



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



CHAK-LOGAR AKARSU HAVZASINDA
UYGUN SU HASAT YERLERİNİN
BELİRLENMESİNE YÖNELİK KARAR
DESTEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

M. Abobakar HİMAT

DOKTORA TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2025

KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

M.Abobakar HIMAT tarafından hazırlanan “**Chak-Logar Akarsu Havzasında Uygun Su Hasat Yerlerinin Belirlenmesine Yönelik Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi**” adlı tez çalışması 21/10/2025 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ONÜÇYILDIZ
Konya Teknik Üniversitesi

.....

Danışman

Doç. Dr. Selim DOĞAN
Konya Teknik Üniversitesi

.....

Üye

Prof. Dr. Bilgehan NAS
Konya Teknik Üniversitesi

.....

Üye

Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN
Konya Teknik Üniversitesi

.....

Üye

Doç. Dr. Ahmet AYGÜN
Bursa Teknik Üniversitesi

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

M.Abobakar HIMAT

Tarih: 17-Aralık-2025

ÖZET

DOKTORA TEZİ

CHAK-LOGAR AKARSU HAVZASINDA UYGUN SU HASAT YERLERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK KARAR DESTEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

M.Abobakar HİMAT

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Selim DOĞAN

2025, 204 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Bilgehan NAS
Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN
Doç. Dr. Ahmet AYGÜN
Doç. Dr. Selim DOĞAN
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ONÜÇYILDIZ**

Bu tez çalışması, Afganistan'ın Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı için uygun alanların belirlenmesi ve uygun su hasadı tekniklerinin planlanmasına yönelik olarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı çok kriterli karar analiz (ÇKKA) yönteminin uygulanmasını konu almaktadır. Çalışmada, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak ağırlıklandırılan ve CBS ortamında Ağırlıklı Bindirme Analizi ile bütünleştirilen toplam 16 jeofiziksel, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kriter dikkate alınmıştır.

Su hasadı uygunluk haritaları ile belirlenen 16 kriter arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Biyofiziksel faktörler toplam ağırlığın %82'sini, sosyoekonomik faktörler ise %18'ini oluşturmaktadır. Korelasyon analizine göre en güçlü pozitif ilişkiler yağış, drenaj yoğunluğu, toprak dokusu ve çeşme yakınlığı arasında bulunmaktadır. En güçlü negatif ilişkiler ise tarım yakınlığı, topoğrafik eğrilik, yerleşim yakınlığı ve zemin yapısı arasında yer almaktadır.

Çalışma alanı, beş sınıflı, üç sınıflı ve ikili (uygun/uygun olmayan) sınıflandırma yöntemleri kullanılarak uygunluk bölgelerine ayrılmıştır. Su hasadı açısından en elverişli alanların büyük ölçüde Logar ilinin sınırları içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (ABDTB) hidrolojik toprak grupları sınıflandırmasına dayalı olarak yapılan hidrolojik toprak grubu analizleri, havzadaki toprakların genellikle orta ila yüksek yüzey akışı potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. Havzanın yıllık ortalama yüzey akışı hacmi yaklaşık 2463 milyon m³ olarak tahmin edilmiş ve bu miktarın %74'ünün doğrudan yüzey akışı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda Chak-Logar akarsu havzası için su hasadı uygunluk haritasını dikkate alarak toplamda 45 adet mezo ve mikro havza ölçekli su hasadı yapıları önerilmiştir. Önerilen su hasadı yapılarından 33 adet mezo havza ve 12 adet mikro havza ölçekli su hasadı yapılarıdır. Önerilen su hasadı yapıları toplamda 1308 milyon m³ su hasadı potansiyeline sahiptir. Havzada tarımsal sulama, evsel ve hayvancılığın toplam su ihtiyacı ise 376 milyon m³ civarındadır. Buna göre, hasat edilebilecek su ile tarımsal alanların ve sosyo-ekonomik geliştirme potansiyeli yatmaktadır. Önerilen su hasadı yapılarının önceliklendirilmesi TOPSIS ve VIKOR ÇKKA yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yatırım imkânları sınırlı olduğunda, saha genelinde küçük ölçekli ardışık su hasadı yapılarının inşası önerilmektedir. Bu nedenle, önerilen yapıların toplam su hasadı, alanın teorik maksimum potansiyelinin altında kalmaktadır. Küçük ölçekli su hasadı yapılarının kullanım amacı, konumları ve çevresel bağlamları

dikkate alınarak üç ana grupta sınıflandırılmıştır. Bunlarda tarımsal kullanım amaçlı su hasadı yapıları, evsel ve yerleşim amaçlı su hasadı yapıları ve taşkın kontrolü/kuraklıkla mücadele amaçlı su hasadı yapıları yer almaktadır. Önerilen su hasadı yapılarının kullanım amacı, tarım alanına ve yerleşim merkezine uzaklık analizleriyle belirlenmiştir. Mikro havza ölçekli yapılar (12 adet), çiftlik düzeyinde, doğrudan tarımsal üretim ve yeraltı suyu beslemesi için önerilmiştir. Mezo havza ölçekli yapılar (33 adet), alt havza düzeyinde, taşkın kontrolü, su depolama ve çok amaçlı kullanım için önerilmiştir. Önerilen su hasadı yapılarından 7 adet hendek (contour bund) ve 10 adet çiftlik göleti tarımsal kullanım için dikkate alınmıştır. 4 adet çukur (recharge pit) ise yeraltı suyu beslenmesi ve tarımsal kullanım için dikkate alınmıştır. Buna ek olarak 10 adet küçük rezervuar, 6 adet kontrol barajı ve 8 adet perkolasyon havuzu karma kullanım için önerilmiştir. Karma kullanım olarak tarımsal sulama ve yeraltı suyu beslemesi, evsel su temini ve hayvancılık su temini, taşkın ve kuraklıkla mücadele amaçlı önerilmiştir.

Su hasadında yapım maliyetine göre alternatif senaryolarının değerlendirilmesinde ise su hasadı yapım maliyet verileri, çalışma alanında proje benzerliği ve birim yapı hacmi başına ortalama inşaat maliyeti 0,8 Amerikan doları/m³ esas alınarak hesaplanmıştır. Düşük maliyetli yapılar yüksek öncelik, yüksek maliyetli yapılar ise düşük öncelik olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda düşük maliyetli mikro havza ölçekli yapılar (1–10 milyon Amerikan doları) ülkedeki siyasi istikrarsızlık, ulusal ve uluslararası destek olmadığı için su hasadı programının ilk aşamasında bu az maliyeti gerektiren yapılar önceliklendirilmelidir. Ardından 10–20 ve 20–40 milyon Amerikan doları aralığındaki orta ölçekli projelere geçilmelidir. Yüksek maliyetli yapılar (40–75 milyon Amerikan doları) ise en son faz veya uzun dönemli stratejik yatırımlar kapsamında planlanmalıdır. Kademeli yatırım planlaması yapılmasına olanak tanımakta ve karar vericilere bütçe esnekliği sağlamaktadır. Bu yaklaşım hem finansal sürdürülebilirliği hem de uygulama esnekliğini artırmaktadır. Özellikle düşük maliyetli yapıların önceliklendirilmesinin, yerel toplulukların katılımını teşvik ederek su yönetimi kapasitesinin güçlendirilmesine katkı sağlar. Önerilen 45 su hasadı yapısının toplam maliyeti 1.046 milyar ABD doları, toplam su hasadı potansiyeli ise 1.308 milyon m³ olarak tahmin edilmiştir. TOPSIS ve VIKOR sonuçlarına göre, ilk 15 yapıyla toplam maliyetin %64'ü karşılığında 825 milyon m³, ilk 10 yapıyla %50 yatırım karşılığında 650 milyon m³, ilk 5 yapıyla ise sadece %30 (307 milyon ABD doları) yatırım karşılığında 383 milyon m³ su hasadı sağlanabilmektedir. Havzanın toplam yıllık su ihtiyacının 376 milyon m³ olduğu dikkate alındığında, ilk 5 öncelikli yapının inşası bu ihtiyacın tamamını karşılayabilecek düzeydedir.

