenle havzanın erozyon riskine yönelik bilimsel değerlendirmeler, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik değil, aynı zamanda bölgesel sosyo-ekonomik kalkınma için de stratejik önem taşımaktadır (Ekizoğlu, 2011; Bozyiğit & Kaya, 2019).

Nüfus artışı, hızlı kentleşme ve iklim değişikliği gibi baskılayıcı faktörler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde doğal kaynakların taşıma kapasitesini zorlamakta; bu da ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini ve ekonomik sürdürülebilirliği tehdit etmektedir.

Dinamik sistemler olarak havzalar, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve uzun vadeli çevresel politikaların geliştirilmesinde önemli bir planlama birimi olarak öne çıkmaktadır (Pamukoğlu & Babalık, 2023; Pastor vd., 2024). Etkin havza yönetimi; su kaynaklarının korunması, toprak erozyonunun azaltılması, hidrolojik afetlerin etkilerinin hafifletilmesi ve suyun dengeli kullanımını teşvik ederek çok yönlü çevresel ve toplumsal yararlar sağlamaktadır (Berkoff & Haughton, 2002). Havza morfometrisine dayalı analizler; toprak kaybı, su yetersizliği ve arazi bozulumu gibi çevresel sorunların belirlenmesi ve yönetimi açısından güçlü bir değerlendirme aracı niteliğindedir (Özçelik vd., 2021; Dutal, 2023). Havza yönetiminde özellikle alt havzaların önceliklendirilmesi; toprak koruma stratejilerinin oluşturulması, su kaynaklarının planlı kullanımı ve bozulmuş alanların rehabilitasyonu gibi müdahalelerin etkinliğini artıran kritik bir yaklaşımdır (Abdeta vd., 2020; Dursun, 2025). Alt havzaların önceliklendirilmesi için karar destek araçlarının kullanılması, doğal kaynakların daha planlı, analitik ve veri temelli bir yaklaşımla yönetilmesini sağlamaktadır.

Son yıllarda çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımları, alt havzaların önceliklendirilmesine yönelik çalışmalarda önemli bir araç hâline gelmiştir (Dursun, 2025). Kriterler arası korelasyon ve varyans bilgilerini dikkate alarak nesnel ağırlıklar belirleyen CRITIC (Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti) yöntemi ile, karar alternatiflerini hem toplamsal hem de çarpımsal değerlendirme temelli analiz eden WASPAS (Ağırlıklı Toplu Toplam Ürün Değerlendirmesi) yöntemi, havza yönetiminde yaygın olarak kullanılan karar destek teknikleri arasında yer almaktadır. Sampath & Radhakrishnan (2024), Khan vd. (2024) ve Jaman vd. (2024) gibi araştırmacıların çalışmaları, bu yöntemlerin farklı ekolojik ve hidrolojik koşullarda güvenilir sonuçlar üretebildiğini ve karar verme sürecine nesnel ve yapılandırılmış bir bakış açısı kazandırmanın önemine dikkat çekmektedir.

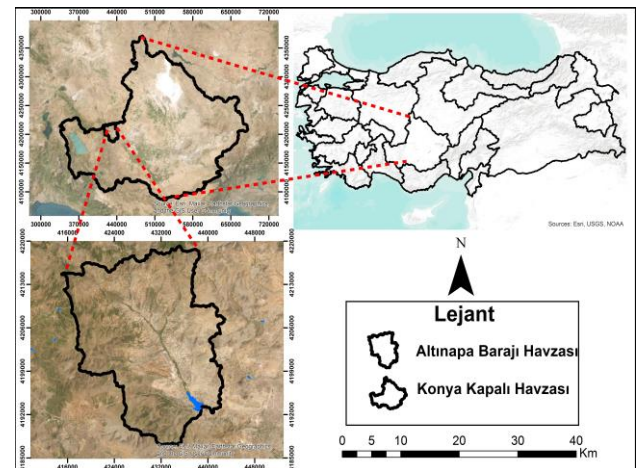
Türkiye’de morfometri tabanlı havza analizleri ile erozyon riski değerlendirmelerine yönelik çalışmalar son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir. Bu kapsamda,