Modelin tahmin doğruluğunu doğrulamak için Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi analizi kullanılmıştır. Çalışma alanında var olan 12 kontrol barajı modelin tahmin doğruluğu tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu çalışma için AOK-Eğrinin Altındaki Alan (EAA) sonucu %62,6 (0,626) elde edilmiştir. Bu model için AOK-EAA değeri orta derecede bir tahmin doğruluğu oranını gösterir. Buna göre Chak-Logar akarsu havzası için önerilen modelin orta derecede uygunluğa sahiptir. AOK-EAA değerinin orta aralıkta çıkması nedenlerinden bazıları şunlar olabilir; Afganistan'da su hasadı uzmanlarının eksikliği, çok sınırlı faktörlerin su hasadı yer seçiminde dikkate alınması ve çoğu zaman sahaların uygunluğuna bakılmaksızın toplumun liderlerinden gelen istek üzerine su hasadı yapılarının inşası için karar verilmesi yer almaktadır. AOK-EAA analizine ek olarak, modelin güvenilirliğini artırmak amacıyla karışıklık matrisi-kappa, başarı oranı eğrisi ve frekans oranı yöntemleri ile ek doğrulamalar yapılmıştır. Önerilen su hasadı yapıları için AOK-EAA sonucu %95,6 (0,956) elde edilmiştir. Önerilen kontrol barajlar için AOK-EAA değeri çok iyi bir tahmin doğruluğu oranını gösterir. Bu kapsamlı değerlendirme, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi için bilimsel temellere dayanan ve uygulanabilir bir yöntem sunmakta, aynı zamanda bölgesel su güvenliği stratejilerine önemli katkılar sağlamaktadır.

Buna ek olarak Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadını benimseme konusunda kamuoyunun algısını ve istekliliğini değerlendirilmiştir. Veri toplama için, olasılık, matris, kapalı uçlu ve açık uçlu sorular dâhil olmak üzere çeşitli soru tiplerini içeren sistematik bir anket tasarlanmıştır. Anket çalışmasında çalışma alanındaki yaşayan 104 yüksek eğitimli kişiler katılmıştır. Çalışmanın birincil amaçları, su kaynaklarının mevcut durumunu, kamuoyunun su hasadı konusundaki bilgisini, su hasadı uygulamalarını benimseme istekliliğini ve su hasadının kuraklık ve sel azaltma aracı olarak potansiyelini değerlendirmektir.

Katılımcıların yarısından fazlası mevcut su kaynaklarından memnun olduklarını ifade etmiştir. Ancak, akarsu havzalarına göre değişen su kaynaklarının bulunabilirliğinde önemli bir düşüş görülmüştür. Yeraltı suyu, katılımcıların %44'ü için birincil evsel su kaynağı olarak hizmet vermekte güneş enerjisiyle çalışan su pompalama yönünde belirgin bir eğilim olduğunu ortaya çıkmıştır. Yüzey suyu (%30) ve yeraltı suyu (%26) tarımsal amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeraltı suyu çıkarma politikalarının olmaması su dengesi için önemli bir risk oluştururken, Karez ve çeşmeler gibi geleneksel su kaynakları yetersiz iklim değişikliği azaltma ve uyum önlemleri nedeniyle tükenmeye karşı giderek daha savunmasız hale gelmektedir.

Su kalitesiyle ilgili olarak, katılımcıların %30'u memnuniyet bildirirken, %15'i memnuniyetsizlik ifade etmiştir. Fiziksel su kalitesi parametrelerine göre, tat (%40) ve görünüm (%31) su kullanım

kararlarında en etkili faktörler olarak belirlenmiştir. Su kaynaklarını etkileyen başlıca zorluklar arasında aşırı yeraltı suyu çekimi, kuraklık, su hasadı altyapısının olmaması, azalan yağış, iklim değişikliği, su kıtlığı ve kötü su yönetimi yer almaktadır.

Katılımcıların yaklaşık %90'ı su hasadını oldukça verimli buluyorken %95'i uygulanmasına katılıyor. Bu güçlü desteğe rağmen, hasat edilen suyun kalitesiyle ilgili bilgi sınırlı kalıyor. Katılımcıların yaklaşık %71'i su hasadına aşına ve %90'ı daha fazla bilgi edinme konusunda güçlü bir istek ifade etmiştir. %93'ten fazlası su hasadı uygulamalarını benimsemeye istekli ve finansal olarak ve iş gücü katılımı yoluyla katkıda bulunma konusunda istekliliği göstermiştir. Su hasadı benimsemenin önündeki temel engeller arasında hükümet ve uluslararası desteğin olmaması, yetersiz bilgi ve yetersiz politikalar yer almaktadır. Yüksek eğitimli katılımcılar tarafından önerilen çözümler arasında hükümet ve uluslararası desteğin artırılması, kamuoyu bilinçlendirme girişimleri, havza yönetimi, kamuoyu katılımı ve kapasite geliştirme yer almaktadır. Ayrıca, katılımcıların %87'si ve %81'i bölgelerinin sırasıyla kuraklık ve sellerden etkilendiğini bildirmiştir. Yaklaşık %89'u su hasadının bu zorlukları hafifletmek için etkili bir araç olabileceğine inanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karar destek sistemi, hidrolojik modelleme, çok kriterli karar analizi, yer seçimi, mekânsal analiz, sürdürülebilir su yönetimi, su hasadı, su temini projesi.



ABSTRACT

PhD THESIS

DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF SUITABLE WATER HARVESTING SITES IN CHAK- LOGAR RIVER BASIN

M.Abobakar HIMAT

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selim DOĞAN

2025, 204 Pages

Jury

**Prof. Dr. Bilgehan NAS
Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN
Assoc. Prof. Dr. Ahmet AYGÜN
Assoc. Prof. Dr. Selim DOĞAN
Asst. Prof. Dr. Mustafa ONÜÇYILDIZ**

This study focuses on identifying suitable areas for water harvesting and planning suitable water harvesting structures in the Chak-Logar River Basin of Afghanistan using a Geographic Information Systems (GIS)-based multi-criteria analysis approach. The study incorporates 16 geophysical, hydrological, and socio-economic factors, each weighted through the Analytic Hierarchy Process (AHP) and integrated via Weighted Overlay Analysis in the GIS environment for the water harvesting suitability maps.

The relationships between the 16 criteria identified in the water harvesting suitability maps were analyzed. Biophysical factors accounted for 82% of the total weight, while socioeconomic factors represented 18%. According to the correlation analysis, the strongest positive relationships were found among rainfall, drainage density, soil texture, and proximity to springs. In contrast, the strongest negative relationships were observed among proximity to agriculture, topographic curvature, proximity to settlements, and soil structure.

The study area was classified into suitability zones using three classification schemes: five-class, three-class, and binary suitability maps. The most favorable areas for water harvesting were primarily located within Logar province. Additionally, hydrological soil group analysis based on the United States Department of Agriculture (USDA) hydrological soils classification revealed a predominantly moderate to high runoff potential. The annual average runoff volume of the basin was estimated at 2463 million m³, with 74% categorized as direct surface runoff.

Based on the water harvesting suitability map for the Chak-Logar River basin, a total of 45 meso- and micro watershed harvesting structures were proposed. Which, 33 are meso- watershed and 12 are micro watershed harvesting structures. The proposed water harvesting structures have a total water harvesting potential of 1308 million m³. The total water demand for agricultural irrigation, domestic use, and livestock farming in the basin is approximately 376 million m³. Accordingly, the potential for harvestable water lies in agricultural land and socio-economic development. The prioritization of the proposed water harvesting structures was carried out using the TOPSIS and VIKOR MCDA methods.

When investment opportunities are limited, the construction of small-scale sequential water harvesting structures across the site is recommended. Consequently, the total harvested water from the proposed structures remains below the theoretical maximum potential of the area. The proposed small-scale water harvesting structures were classified into three main groups based on their intended use, locations,

and environmental contexts. These groups include structures for agricultural use, domestic and settlement purposes, and flood control/drought mitigation. The intended use of each proposed water harvesting structure was determined through analyses of their proximity to agricultural areas and settlement centers. At the micro-watershed scale (12 structures), the systems were proposed at the farm level, primarily for direct agricultural production and groundwater recharge. At the meso-watershed scale (33 structures), the systems were proposed at the sub-basin level for flood control, water storage, and multipurpose use. Among the proposed structures, 7 contour bunds and 10 farm ponds were considered for agricultural purposes, while 4 recharge pits were identified for groundwater recharge and agricultural use. In addition, 10 small reservoirs, 6 check dams, and 8 percolation tanks were proposed for multipurpose use, including agricultural irrigation and groundwater recharge, domestic and livestock water supply, and flood and drought management.

In the evaluation of alternative scenarios based on construction costs of water harvesting structures, cost estimations were calculated using data on construction expenses within the study area, considering project similarities and an average unit construction cost of 0.8 USD/m³ per structure volume. Low-cost structures were given high priority, whereas high-cost structures were considered low priority. The analysis revealed that low-cost microstructures (1–10 million USD) should be prioritized in the initial phase of the water harvesting program, particularly given the country's political instability and the lack of national and international support. Subsequently, medium-scale projects within the 10–20 million USD and 20–40 million USD ranges should be implemented. High-cost structures (40–75 million USD) should be planned for the final phase or as part of long-term strategic investments. This stepwise investment planning approach allows for budget flexibility and provides decision-makers with a phased implementation strategy. It enhances both financial sustainability and implementation adaptability. In particular, prioritizing low-cost structures encourages local community participation and contributes to strengthening water management capacity. The total investment cost of the 45 proposed water harvesting structures is estimated at USD 1.046 billion, with a combined water harvesting potential of 1,308 million m³. Based on TOPSIS and VIKOR rankings, the top 15 structures can harvest 825 million m³ of water with 64% of the total investment cost, while the top 10 structures can provide 650 million m³ with 50% of the cost. The top 5 priority structures require only 30% of the total investment (USD 307 million) and can harvest 383 million m³ of water. Considering the basin's total annual water demand of 376 million m³, the top 5 structures alone are sufficient to fully meet the basin's water needs.

Receiver Operator Characteristic (ROC) curve analysis was used to verify the prediction accuracy of the model. 12 control dams existing in the study area were used to estimate the prediction accuracy of the model. The ROC-Area Under Curve (AUC) result for this study is 62.6% (0.626). The ROC-AUC value for this model indicates a moderate level of prediction accuracy. Accordingly, the proposed model for the Chak-Logar river basin has a moderate level of suitability. Some of the reasons for the ROC-AUC value being in the medium range may be lack of water harvesting experts in Afghanistan, very limited factors are taken into account in water harvesting site selection and most of the time, decisions are made for the construction of water harvesting structures upon the request of community leaders regardless of the suitability of the sites. In addition to the ROC-AUC analysis, supplementary validations were conducted using the confusion matrix–kappa, success rate curve, and frequency ratio methods to enhance the reliability of the model. The ROC-AUC analysis for the proposed water harvesting structures yielded an accuracy of 95.6% (0.956). The ROC-AUC value obtained for the proposed check dams indicates a very high level of predictive accuracy. This comprehensive evaluation provides a scientifically grounded and practical methodology for sustainable water resources management and contributes significantly to regional water security strategies.

Additionally, a survey study is conducted to assess public perception and willingness to adopt water harvesting in the Chak-Logar River Basin. A systematic questionnaire incorporating various question types, including contingency, matrix, closed-ended, and open-ended questions, was designed for data collection. 104 highly educated people living in the study area participated in the survey. The primary objectives of the study were to evaluate the current status of water resources, public knowledge of water harvesting, willingness to adopt water harvesting practices, and the potential of water harvesting as a tool for drought and flood mitigation.

More than half of the participants expressed satisfaction with their current water sources. However, there has been a significant decline in water resources availability, varying across river basins. Groundwater serves as the primary domestic water source for 44% of respondents, with a notable trend toward solar-powered water pumping. Surface water (30%) and groundwater (26%) are extensively utilized for agricultural purposes. The absence of groundwater extraction policies presents a significant risk to water balance, while traditional water sources such as Karez and springs are increasingly vulnerable to depletion due to inadequate climate change mitigation and adaptation measures.

Regarding water quality, 30% of respondents reported satisfaction, while 15% expressed dissatisfaction. Based on physical water quality parameters, taste (40%) and appearance (31%) were identified as the most influential factors in water use decisions. Major challenges affecting water resources include excessive groundwater extraction, drought, lack of water harvesting infrastructure, declining precipitation, climate change, water scarcity, and poor water management.

Approximately 90% of participants consider water harvesting highly efficient, and 95% agree with its implementation. Despite this strong support, knowledge about the quality of the harvested water remains limited. Around 71% of respondents are familiar with water harvesting, and 90% express a strong willingness to acquire further knowledge. More than 93% are willing to adopt water harvesting practices, with significant enthusiasm for contributing financially and through workforce participation. The primary barriers to adoption include lack of government and international support, insufficient knowledge, and inadequate policies. Solutions proposed by highly educated participants include increased governmental and international support, public awareness initiatives, watershed management, public engagement, and capacity building. Additionally, 87% and 81% of respondents reported that their regions are affected by droughts and floods, respectively. About 89% believe that water harvesting can serve as an effective tool for mitigating these challenges.

Keywords: Decision support system, hydrological modeling, multi-criteria decision analysis, site selection, spatial analysis, sustainable water management, water harvesting, water supply project.



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Afganistan'ın Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı potansiyelinin belirlenmesi ve uygun alanlara yönelik su hasadı yapılarının planlanmasına yönelik olarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, yalnızca akademik bir araştırma çalışması olmanın ötesinde, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi, iklim değişikliğiyle mücadele ve yerel halkın su güvenliği açısından da stratejik bir önem taşımaktadır.

Araştırmanın her aşamasında değerli katkılarıyla yanımda olan, akademik rehberliğini esirgemeyen ve bu sürecin sağlıklı şekilde ilerlemesini sağlayan kıymetli danışman sayın Doç. Dr. Selim DOĞAN hocama en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Tez savunma komitesinin üyelerin her biri Prof. Dr. Mehmet Emin Argün, Prof. Dr. Bilgehan Nas, Doç. Dr. Ahmet Aygün ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Onüçyıldız hocalarıma teşekkürü borç bilirim. Gerek metodolojik yönlendirmeleri gerekse bilimsel yaklaşımıyla çalışmanın kalitesini yükselten bu katkılar benim için son derece kıymetlidir.

Veri temininde ve yerel halkla iletişimde yardımcı olan Afganistan'daki yerel kurum temsilcilerine, tüm can arkadaşlarıma ve ankete katılan tüm katılımcılara içtenlikle teşekkür ederim. Yeni ülkem Hollanda'da Barendrecht İlçesinin yetkililere ve Sayın Ronald Buter'e maddi ve manevi desteklerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca, doktora sürecimde manevi desteğini her zaman hissettiğim canım anneme, Khalida Himat eşime, ben tez üzerine çalışırken bana sabırla bekleyen canım oğlum Attal Jana'a ve minik prenses kızım Sola Jan'a ve tüm sevdiklerime şükran borçluyum.