farklı havzalarda hem morfometrik parametrelere dayalı alt havza önceliklendirmeleri yapılmış hem de erozyon risk yöntemleri aracılığıyla bu yaklaşımların uygulanabilirliği ortaya konmuştur (Dutal & Reis, 2020; Ediş vd., 2023; Erdoğan Yüksel vd., 2024). Ayrıca Dursun (2025), alt havza ölçeğinde ÇKKV yöntemlerini kullanarak bu yaklaşımların Türkiye koşullarında da güvenilir ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Bu araştırmanın temel amacı; Altınapa Barajı Havzası’na ait alt havzaların, hidrolojik ve fiziki özellikleri yansıtan ölçülebilir kriterler çerçevesinde değerlendirilmesi, bu kriterlerin ağırlıklarının CRITIC yöntemiyle nesnel olarak belirlenmesi ve ardından WASPAS yöntemiyle önceliklendirilmesidir. Bu yaklaşımla, havza yönetimi ve toprak koruma stratejilerine bilimsel bir temel sunulması hedeflenmektedir. CRITIC ve WASPAS yöntemlerinin eş zamanlı uygulanması, çok sayıda kriterin karşılaştırmalı ve bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmesini mümkün kılmış; böylece alt havza ölçeğinde sistematik ve veri temelli bir karar mekanizması geliştirilmiştir. Bu yöntemsel yaklaşım, yalnızca analitik karar sürecine katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda Altınapa Havzası’nda ağaçlandırma, teraslama ve arazi kullanım planlaması gibi erozyon kontrolüne yönelik somut uygulamalara da yön verme potansiyeline sahiptir.

MATERYAL VE METOT

Materyal: Altınapa Barajı Havzası, Konya Kapalı Havzası sınırları içerisinde yer almakta olup, 37°50’–38°07’ kuzey enlemleri ile 32°05’–32°21’ doğu boylamları arasındadır. Konya il merkezinin batısında, Meram ilçesi yakınlarında ve Konya–Beyşehir karayolu üzerinde bulunan baraj, kent merkezine yaklaşık 20 km mesafededir (Şekil 1). Temeli 1958 yılında atılan ve 1967 yılında hizmete alınan Altınapa Barajı, içme suyu ile tarımsal sulama amacıyla inşa edilmiştir (Ekizoğlu, 2011).



Şekil 1. Araştırma alanı lokasyonu.

Figure 1. Location of the study area.

Altınapa Barajı Havzası, dönemsel olarak güneyden Beyşehir-Suğla oluğuna bağlı hava kütlelerinin ve kuzeyden gelen sistemlerin etkisi altına girmektedir. Havzanın batısında yer alan Aladağ yükseltileri ve belirgin topoğrafik yapı, bölgede karasal iklim özelliklerinin baskınlaşmasına neden olmaktadır. Alçak kesimlerde yağışlar çoğunlukla yağmur, yüksek dağlık alanlarda ise kar şeklinde görülmektedir. Genel olarak havza, yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir (Bozyiğit & Kaya, 2019).

Jeolojik olarak havza, Karbonifer–Alt Jura aralığında oluşmuş kireçtaşı ve dolomit litolojilerinin egemen olduğu bir temel kayaç dizisi üzerine, Üst Jura–Üst Kretase yaşlı formasyonların yerleşmesiyle şekillenmiştir. Ayrıca Dilekçi Formasyonu gibi volkanik kökenli karmaşık birimler ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar da bölgede yer almaktadır (Bozyiğit & Kaya, 2017).

Arazi kullanım açısından mera alanları en geniş yer kaplayan birimler olup, bunu orman alanları takip etmektedir. Orman alanlarında görülen başlıca ağaç türleri arasında Katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus* L.), Boylu ardıç (*Juniperus excelsa* Bieb.), Kokulu ardıç (*Juniperus foetidissima* Willd.), Saplı meşe (*Quercus robur* L.), Tüylü meşe (*Quercus pubescens* Willd.), Saçlı meşe (*Quercus cerris* L.), Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.), Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) dikkat çekmektedir (Bozyiğit & Kaya, 2019).