Son olarak, bu çalışmanın Afganistan'da su yönetimi politikalarının geliştirilmesine ve gelecekteki araştırmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

M.Abobakar HİMAT

KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vii
ÖNSÖZ	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Hedefleri.....	1
1.2 Tezin Özgün Değeri.....	2
1.3 Problem Tanımı	3
1.4. Hipotezler.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1 Su Kalitesi.....	8
2.2 Su Hasadı	8
2.2.1 Uygun Su Hasadı Sahalarının Seçiminde Kullanılan Kriterler	9
2.2.2 Su Hasadı İçin Uygun Sahaların Belirlenmesinde Kullanılan en Yaygın Yöntemler ve Araçlar.....	20
2.2.3 Yaygın Su Toplama Teknikleri (Türleri).....	28
2.2.3.1 Kontrol Barajları	30
2.2.3.2 Perkolasyon Havuzları	33
2.2.3.3 Teraslama.....	35
2.3 Dünyada Yapılan Çalışmalar	35
2.4 Afganistan’a Komşu Ülkelerde Yapılan Çalışmalar	37
2.5 Afganistan’da Yapılan Çalışmalar.....	39
2.5.1 Kabil Akarsu Havzasında Yapılan Çalışmalar	41
2.6 Uygun Su Hasadı Yeri Seçimi ile İlgili Yapılan Çalışmaların Yorumlanması	43
2.7 Afganistan’ın Su Kaynakları Potansiyeli.....	45
2.7.1 Afganistan’da Mevcut Su Durumu	46
2.8 Afganistan’ın Meteorolojik Durumu	47
2.9 Kabil Akarsu Havzasının Meteorolojik Durumunun İncelenmesi	47
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	49
3.1 Kabil Akarsu Havzası	49
3.2 Çalışma Alanı	52
3.2.1 Logar Nehri.....	53
3.2.2 Chak-Logar Akarsu Havzası’nın Sosyo-Ekonomik Durumu	54
3.2.3 Chak-Logar Akarsu Havzası’nda Su İhtiyacı	57
3.3 Çalışmada Kullanılacak Veri	59
3.4 Yöntem.....	59

3.4.1 Jenerik Modeller	62
3.4.1.1 Çok Kriterli Karar Analizi	63
3.4.1.2 Analitik Hiyerarşi Prosesi	63
3.4.1.3 İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS) ...	66
3.4.1.4 Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (VIKOR)	68
3.4.2 Havzanın Hidrolojik Karakterizasyonu	70
3.4.2.1 Loss Model (Kayıp Modeli)	70
3.4.2.2 Eğri Numarası Hesaplama	71
3.4.3. Modelin Doğrulanması	72
3.4.3.1. Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK)–Eğrinin Altındaki Alan (EAA) Analizi.....	73
3.4.3.2. Karışıklık Matrisi ve Kappa İstatistiği.....	73
3.4.3.3. Başarı Oranı Eğrisi (Success Rate Curve) Analizi	73
3.4.3.4. Frekans Oranı (Frequency Ratio) Analizi.....	74
3.4.4 Kamu Algısı ve Su Hasadını Benimseme İstekliliği İçin Uygulanan Anket Metodolojisi	74
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	75
4.1 Litoloji	75
4.2 Eğim.....	76
4.3 Topoğrafik Islaklık İndeksi (TII/TWI)	78
4.4 Topoğrafik Eğrilik	79
4.5 Drenaj Yoğunluğu.....	80
4.6 Arazi Kullanımı ve Örtüsü.....	82
4.7 Yağış	84
4.8 Jeomorfoloji	85
4.9 Zemin Yapısı.....	86
4.10 Toprak Dokusu	87
4.11 Sosyoekonomik Kriterler	89
4.12 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Analizi	97
4.13 Chak-Logar Akarsu Havzası'nın Su Hasadı Uygunluk Alanları.....	101
4.14 Biyofiziksel ve Sosyoekonomik Faktörler ile Uygunluk Alanları Arasındaki İlişki Analizi	104
4.15 Su Hasadı Uygunluk Alanlarının Doğrulanması	106
4.16 Chak-Logar Akarsu Havzası'nın Hidrolojik Analizleri.....	112
4.17 Chak-Logar Akarsu Havzası için Önerilen Su Hasadı Yapıları	116
4.18 Su Hasadı Yapılarının Seçimi ve Kullanım Amacına Göre Belirlenmesi	121
4.19 Su Hasadında Yapım Maliyetine Göre Alternatif Senaryolarının Değerlendirilmesi.....	125
4.20 TOPSIS ve VIKOR Yöntemleri ile Önerilen Su Hasadı Yapılarının Sıralanması	129
4.21 Chak-Logar Akarsu Havzası'nda Su Hasadını Benimseme Konusunda Kamu Algısı ve İstekliliği: Zorluklar, Fırsatlar ve Politika Önerileri	132
4.21.1 Veri Toplama ve Analizi.....	132
4.21.2 Su Kaynaklarının Mevcut Durumu.....	133
4.21.3 Halkın Su Hasadı Hakkındaki Bilgisi.....	136
4.21.4 Su Hasadını Benimseme Durumu.....	137
4.21.5 Kuraklık ve Sel Azaltma Aracı Olarak Su Hasadı.....	139
4.22 Hipotezlerin Testi	141

4.23 Çalışmanın Sınırlamaları	143
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	144
5.1 Sonuçlar	144
5.2 Öneriler	149
KAYNAKLAR	151
EKLER	173
EK-1: Su hasadı için uygun alanlarının seçilmesi için kullanılan kriterlerin özet tablosu	173
EK-2: 2023 ve 2024 yıllarına ait Kabil Akarsu Havzasının ve Chak-Logar akarsu alt havzasının kontrol barajlarının maliyeti	175
EK-3: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda mevcut olan su hasadı yapıları	178
EK-4: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda bu çalışma sonucunda önerilen su hasadı yapılarının özet tablosu	179
EK-5: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının su hasadı potansiyeli ve maliyeti	180
EK-6: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile sıralanması için kullanılan faktörlerin özet tablosu	181
EK-7: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile sıralanmasının özet tablosu	182
EK-8: Chak-Logar Akarsu Havzası'nın il ve ilçe bazında kapladığı alan	183

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Su hasadı yer seçiminde önemli kriterler Dortaj ve diğ. (2020) den uyarlanmıştır	10
Şekil 2.2. Ülkenin 5 ana akarsu havzasındaki yer üstü ve yeraltı su kaynaklarının kapasitesinin karşılaştırılması (Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı verisi).....	45
Şekil 2.3. Kabil Akarsu Havzası'nın alt havzalarının yüzey suyu potansiyeli (Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı verisi).....	46
Şekil 2.4. Kabil Akarsu Havzası'nın aylık ortalama yağış miktarı ve sıcaklığı.....	48
Şekil 3.1. Tangi Garo istasyonundaki ortalama akışının karşılaştırması (Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı verisi).....	50
Şekil 3.2. Çalışma yerinin konumu, ülkenin akarsu havzaları, nehirler ve komşu ülkelerin konumu	51
Şekil 3.3. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın aylık ortalama yağış ve sıcaklık grafiği	52
Şekil 3.4. Chak-Logar Akarsu Havzası'ndaki su akışının grafiği	53
Şekil 3.5. Çalışma alanında yerleşim yerleri, yollar, nehirler ve ekili alanlar.....	54
Şekil 3.6. Çalışmanın şematik gösterimi	61
Şekil 3.7. Su hasat sisteminin seçimi için karar akış şeması	62
Şekil 4.1. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın litolojisi	76
Şekil 4.2. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın eğimi (derece).....	77
Şekil 4.3. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın Topoğrafik Islaklık İndeksi (TII)	79
Şekil 4.4. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın topoğrafik eğriliği.....	80
Şekil 4.5. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın drenaj yoğunluğu (km/km ²)	82
Şekil 4.6. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın arazi kullanımı ve örtüsü	83
Şekil 4.7. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın toplam ortalama yıllık yağışı (mm).....	84
Şekil 4.8. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın jeomorfolojisi	86
Şekil 4.9. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın zemin yapısı	87
Şekil 4.10. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın toprak dokusu	88
Şekil 4.11. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın jeolojik fay hatlarına yakınlık haritası (km)	89
Şekil 4.12. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın karez sistemine yakınlık haritası (km)	91
Şekil 4.13. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın tarım alanlara yakınlık haritası (km)	92
Şekil 4.14. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yerleşim yerlerine yakınlık haritası (km)	93
Şekil 4.15. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yollara yakınlık haritası (km)	94
Şekil 4.16. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın çeşmelere yakınlık haritası (km)	95
Şekil 4.17. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanlarının beş sınıfı	102
Şekil 4.18. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanlarının üç sınıfı	103