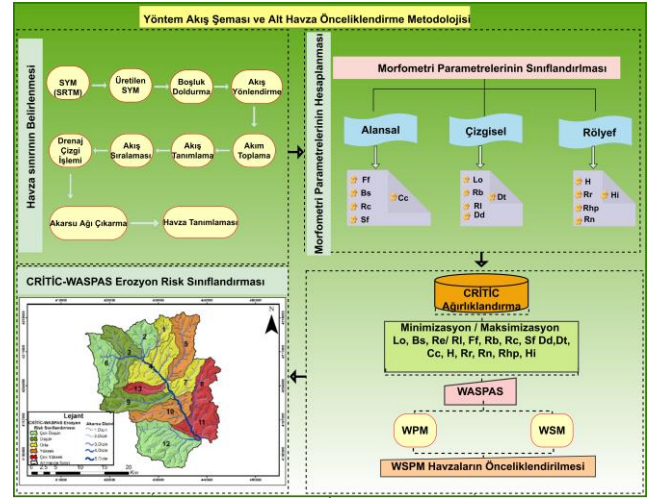
Yöntem: Altınapa Barajı Havzası'na ait alt havzaların sınırları ve drenaj ağı yapısı, 30 m çözünürlüğe sahip SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verileri kullanılarak oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinden türetilmiştir. Morfometrik analiz parametreleri, ArcGIS 10.2 yazılım ortamında gerçekleştirilmiş ve havza morfolojisinin nicel değerlendirilmesinde bu veriler temel alınmıştır (ESRI, 2004; Dursun, 2025).

Havzada erozyona duyarlı alanların belirlenmesine yönelik olarak kapsamlı bir hidrolojik analiz yürütülmüştür. Bu analiz sürecinde, havzanın drenaj ağı, ArcGIS yazılımının hidroloji modülü aracılığıyla D8 akış yönü algoritması temelinde modellenmiş; akarsu ağının hiyerarşik yapısının belirlenmesinde ise Strahler'in sınıflama yöntemi esas alınmıştır. Yapılan bu mekânsal analizler sonucunda havza, hidrolojik ve topoğrafik parametreler dikkate alınarak şekil 2'de gösterildiği üzere toplam 13 alt havzaya ayrılmıştır (Dursun & Babalık, 2023).

CRITIC-WASPAS bütünleşik yöntemi kullanılarak erozyona hassas alt havzaların belirlenmesine yönelik olarak yürütülen bu çok aşamalı analiz sürecine ilişkin yöntemsel akış şekil 2'de sunulmuştur.

Her bir alt havzanın fiziki özelliklerini yansıtan toplam 16 morfometrik gösterge değerlendirmeye alınmıştır. Bu göstergeler, düşük değerler aldıklarında erozyon riskini azaltıcı nitelikte olanlar minimizasyon

ilkesi, yüksek değerleri erozyon riskini artırıcı etkiye sahip olanlar ise maksimizasyon ilkesi doğrultusunda analiz edilmiştir.



Şekil 2. Yöntem akış şeması
Figure 2. Methodological flow chart.

CRITIC yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi: ÇKKV uygulamalarında kullanılan nesnel ağırlıklandırma yöntemlerinden biri olan CRITIC, karar verici yargısına gerek duymadan kriterler arasındaki istatistiksel ilişkileri temel alarak ağırlık belirlemeye imkân tanır. Diakoulaki vd. (1995) tarafından geliştirilen bu yöntem, her bir kriterin göreceli önemini, varyasyon düzeyini yansıtan standart sapma ve kriterler arası korelasyon katsayısı üzerinden hesaplanmaktadır.

CRITIC yönteminde: İlk aşama, karar verme probleminin ilişkin başlangıç karar matrisinin (X) oluşturulmasıdır (Eşitlik 1).

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1, \dots, m \text{ iken } j=1, \dots, n \quad (1)$$

x_{ij} , j'nci kriter açısından i'nci alternatifin performans değeridir.

İkinci aşama, farklı ölçü birimlerine sahip kriterleri karşılaştırılabilir hale getirmek amacıyla karar matrisinin normalize edilmesini içermektedir. Bu işlem, her bir kriterin ölçüm yönüne bağlı olarak gerçekleştirilmekte olup; maksimizasyon (fayda) yönlü kriterler için Eşitlik (2), minimizasyon (maliyet) yönlü kriterler için ise Eşitlik (3)'te tanımlanan normalizasyon formülleri kullanılmaktadır. Normalize edilmiş karar matrisi, sonraki adımlarda kullanılacak istatistiksel hesaplamalar için ortak ölçekli bir temel sunmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j \min}}{x_{j \max} - x_{j \min}} \quad i = 1, \dots, m \text{ iken } j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{j \max} - x_{ij}}{x_{j \max} - x_{j \min}} \quad i = 1, \dots, m \text{ iken } j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Denklemlerde yer alan x_{ij} ; i. alternatife ait j. kriter için normalize performans değerini gösterirken; $x_{j \max} = \max(x_1, \dots, x_m)$ ve $x_{j \min} = \min(x_1, \dots, x_m)$ ifade etmektedir.

Dördüncü aşamada, değerlendirmeye esas kriterler arasındaki ilişki düzeyinin nicel olarak belirlenmesi amacıyla, bir önceki adımda elde edilen normalize karar matrisi temel alınarak kriterler arası korelasyon katsayıları (p_{jk}) hesaplanmaktadır. Bu katsayılar, Eşitlik (4)'te verilen formülasyona göre belirlenmekte olup, x_j ve x_k terimleri j 'nci ve k 'nci kriterlerin ortalama değerlerini temsil etmektedir. Ayrıca, X_j değeri Eşitlik (5) doğrultusunda hesaplanmaktadır.

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j) * (x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 * \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (4)$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n x_{ij} ; i = 1, \dots, n \quad (5)$$

Aşama 1–4: *Cij* değerlerinin hesaplanması, her bir kriter için, kriterler arası karşıtlık yoğunluğu ile tutarsızlık düzeyi dikkate alınarak bilgi miktarı (*Cij*) hesaplanmaktadır. Toplam bilgi içeriğinin elde edilmesi için Eşitlik (5) kullanılmakta olup, bu formülde yer alan standart sapma (σ_j) değeri Eşitlik (6) aracılığıyla belirlenmektedir.

Beşinci aşamada, her kriterin karar sürecine olan katkısını yansıtan bilgi miktarı (*Cij*) hesaplanmaktadır. Bu bileşik ölçüt, bir kriterin hem kendi iç varyansını (standart sapma) hem de diğer kriterlerle olan ilişkisindeki farklılığı (korelasyon katsayısı) birlikte değerlendirir. Hesaplama kullanılan formül Eşitlik (6)'da sunulmuş olup, sonrasında Eşitlik (7) ile elde edilmektedir.

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - p_{jk}) \quad j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \quad j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Bu hesaplama sonucunda elde edilen w_j ağırlık değerleri arasında en yüksek değere sahip kriter, karar sürecinde görece olarak en fazla bilgi katkısı sağlayan ve bu nedenle diğerlerine kıyasla öncelikli kabul edilen kriter olarak değerlendirilmektedir.

WASPAS modeli: WASPAS, iki ayrı ÇKKV yönteminin Ağırlıklı Toplam Yöntemi (WSM) ile Ağırlıklı Çarpım Yöntemi (WPM) entegrasyonu ile oluşturulmuştur. Bu iki bileşenin birleştirilmesi, yöntemsel olarak sıralama doğruluğunu artırmakta ve kriterler arası ağırlık etkilerini daha hassas şekilde dengelemektedir. Literatürde, WSM ve WPM ayrı ayrı uygulandığında elde edilen sıralamaların WASPAS ile karşılaştırıldığında anlamlı farklar içerdiği rapor edilmiştir (Dutta vd., 2025).

WASPAS yönteminin ilk adımında, analiz kapsamında değerlendirilecek alternatifler ve bu alternatiflere ilişkin kriterlerin performans değerlerini içeren karar matrisi yapılandırılır (Eşitlik 8).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Burada, m , karar verme sürecinde değerlendirilen alternatiflerin sayısını; n , karar kriterlerinin toplamını göstermektedir. Her bir hücrede bulunan x_{ij} ifadesi, i . sıradaki alternatifin, j . kriter bakımından aldığı nicel değerlendirme değerini göstermektedir.

İkinci aşamada, farklı ölçü birimlerine sahip kriter değerlerinin karşılaştırılabilir hale gelmesi için doğrusal normalizasyon işlemi uygulanır. WASPAS yönteminin temelinde yer alan iki ayrı ÇKKV yaklaşımı WSM ve WPM bu adımda eşit katkı sağlayacak şekilde dikkate alınır. Söz konusu normalizasyon işlemi, kriterin optimizasyon yönüne bağlı olarak Eşitlik (2) ve Eşitlik (3)'te tanımlanan formüller kullanılarak gerçekleştirilir.

Aşağıda fayda (maksimizasyon) kriterleri için kullanılan doğrusal normalizasyon Eşitlik 9' da verilmektedir.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} \quad (9)$$

Maliyet (minimizasyon) kriterleri için kullanılan doğrusal normalizasyon Eşitlik 10' da verilmektedir.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (10)$$

Üçüncü aşamada, WASPAS yönteminin ilk bileşeni olan WSM temel alınarak her bir alternatifin toplam nispi önemi hesaplanmaktadır (Eşitlik 11).