Şekil 4.19. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanlarının iki sınıfı	103
Şekil 4.20. Biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörler ile su hasadı uygunluk sınıfları arasındaki ilişkisi	106
Şekil 4.21. Uygunluk sınıfına göre frekans oranı	108
Şekil 4.22. Başarı oranı eğrisi.....	109
Şekil 4.23. Su hasadı uygunluk alanlarının doğrulaması için Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi	111
Şekil 4.24. Önerilen su hasadı yapılarının doğrulaması için Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi	111
Şekil 4.25. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yağış-akış yüksekliği ve yağış-akış hacim grafiği.....	113
Şekil 4.26. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın alt havzalar bazında yağış-akış ilişkisi..	113
Şekil 4.27. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın a) alt havzaların numaraları ve b) yıllık akış hacmi (Mm ³).....	114
Şekil 4.28. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın su hasadı için uygunluk haritası, havzada mevcut olan ve önerilen su hasadı yapıları	119
Şekil 4.29. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen mikro havza ve mezo havza ölçeğinde su hasadı türleri	120
Şekil 4.30. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı türleri, tarımsal alan ve yerleşim yerleri	123
Şekil 4.31. Önerilen su hasadı yapılarının yapım maliyeti (harita üzerindeki sayılar milyon metreküp cinsinden su hasadı potansiyelini göstermektedir).....	128
Şekil 4.32. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda suyun güvenilirliği ve yeterliliği	133
Şekil 4.33. Evsel ve tarımsal su kullanım dağılımları	134
Şekil 4.34. İçme suyu kalitesi parametreleri ve su kalitesinin değerlendirilmesi.....	135
Şekil 4.35. Yüksek eğitimli kişilerin bakış açılarına göre mevcut su kaynaklarının başlıca zorlukları.....	135
Şekil 4.36. Halkın su hasadı hakkında genel bilgisi	136
Şekil 4.37. Su toplamayı benimseme istekliliği	137
Şekil 4.38. Su hasadı sistemine katkıda bulunma isteği	138
Şekil 4.39. Su hasadını benimsemeye yönelik endişeler veya engeller.....	139
Şekil 4.40. Su hasadının benimsenmesine yönelik endişeleri veya engelleri ele almak için olası çözümler	139
Şekil 4.41. Kuraklık ve selden etkilenen bölgeler kuraklık ve sel azaltma aracı olarak su hasadı	140

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Mikro havza ölçekli su hasadı yapılarının şartlandırma faktörlerinin tematik katmanları ve bunların önemi	12
Çizelge 2.2. Kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun su hasadı sahalarının seçimi için en yaygın kılavuzları	13
Çizelge 2.3. Su hasadı sahalarının seçimine ilişkin ana kriterler ve bunlarla ilişkili ağırlıklar.....	14
Çizelge 2.4. Kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun su hasadı bölgelerinin belirlenmesine yönelik biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler, uygunluk düzeyleri ve her bir kritere ilişkin puanlar	17
Çizelge 2.5. Son yıllarda kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun su hasadı için sıkça kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması, Ammar ve diğ. (2016) den uyarlanmıştır	21
Çizelge 2.6. Çalışma alanı, kriterler, su toplama tekniği ve yöntemleri dikkate alınarak su toplama yeri seçimine ilişkin literatür özeti	22
Çizelge 2.7. Kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı yer seçiminde kullanılan en yaygın teknikler (tip), kriterler ve değerleri.....	29
Çizelge 2.8. Kontrol barajlarının yer seçimi için bazı temel esaslar	32
Çizelge 2.9. Kontrol barajının yer seçimi için farklı kriterlere verilen puanlar Adham ve diğ. (2022) den uyarlanmıştır.....	33
Çizelge 2.10. Perkolasyon havuzlarının yer seçimi için bazı temel esaslar	34
Çizelge 2.11. Teraslama yer seçimi için bazı temel esaslar	35
Çizelge 3.1. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın nüfusu (NSIA, 2024).....	55
Çizelge 3.2. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın sulama ve yağmurla beslenen buğday, alan ve üretimi (NSIA, 2024).....	55
Çizelge 3.3. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın mısır, pirinç ve arpa alanı ve üretimi (NSIA, 2024).....	55
Çizelge 3.4. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın sebze üretim alanı ve miktarı (NSIA, 2024)	56
Çizelge 3.5. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın meyve alanı ve üretimi (NSIA, 2024)	56
Çizelge 3.6. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nda hayvan sayısı ve su ihtiyacı (NSIA, 2024)	56
Çizelge 3.7. Çeşitli bitkilerin sulama suyu ihtiyacı (Brower ve Heibloem, 1986).....	57
Çizelge 3.8. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın sulama suyu ihtiyacı.....	58
Çizelge 3.9. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın evsel su ihtiyacı.....	58
Çizelge 3.10. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın hayvancılık su ihtiyacı	58
Çizelge 3.11. Su hasadı yer seçiminde kullanılacak verilerin türü ve kaynağı	59
Çizelge 3.12. Göreceli önem ölçeği ve RCI değerleri Saaty (1980) den uyarlanmıştır .	65
Çizelge 3.13. Hidrolojik toprak gruplarının (HSG) geliştirilmesinde kullanılan sınıflandırma şeması USDA (2009); Ross ve diğ. (2018) den uyarlanmıştır	71
Çizelge 3.14. Kurak ve yarı kurak meralar için akış eğrisi sayıları (HEC-HMS, 2001) 72	

Çizelge 4.1. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın litolojinin özet tablosu.....	75
Çizelge 4.2. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın eğimin özet tablosu	77
Çizelge 4.3. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın topoğrafik ıslaklık indeksinin özet tablosu	78
Çizelge 4.4. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın topoğrafik eğriliğinin özet tablosu	79
Çizelge 4.5. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın drenaj yoğunluğunun özet tablosu	81
Çizelge 4.6. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın arazi kullanımı ve örtüsünün özet tablosu	83
Çizelge 4.7. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın toplam ortalama yıllık yağışının özet tablosu.....	84
Çizelge 4.8. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın jeomorfolojisinin özet tablosu.....	85
Çizelge 4.9. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın zemin yapısının özet tablosu	87
Çizelge 4.10. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın toprak dokusunun özet tablosu.....	88
Çizelge 4.11. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın jeolojik fay hatlarına yakınlık tablosu.	89
Çizelge 4.12. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın karez sistemine yakınlık tablosu	90
Çizelge 4.13. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın tarım alanlarına yakınlık tablosu.....	91
Çizelge 4.14. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yerleşimlere yakınlık tablosu	92
Çizelge 4.15. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yollara yakınlığın özet tablosu	93
Çizelge 4.16. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın çeşmelere yakınlığın özet tablosu	94
Çizelge 4.17. Çalışmada kullanılan biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörler ile su hasadı uygunluk bölgeleri seçimi için önemin özet tablosu	96
Çizelge 4.18. Seçilen su hasadı yer seçimi faktörleri için çiftler arası karşılaştırma matrisi	98
Çizelge 4.19. Normalleştirilmiş çiftler arası karşılaştırma matrisi ve her faktör için hesaplanan kriter ağırlığı	99
Çizelge 4.20. Çiftler arası karşılaştırmının tutarlılığının hesaplanması (CR = 0,03601)	100
Çizelge 4.21. Su hasadı yer seçimi için seçilen faktörler ve onlara AHP ile hesaplanmış ağırlıkları.....	101
Çizelge 4.22. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda uygunluk sınıflarına göre su hasadı alan ve yüzdeleri.....	102
Çizelge 4.23. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanları ve yüzdesi (üç sınıf).....	102
Çizelge 4.24. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanları ve yüzdesi (iki sınıf)	104
Çizelge 4.25. Su hasadı uygunluk alanları için kullanılan kriterlerin uygunluk sınıfları arasındaki korelasyon ilişkisi.....	105
Çizelge 4.26. Su hasadı uygunluk haritalarının doğrulamada en çok kullanılan yöntemlerinin özet tablosu.....	107
Çizelge 4.27. Afganistan'da su hasadı sahasının seçimi için dikkate alınan kriterler (Afganistan Su ve Enerji Bakanlığı).....	110
Çizelge 4.28. Chak-Logar akarsu havzası ile ilgili hidrolojik toprak gruplarının detayları USDA (2009); Ross ve diğ. (2018) den uyarlanmıştır	112

Çizelge 4.29. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın hidrolojik toprak gruplarının özet tablosu	112
Çizelge 4.30. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın hidrolojik karakterizasyonun özet tablosu.....	115
Çizelge 4.31. Chak-Logar Akarsu Havzası için bu çalışmada önerilen mikro havza ve mezo havza ölçekli su hasadı yapıları.....	117
Çizelge 4.32. Chak-Logar Akarsu Havzası için önerilen mikro ve mezo havza su hasadı yapıları, türleri ve kullanım amaçları.....	124
Çizelge 4.33. Su hasadında yapım maliyetine göre alternatif senaryolar.....	127
Çizelge 4.34. TOPSIS ile belirlenen en iyi 15 (yukarıdan aşağıya, en iyi en üstte) ve VIKOR ile belirlenen en iyi 15 (Q göre, küçük Q daha iyi).....	131
Çizelge 4.35. Kamuoyu yanıtlayıcılarının demografik özellikleri	132
Çizelge 4.36. Kişi başına düşen evsel su kullanımı.....	134
Çizelge 4.37. Halkın su hasadı hakkında genel bilgisi	136
Çizelge 4.38. Halkın su hasadı hakkında bilgi edinme tercihi	137
Çizelge 4.39. Su hasadını benimseme isteğini etkileyen faktörler	138
Çizelge 4.40. Su hasadını benimsemenin önündeki engeller	138

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A, B, C ve D: Hidrolojik Toprak Grupları

A: Alan

CI: Tutarlılık İndeksi

CN: Eğri Numarası

DD: Drenaj Yoğunluğu

GMn: Matrisin Geometrik Ortalaması

Ia: İlk Kayıp

Km²: Kilometrekare

LD: Çizgisel Yoğunluğu

Li: Çizgiselliklerin Toplam Uzunlukları

mm: Milimetre

n: Sayı

Nf: Kriter Sayısı

°C: Santigrat Derece

P: Yağış

Pij: Matris Elemanı

Q: Akış

RI: Rastgele İndeks

S: Potansiyel Maksimum Tutma

W: Ağırlık Vektörü

Z: Trend Değeri

α : Önem Seviyesi

$\lambda_{\max}$: Matrisin Özdeğeri

\$: Amerikan Doları

%: Yüzde

Kısaltmalar

AB: Avrupa Birliği

ABD-ÇKA: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

ABDTB/USDA: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı / the United States Department of Agriculture

AHP: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Prosesi)

ANP: Analytic Network Process (Analitik Ağ Süreci)

EAA/AUC: Eğrinin Altındaki Alan/Area Under Curve

AUSO/ANSA: Afganistan Ulusal Standart Otoritesi/Afghanistan National Standard Authority

CN: Curve Number (Eğri Numarası)

ÇKKA/ÇKKV: Çok Kriterli Karar Analizi/Çok Kriterli Karar Verme

DDST: Dam Decision Support Tool (Baraj Karar Destek Aracı)

DSÖ/WHO: Dünya Sağlık Örgütü

DSSM: Dam Suitability Stream Model (Baraj Uygunluk Akışı Modeli)

EDAS: Evaluation Based on Distance from Average Solution (Ortalama Çözümünden Uzaklığa Dayalı Değerlendirme)

GIS/CBS: Geographic Information System (Coğrafi Bilgi Sistemi)

HEC-GeoHMS: The Hydrologic Modeling System GIS extension (Hidrolojik Modelleme Sistemi CBS uzantısı)

HM: Hydrological Modeling (Hidrolojik Modelleme)

KAH: Kabil Akarsu Havzası

KDSM: Baraj Uygunluk Akış Modeli /Dam Suitability Stream Model

LULC: Land use and land cover (Arazi kullanımı/örtüsü)

ÇKKA/MCDA: Çok Kriterli Karar Analizi/Multiple-Criteria Decision Analysis

ML: Machine Learning (Makine öğrenme)

NDVI: Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi

OLS: Ordinary Least Squares (Sıradan En Küçük Kareler)

OWA: Ordered Weighted Averaging (Sıralı Ağırlıklı Ortalama)

ROC-AUC: Receiver Operator Characteristic-Area Under Curve (Alıcı Operatör Karakteristiği-Eğri Altındaki Alan)

RS/UA: Remote Sensing (Uzaktan Algılama)

SCS-CN: Toprak Koruma Hizmet Eğrisi Numarası

SWAT: The Soil and Water Assessment Tool (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı)

SYM/DEM: Sayısal Yükseklik Modeli / Digital Elevation Model

TII/TWI: Topoğrafik Islaklık İndeksi/ Topographic Wetness Index

TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği)

VIKOR: Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje (Sırpça'da çok kriterli optimizasyon ve uzlaşma çözümü)

WLC: Weighted Linear Combination (Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon)

WOA: Weighted Overlay Analysis (Ağırlıklı Katman Analizi)

WSM: Weighted Sum Method (Ağırlıklı Toplam Yöntemi)

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı ve Hedefleri

Bu tezin temel amacı, Afganistan'ın Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygulamalarının bilimsel temellere dayalı olarak planlanabilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) destekli Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) tabanlı bir karar destek modeli geliştirmektir. Bu amaç doğrultusunda, doğal, fiziksel ve sosyo-ekonomik koşullar bütüncül biçimde değerlendirilerek, su hasadı için en uygun alanların belirlenmesi, mevcut ve potansiyel su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanımı için planlama yapılması hedeflenmiştir. Tez aynı zamanda bölge halkın su hasadına ilişkin bilgi düzeyi, tutumları ve katılım potansiyelini analiz ederek uygulamaların sosyal boyutunu da dikkate almıştır.

Bu genel amaç doğrultusunda tez aşağıdaki özel hedefleri gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır:

CBS ortamında AHP ile jeofiziksel, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olmak üzere toplam 16 faktörün ağırlıklandırılması ve ağırlıklı bindirme analizi ile entegre edilerek uygunluk değerlendirmesinin yapılması.

Havza genelinde su hasadı için en uygun alanların tespitine yönelik beşli (çok uygun, uygun, orta, az uygun, uygun olmayan), üçlü (uygun, orta, uygun olmayan) ve ikili (uygun ve uygun olmayan) sınıflandırma sistemleriyle tematik uygunluk haritalarının hazırlanması.

ABDTB hidrolojik toprak grubu sınıflandırması temel alınarak, havzanın yüzey akışı potansiyelinin değerlendirilmesi ve yıllık ortalama yüzey akışı hacminin hesaplanması.

Mevcut 12 kontrol barajı dikkate alınarak modelin test edilmesi ve ilave 45 potansiyel mezo ve mikro havza ölçekli su hasadı yapıların alanının önerilmesiyle su toplama altyapısının genişletilmesine katkı sunulması.

Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi yöntemi ile geliştirilen modelin doğruluk düzeyinin belirlenmesi ve elde edilen AOK-EAA değerinin yorumlanması.

Sistemik anket çalışması yoluyla halkın su hasadına ilişkin bilgi seviyesi, algısı, benimseme isteği ve uygulamalara katılım potansiyelinin ölçülmesi.

Aşırı yeraltı suyu kullanımı, geleneksel kaynakların tükenme riski, iklim değişikliği ve kötü yönetim gibi su kıtlığına yol açan temel unsurların değerlendirilmesi.

Su hasadının etkinliği ve benimsenmesini artırmaya yönelik olarak; kamuoyu farkındalığını artırıcı stratejiler, kapasite geliştirme programları ve yerel/topluluk temelli yönetim modellerine dayanan önerilerin sunulması.

Katılımcıların büyük çoğunluğunun bu tür uygulamaların kuraklık ve sel risk azaltımında etkin olduğunu düşündüğü bilgisi doğrultusunda, su hasadının iklim değişikliğiyle mücadeledeki rolünün vurgulanması.