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} * w_j \quad (11)$$

Dördüncü aşamada, WASPAS yönteminin ikinci bileşeni olan WPM esas alınarak her bir alternatifin toplam göreceli önem derecesi belirlenmektedir (Eşitlik 12).

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (12)$$

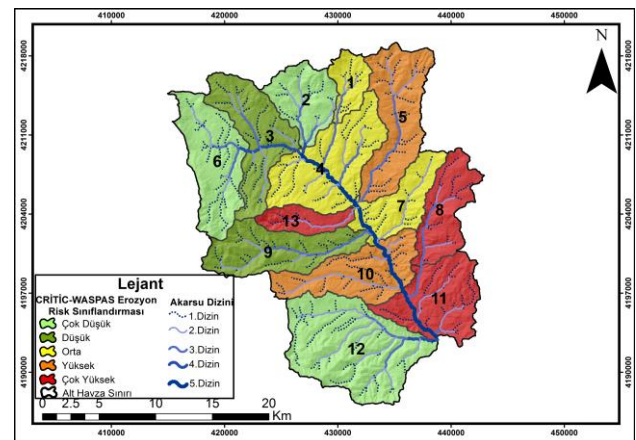
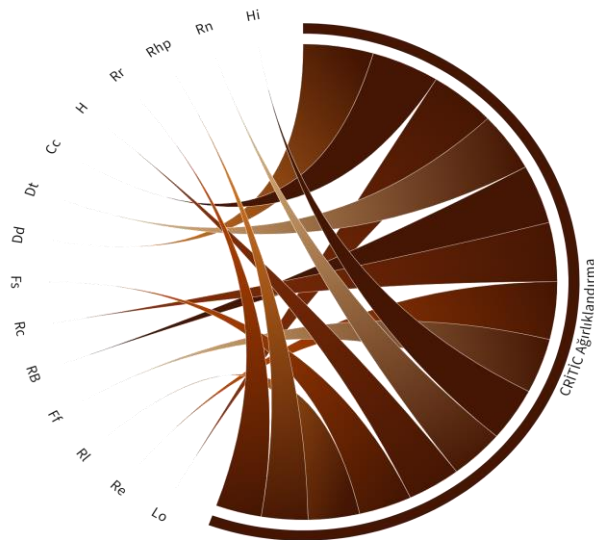
Beşinci aşamada WPM ve WSM için ağırlıklandırılmış ortak genel kriter değeri Eşitlik 13 ile hesaplanmaktadır.

$$Q_i = \lambda * Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) * Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} * w_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (13)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA

CRITIC-WASPAS ile havza önceliklendirmesi:

Alt havzaların morfometrik özelliklerine dayalı erozyon risk değerlendirmesinde, her bir parametrenin etkisini yansıtan ağırlıklar CRITIC yöntemine göre; drenaj yoğunluğu (Dd , 0.075), kompaktlık katsayısı (Cc , 0.073) ve yüzeysel akış uzunluğu (Lo , 0.070) en yüksek ağırlık değerlerine sahip olup, erozyon potansiyelinin belirlenmesinde baskın rol oynamaktadır. Orta düzeyde etkili parametreler arasında çatallanma oranı (Rb , 0.068), dairesellik oranı (Rc , 0.068), drenaj tekstürü (Dt , 0.068) ve form faktörü (Ff , 0.063) yer alırken; bağıl rölyef (Rhp , 0.050), rölyef oranı (Rr , 0.049), akarsu uzunluk oranı (RI , 0.055), hipsometrik integral (Hi , 0.061) ve akarsu sıklığı



senaryolarda benzer konumlarda yer almasıyla desteklenmektedir. AH-4, AH-7 ve AH-1 gibi orta risk grubunda yer alan havzaların WASPAS skorları λ değişimlerine bağlı olarak hafif dalgalanmalar göstermiştir. Bu durum, karar modelinin ağırlık parametresi olan λ katsayısına duyarlı olduğunu göstermektedir. Örneğin, AH-7 alt havzası $\lambda=0$ senaryosunda 8. sıradayken, $\lambda=0.5$ 'te 7. sıraya, $\lambda=1$ 'de ise 6. sıraya yükselmiştir. Benzer şekilde AH-10 $\lambda=0$ senaryosunda 4. sıradayken, $\lambda=0.5$ senaryosunda 5. sıraya gerilemiştir. Bu kaymalar, model çıktılarının λ katsayısındaki değişimlere hassasiyetini vurgulamakta ve çoklu senaryo analizlerinin önemini ortaya koymaktadır.

Literatürde, CRITIC-WASPAS tabanlı yöntemlerin erozyon riski sınıflandırmasında etkin biçimde kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Sarkar & Gayen (2024) tarafından Hindistan'daki Teesta Nehri Havzası'nda gerçekleştirilen çalışmada, alt havzalar çok yüksekte düşüğe kadar farklı erozyon risk sınıflarına ayrılmış ve en yüksek Qi skoruna sahip alanlar öncelikli müdahale gerektiren bölgeler olarak tanımlanmıştır. Benzer biçimde, Altınapa Havzası'nda da AH-8 alt havzasının tüm λ senaryolarında en yüksek skorlarla öne çıkması, literatürdeki bu bulgularla örtüşmektedir.

Jaman vd. (2024) ve Sampath & Radhakrishnan (2024) tarafından yürütülen benzer çalışmalarda da CRITIC-WASPAS yöntemi, morfolometrik ve arazi kullanım verileriyle birlikte başarıyla uygulanmış ve güvenilir sonuçlar verdiği vurgulanmıştır. Bu yöntemsel çerçevenin, Altınapa özelinde de tutarlı sonuçlar üretmiş olması, modelin farklı coğrafi koşullarda uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, Pourghasemi vd. (2021) tarafından önerilen $\lambda=0.5$ standardının aksine, yaptıkları değerlendirmede $\lambda=0$, 0.5 ve 1 senaryoları değerlendirilerek modelin ağırlık duyarlılığı test edilmiştir. Bu bağlamda Altınapa Havzası'nda elde edilen bulgular, özellikle AH-8 gibi yüksek riskli havzaların, farklı senaryolarda benzer sıralamalarda yer alması sayesinde, modelin tutarlılığını yansıtmaktadır.

Genel olarak, bu çalışma kapsamında kullanılan CRITIC-WASPAS yöntemi; yöntemsel geçerlilik, risk sınıflarının netliği ve literatürle tutarlılığı açısından güçlü bir uygulama örneği sunmaktadır. Elde edilen bulgular, ulusal ve uluslararası literatürle büyük ölçüde uyumlu olup, Altınapa Barajı Havzası özelinde morfolometrik verilerin ÇKKV yöntemleri ile bütünleştirilmesinin, erozyon riskine yönelik etkin karar destek sistemleri geliştirilmesinde önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, farklı λ senaryolarında orta ve düşük riskli havzalarda görülen küçük kaymalar modelin duyarlılığını ortaya koyarken; yüksek riskli havzalarda

benzer sıralamaların elde edilmesi, yöntemin kararlılığını ve tutarlılığını desteklemektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma havzasına ait 13 alt havza, SYM temelli morfolometrik analizlerle değerlendirilmiş; elde edilen 16 parametre ÇKKV tekniklerinden CRITIC-WASPAS yöntemi ile bütüncül olarak analiz edilmiştir. CRITIC yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda WASPAS analizinde elde edilen Qi skorları, $\lambda=0$, 0.5 ve 1 senaryolarında tutarlı sonuçlar vermiştir. AH-8, AH-11 ve AH-13 alt havzaları tüm senaryolarda en yüksek risk grubunda yer almaktadır ve bu durum, topoğrafik yapı ve eğim faktörleriyle ilişkilidir. Buna karşın, AH-2, AH-6 ve AH-12 alt havzaları düşük Qi skorlarıyla “çok düşük” risk sınıfında yer almış; kısa vadede müdahale gerektirmeyen alanlar olarak değerlendirilmiştir. Orta risk grubundaki AH-1, AH-4 ve AH-7 gibi havzaların Qi skorlarında senaryoya bağlı dalgalanmalar gözlenmiş, bu durum modelin ağırlık parametresi olan λ değişkenine duyarlılığını ortaya koymuştur.