Bu çalışma, teknik analizlerin ötesine geçerek sosyo-ekonomik gerçeklikleri ve yerel halkın görüşlerini dikkate alması da sunmaktadır. Elde edilen bulgular, Afganistan özelinde, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve iklim değişikliğine karşı dayanıklı kırsal altyapıların geliştirilmesi için bilimsel ve uygulamalı politika yapım süreçlerine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

1.2 Tezin Özgün Değeri

Gelecekteki su güvenliğinin yenilikçi uygulamalar ve hedeflenen yatırımlar yoluyla ele alınması gerekmektedir. Bu tez çalışması, Afganistan'ın Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı planlaması için CBS tabanlı çok kriterli karar analiz yöntemini entegre bir biçimde kullanması bakımından özgün bir nitelik taşımaktadır. Literatürde, gelişmekte olan ülkelerdeki su hasadı çalışmalarının çoğu yalnızca teknik parametreler ile sınırlı kalırken, bu tez hem fiziksel çevre faktörlerini hem de sosyo-ekonomik dinamikleri birlikte ele alarak daha bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Çalışmanın özgün yönleri aşağıda özetlenmiştir:

AHP yöntemi ile ağırlıklandırılan 16 faktörün CBS ortamında entegre edilerek uygunluk analizi yapılması, Afganistan özelinde ilk defa bu kapsamda ve bu yöntemle gerçekleştirilmiştir.

Uygunluk analizinde üç farklı sınıflandırma düzeyinin (beşli, üçlü ve ikili) uygulanması, karar vericilere esnek bir değerlendirme aralığı sunmakta ve yöntemsel çeşitlilik kazandırmaktadır.

Modelin güvenilirliğinin AOK eğrisi ve Eğrinin Altındaki Alan (EAA) değeri ile test edilmesi, su hasadı yer seçiminde bilimsel doğrulama yaklaşımının kullanılmasını sağlamıştır.

Bölgede yaşayan halkın su hasadına yönelik bilgi düzeyi, algısı, uygulama istekliliği ve karşılaştıkları zorlukların detaylı şekilde analiz edilmesi, bu çalışmayı teknik analizlerin ötesine taşıyarak özgün bir toplumsal boyut kazandırmıştır.

Tez, yalnızca mevcut durumu analiz etmekle kalmamış; aynı zamanda yerel ve ulusal ölçekte uygulanabilir politika önerileri geliştirerek, sürdürülebilir su yönetimi ve kırsal kalkınma stratejilerine katkı sunmayı hedeflemiştir.

Bu kapsam ve detayda, CBS tabanlı çok kriterli karar analizine dayanan ve toplumsal algı ile entegre edilmiş bir su hasadı planlama çalışmasının Afganistan bağlamında ilk örneklerden biri olması bakımından da alana yenilik katmaktadır.

Bu yönleriyle çalışma hem kuramsal bilgiye katkı sağlamakta hem de uygulamaya dönük karar destek mekanizmalarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve iklim değişikliğine uyum bağlamında bölgesel planlamalara ışık tutacak niteliktedir.

Buna ek olarak Kabil Akarsu Havzası için su kaynakları yönetimini dikkate alan çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Ancak, Chak-Logar akarsu havzası için su hasadı konusunda çalışma eksikliği vardır. Planlanan çalışmanın özgünlüğü alt havza bazında su hasadı projelerinin yer seçimi hakkında kapsamlı bir karar destek sisteminin geliştirmesinde yatmaktadır. Bu çalışma Chak-Logar akarsu havzası su yönetimi ve aynı zamanda su hasadı ile ilgili kurak ve yarı kurak bölgelerde literatüre katkıda bulunacaktır.

1.3 Problem Tanımı

Afganistan, yıllardır süregelen siyasi istikrarsızlık, altyapı eksiklikleri ve iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle ciddi su yönetimi sorunlarıyla karşı karşıyadır. Özellikle kırsal bölgelerdeki su kaynaklarının mevsimsel düzensizliği, yetersiz su hasadı altyapısı ve bilinçsiz yeraltı suyu kullanımı hem içme suyu temininde hem de tarımsal sulamada önemli kısıtlar yaratmaktadır. Bu sorunlar, kuraklık ve taşkın gibi doğal afetlerle birleştiğinde, su güvenliği ve tarımsal üretim açısından sürdürülemez bir tablo ortaya çıkarmaktadır.

Kabil Akarsu Havzası, gelişmekte olan ülkelerdeki birçok havzanın oldukça sınırlı bir veri ve bilgi tabanına karşı değişen ortamlarla başa çıkmak için su yönetimi müdahaleleri açısından acil bir eylem ihtiyacıyla karşı karşıya kaldığı tipik bir örnektir. Chak-Logar akarsu havzası kuraklığa ve sellere eğilimlidir. Havzada yüzeysel suyunun daha az olması ve erişim sorunlarından dolayı yeraltı suyu, havzadaki ana kullanma suyu

kaynağıdır. Ayrıca, yeraltı suyu alt havzada evsel ve sulama amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu havzadaki yeraltı suyunun aşırı kullanımı, akifer deposunun tükenmesi ve yeraltı suyu seviyesinin düşmesi gibi olumsuz etkilere neden olmuştur. Son yıllarda Afganistan’da özellikle bu havzada yeraltı suyu güneş panelleri ile sulamada kullanmak için kontrolsüz biçimde çekilmektedir bu da havzadaki yeraltı suyunun seviyesini düşürmektedir. İklim değişikliği nedeniyle kar hızlı bir şekilde eriyip daha şiddetli yağışlar havzada meydana gelmektedir. Şiddetli yağışlar havzadan sel şekliye çıkmaktadır. Bundan dolayı kurak mevsimlerde suya erişim zorlaşmaktadır. Bu sorun için eylem planı olarak havzada su hasadı planlaması için uygun alanların önerilmesi büyük önem taşımaktadır.

Afganistan’daki birçok havza gibi Chak-Logar akarsu havzası da hem su kaynaklarının azaldığı hem de mevcut kaynakların etkin kullanılmadığı alanlardan biridir. Mevcut su kaynakları plansız ve düzensiz bir şekilde kullanılmakta; baraj, gölet, teraslama gibi su hasadı yapılarının yer seçimleri genellikle teknik değerlendirmelerden çok siyasi, sosyal ya da geleneksel kararlara dayanmaktadır. Bu durum, inşa edilen yapıların çoğunlukla etkisiz kalmasına veya doğal süreçlere zarar vermesine neden olmaktadır.

Öte yandan, havza planlaması ve su kaynaklarının yönetimi çoğunlukla fiziksel faktörlerle sınırlı analizlere dayanmaktadır. Sosyo-ekonomik faktörler, yerel halkın algı ve tutumları ile katılım düzeyi genellikle göz ardı edilmekte, bu da uygulanan projelerin sürdürülebilirliğini zayıflatmaktadır. Ayrıca, CBS ve çok kriterli karar analizleri gibi çağdaş karar destek araçları, ülkede yeterince yaygın biçimde kullanılmamakta; bilimsel veri temelli planlama eksikliği sürmektedir.

Dolayısıyla, Chak-Logar akarsu havzası özelinde, hem teknik (jeofiziksel ve hidrolojik) hem de sosyal bileşenleri bütüncül bir yaklaşımla ele alan, bilimsel temellere dayalı bir su hasadı planlamasına duyulan ihtiyaç, bu çalışmanın temel problemini oluşturmaktadır.

1.4. Hipotezler

Bu tez çalışmasında, CBS tabanlı çok kriterli karar analizleri ve kamuoyu verileri ışığında aşağıdaki hipotezler test edilmiştir:

H1: CBS ve AHP yöntemi ile entegre edilen çok kriterli karar analizi, Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadına uygun alanların belirlenmesinde etkili ve güvenilir bir yöntemdir.

H2: Chak-Logar havzasındaki mevcut kontrol barajının büyük bir kısmı, geliştirilen modelin öngördüğü “yüksek uygunluk” bölgeleriyle örtüşmektedir.