Bu bulgular doğrultusunda, CRITIC-WASPAS entegrasyonu, erozyon riski yüksek alanların önceliklendirilmesinde güçlü, nesnel ve uygulanabilir bir karar destek aracı sunmaktadır. Çok yüksek riskli alt havzalarda, teraslama, bitkilendirme, tarımsal ormancılık ve toprak yüzeyi koruma gibi biyoteknik önlemlerin öncelikli olarak uygulanması önerilmektedir. Orta risk grubundaki havzalar ise arazi kullanımındaki değişimlere karşı düzenli olarak izlenmeli ve gerektiğinde müdahale planları güncellenmelidir. Çok düşük riskli havzalar ise mevcut koşullar altında acil müdahale gerektirmemekle birlikte, uzun vadeli havza yönetimi stratejileri kapsamında bütüncül yaklaşımla değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, çok yüksek riskli alt havzalarda önerilen önlemlerin Devlet Su İşleri (DSİ) ve Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından öncelikli olarak uygulanması; ayrıca dere kenarı tampon zonların oluşturulması, mera ıslahı ve eğimli alanlarda tarım faaliyetlerinin sınırlandırılması gibi arazi kullanım temelli tedbirlerle desteklenmesi önerilmektedir.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, elde edilen bulgular morfolometrik parametrelere dayalı model temelli bir yaklaşımla üretilmiş olup, arazi ölçümleri veya doğrudan gözlemlerle doğrulanmamıştır. Bu durum, erozyon süreçlerinin temsilinde metodolojik bir kısıt oluşturmaktadır. Ayrıca, havza ölçeğinde erozyon dinamiklerini şekillendirebilecek insan kaynaklı faktörler (ör. tarımsal uygulamalar, yol yapımı, otlatma baskısı) analize dâhil edilmemiştir. Bu eksiklik, elde edilen bulguların farklı ekolojik ve sosyo-ekonomik koşullara sahip havzalara genellenebilirliğini sınırlayan önemli bir kısıt olarak ele alınabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda arazi verileriyle gerçekleştirilecek doğrulamalar ve

erozyon risk modelleri (ör. RUSLE, InVEST ICONA, WEPP) ile desteklenen analizler, metodolojik güvenilirliği artıracak ve bulguların uygulamaya yönelik geçerliliğini güçlendirecektir.

Sonuç olarak, morfometrik analizlerin CRITIC-WASPAS yöntemi ile bütünleştirilmesi, alt havza ölçeğinde erozyon risk değerlendirmelerinde hem akademik hem de uygulamalı düzeyde güçlü bir zemin sunmuştur. Bu yaklaşımın gelecekte arazi gözlemleri, yağış simülasyonları ve hidrolojik ölçümlerle desteklenmesi, modelin güvenilirliğini artıracak ve sürdürülebilir havza yönetimi politikalarının geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdeta, G.C., Tesemma, A.B., Tura, A.L., & Atlabachew, G.H. (2020). Morphometric analysis for prioritizing sub-watersheds and management planning and practices in Gidabo Basin, Southern Rift Valley of Ethiopia. *Applied Water Science*, 10(7), 1-15. DOI: 10.1007/s13201-020-01239-7
- Berkoff, J., & Houghton, D. (2002). *Water management in river basins: experiences and lessons*. Routledge.
- Bozyigit, R., & Kaya, B. (2017). Altınapa Barajı Havzasında (Konya) erozyon ve önlemler. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 36, 285-303.
- Bozyigit, R. & Kaya, B. (2019). Altınapa Barajı Havzası'nda (Konya) arazi kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 688-700. DOI: 10.31590/ejosat.590727
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770. DOI: 10.1016/0305-0548(94)00059-H
- Dursun, İ., & Babalık, A.A. (2021). De Martonne-Gottman ve Standart Yağış İndeksi yöntemleri kullanılarak kuraklığın belirlenmesi: Isparta ili örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 22(3), 192-201. DOI: 10.18182/tjf.944195
- Dursun, İ., & Babalık, A.A. (2023). Burdur Gölü Havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 24(1), 25-38. DOI: 10.18182/tjf.1205157
- Dursun, İ. (2025). An integrated analytical approach to sub-watershed prioritization and erosion risk assessment in the salda lake basin, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 84(15), 428. DOI: 10.1007/s12665-025-12434-7
- Dutal, H., & Reis, M. (2020). Identification of priority areas for sediment yield reduction by using a GeoWEPP-based prioritization approach. *Arab J Geosci.*, 13, 1024. DOI: 10.1007/s12517-020-06039-6
- Dutal, H. (2023). Using morphometric analysis for assessment of flash flood susceptibility in the Mediterranean region of Turkey. *Environ Monit Assess*, 195, 582. DOI: 10.1007/s10661-023-11201-0
- Dutta, A., Banerjee, M., & Ray, R. (2025). Socio-economic backwardness assessment modelling in different gram panchayats of Sali watershed using multi-criteria based weighting and ranking methods. *Geo Journal*, 90(1), 1-15. DOI: 10.1007/s10708-024-11276-3
- Ediş, S., Timur, Ö.B., Tuttu, G., Aytaş, I., Göl, C., & Özcan, A.U. (2023). Assessing the impact of engineering measures and vegetation restoration on soil erosion: a case study in Osmaniye, Türkiye. *Sustainability*, 15(15), 12001. DOI: 10.3390/su151512001
- Ekizoğlu, İ. (2011). *CBS yardımıyla batimetrik haritaların oluşturulması ve değerlendirilmesi üzerine bir çalışma: Altınapa Barajı (Konya) örneği*. Yüksek Lisans, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya, Türkiye, 96s.
- Erdoğan Yüksel, E., Karan, Ö.F., & Akay, A.E. (2024). Spatio-Temporal analysis of Erosion risk assessment using GIS-Based AHP method: A case study of Doğançı dam watershed in Bursa (Türkiye). *Forests*, 15(7), 1135. DOI: 10.3390/f15071135
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). (2004). *Getting Started with ArcGIS*. Redlands: Environmental Systems Research Institute Inc.265.
- Jaman, M.H., Das, S., Chatterjee, J., Roy, S., & Sengupta, S. (2024). Sub-basin prioritisation from morphometry for erosion management in an undulating rocky terrain: Validating different MCDM techniques with respect to RUSLE in the Chaka River Basin, Eastern India. *Journal of Earth System Science*, 133(3), 119. DOI: 10.1007/s12040-024-02295-2
- Khan, A.A., Mashat, D.S., & Dong, K. (2024). Evaluating sustainable urban development strategies through spherical CRITIC-WASPAS analysis. *Journal of Urban Development and Management*, 3(1), 1-17. DOI: 10.56578/judm030101
- Özçelik, A.E., Yüksek, T., Yüksek, F., & Verep, B. (2021). Havza ve Arazi Karakteristiklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Değerlendirilmesi: Pazar Hemşin Deresi Havzası Örneği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(2), 252-260. DOI: 10.35229/jaes.913362
- Pamukoğlu, M.Y., & Babalık, A.A. (2023). Sürdürülebilir havza yönetimi: Çok disiplinli yaklaşımlar ve geleceğe yönelik çözüm önerileri. *4th International Conference on Frontiers in Academic Research (ICFAR)*, 13-14 Aralık 2023, Konya, Türkiye, 230-235.
- Pastor, I., Tanislav, D., Nedelea, A., Dunea, D., Serban, G., Haghighi, A.T., ..., & Bretcan, P. (2024). Morphometric analysis and prioritization of sub-

watersheds located in heterogeneous geographical units Case study: The Buzău River Basin. *Sustainability*, **16**(17), 7567. DOI: [10.3390/su16177567](https://doi.org/10.3390/su16177567)

- Pourghasemi, H.R., Honarmandnejad, F., Rezaei, M., Tarazkar, M.H., & Sadhasivam, N. (2021).** Prioritization of water erosion-prone sub-watersheds using three ensemble methods in Qareaghaj catchment, southern Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, **28**, 37894-37917. DOI: [10.1007/s11356-021-13300-2](https://doi.org/10.1007/s11356-021-13300-2)
- Radwan, F., Alazba, A.A., & Mossad, A. (2017).** Watershed morphometric analysis of Wadi Baish Dam catchment area using integrated GIS-based approach. *Arabian Journal of Geosciences*, **10**, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3046-5>
- Sampath, V.K. & Radhakrishnan, N. (2024).** Prioritization of sub-watersheds susceptible to soil erosion using different combinations of objective weighting and MCDM techniques in an ungauged river basin. *Water Resources Management*, **38**(9), 3447-3469. DOI: [10.1007/s11269-024-03825-9](https://doi.org/10.1007/s11269-024-03825-9)
- Sarkar, P., & Gayen, S.K. (2024).** Application of Entropy-AHP and WASPAS methods for prioritizing the sub watersheds of Teesta River Basin in terms of soil erosion susceptibility. *Discover Environment*, **2**(1), 135. DOI: [10.1007/s44274-024-00163-w](https://doi.org/10.1007/s44274-024-00163-w)