H3: ABDTB hidrolojik toprak grubu sınıflandırmasına göre Chak-Logar Akarsu Havzası'nın önemli bir bölümü orta ila yüksek yüzey akış potansiyeline sahiptir; bu da bölgenin su hasadı için elverişli olduğunu göstermektedir.

H4: Yerel halk, su hasadı uygulamalarını faydalı görmekte, bu uygulamalara katılma konusunda istekli olup uygulamaların kuraklık ve taşkın gibi iklim temelli afetlerin etkilerini azaltmada etkili olduğunu düşünmektedir; ancak yetersiz kamu politikaları, teknik bilgi eksikliği ve sınırlı hükümet desteği yaygınlaşmayı engellemektedir.

H5: Yağış dağılımı ve topoğrafik eğim, Chak-Logar havzasında su hasadı uygunluk alanlarını belirleyen en baskın faktörlerdir.

H6: Su hasadı için uygun alanların sosyoekonomik olarak erişilebilirliği (yerleşim ve yolların yakınlığı) teknik uygunluk kadar belirleyicidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Su hasadı 1980'lerden bu yana dünya çapında yeniden büyük ilgi görmeye başlamıştır (Ammar ve diğ., 2016). Bilgisayar teknolojisinin, özellikle de CBS ve Uzaktan Algılamanın (UA) ortaya çıkışı, su hasadı için uygun alanların belirlenmesine yönelik yeni metodolojilerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Sonuç olarak, bu teknolojik ilerleme, bu konuyu araştırmaya yönelik çalışmaların çoğalmasını teşvik etmiştir (Ammar ve diğ., 2016).

Su kıtlığının önemli zorluklar oluşturduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı uygulamaları çok yaygındır. Çeşitli inceleme çalışmaları daha önce su hasadı incelemiş, özellikle de bu bölgelerdeki önemine odaklanmıştır. Bu tür alanlarda tarımsal kalkınmayı desteklemek için öncelikle karadan su hasadı sistemleri uygulanmaktadır.

Su hasadı sistemleriyle ilişkili sosyoekonomik faktörleri kapsamlı bir şekilde ele alan çalışma eksikliği vardır. Ancak Lasprilla Pina ve Kassaye (2017), su hasadı ile bağlantılı teknik, yasal, kalite ve ekonomik konuları kapsayan çeşitli zorlukların yanı sıra farkındalık eksikliğini belirledikleri bir inceleme gerçekleştirmiştir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için Çin ve Brezilya'dan en iyi uygulama örneklerini sunmuştur. Ayrıca de Sá Silva ve diğ. (2022), su hasadı sistemlerinin hem çevresel hem de sosyoekonomik yönlerini incelemiştir. Daha önceki çalışmaların çoğundan, su hasadı sistemlerinin çevresel ve sosyoekonomik boyutlarının anlaşılmasında dikkate değer bir boşluk olduğu açıkça görülmektedir.

Mehl ve diğ. (2017), hem mikro hem de makro havza planlarını kapsayan, karadan su hasadına ilişkin tekniklerin kapsamlı bir incelemesini gerçekleştirmiştir. Çalışmaları, sırasıyla mikro ve makro havza bağlamlarına göre uyarlanmış, küçük ölçekli ve büyük ölçekli su hasadı için farklı yaklaşımlar önermiştir. Ayrıca Odhiambo ve diğ. (2021), özellikle Kenya'daki küçük ölçekli sulama çiftçilerine yönelik su hasadı sistemlerinin tasarım optimizasyonunu incelemiştir. Bulguları, mevcut sistemlerin düşük performansının altını çizerek bunların verimliliğini artırmak için stratejiler önermiştir.

Martínez-Acosta ve diğ. (2019), tarımsal su hasadı sistemlerinin planlanmasına yönelik tasarım kriterlerine odaklanan bir inceleme gerçekleştirmiştir. Çalışmaları, entegre su kaynakları yönetimi çerçevesinde toprak tipi, ortalama yağış düzeni ve havzanın biyografik özellikleri gibi faktörlerin önemini vurgulamıştır. Ayrıca Tolossa ve diğ. (2020), Etiyopya'da iklim değişikliğinin yarattığı zorlukların ortasında tarımsal üretimi sürdürmede su hasadı teknolojisinin ve uygulamalarının durumunu

değerlendirmiştir. Ayrıca Roba ve diğ. (2022), geçmiş deneyimlerden değerli dersler çıkarırken başarıları, zorlukları ve fırsatları değerlendirerek Etiyopya'daki su hasadı uygulamalarını incelemiştir. Bu çalışmalar, toplu olarak, araziye dayalı su hasadı sistemlerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına ve bunların kurak ve yarı kurak bölgelerdeki tarımsal sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerine katkıda bulunmaktadır.

Malesu ve diğ. (2007) bir teknik raporunda su hasadı teknolojileri için bir CBS veri tabanı geliştirip Afrika ve seçilen dokuz ülke için su hasadı potansiyellerini gösteren bir Atlas oluşturmak için çaba sarf etmiştir. Ayrıca Malesu ve diğ. (2006), Kenya'daki su kıtlığını gidermeyi amaçlayan su hasadı yeniliklerine odaklanan bir teknik rapor hazırlamıştır. Bu rapor, arazi örtüsü değişikliklerinin hidrolojik etkisini, su hasadı teknolojisinin kullanımını ve su hasadının Kenya'nın Lare bölgesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Ayrıca, Vohland ve Barry (2009), su hasadı uygulamaları ve bunların Afrika kurak alanlarındaki peyzaj işlevlerini değiştirmedeki rolünü inceleyen bir inceleme çalışması yürütmüştür. Bu çalışmanın bulguları, bu tür uygulamaların sonuçlarını kapsamlı bir şekilde anlamak için daha fazla araştırmanın gerekliliğini vurgulamıştır.

Önceki çalışmalar iklim değişikliğinin su hasadı üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde incelenmemiştir. Ancak Şen (2021), iklim değişikliğinin etkilerini dikkate alarak hem doğal hem de yapay rezervuarlarda su depolamaya yönelik uygulama metodolojilerine odaklanan bir inceleme yapmıştır. Ayrıca çalışma, kurak bir bölge olan Suudi Arabistan'daki gerçek bir yeraltı suyu besleme uygulamasının ayrıntılı bir analizini sunmakta böylece değişen iklim koşulları altında pratik uygulamalara ilişkin değerli bilgiler sunmaktadır.

Ahmed ve diğ. (2023a) tarafından yürütülen sistematik bir inceleme kurak ve yarı kurak bölgelerdeki potansiyel su hasadı sahalarının seçimine ilişkin çalışmalara odaklanmıştır. Bu incelemenin sonuçları, çalışmaların %41'inin hem biyofiziksel hem de sosyoekonomik kriterleri dikkate aldığını, çerçevelerin %59'unun ise öncelikli olarak biyofiziksel kriterleri dikkate aldığını vurgulamıştır. Ayrıca Ammar ve diğ. (2016), inceleme çalışmalarına dayanarak kurak ve yarı kurak bölgelerdeki su hasadı yapıları için uygun alanların belirlenmesine yönelik genel metodolojiler önermiştir. Bulguları dört metodoloji kümesinin önerilmesine yol açmıştır: 1) CBS/UA, 2) Hidrolojik Modelleme (HM) ve CBS/UA, 3) Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA), HM ve CBS/UA ve 4) ÇKKA CBS. Ayrıca çalışma, her yöntemin avantaj ve sınırlamalarının ayrıntılı bir analizini sunmaktadır.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde kuru akarsu yatakları, su toplama girişimleri için pahası biçilmez bir fırsat teşkil etmektedir. Bu çorak kanallar suyun tutulması ve depolanması için etkili yüzeyler görevi görebilmektedir. Yifru ve diğ. (2021), kum barajlarına özellikle vurgu yaparak bu tür bölgelerde özellikle kuru akarsu yataklarından yararlanılan su depolama tekniklerine odaklanan kapsamlı bir inceleme gerçekleştirmiştir. Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki kuru akarsu yataklarında su hasadı girişimleri için önemli bir potansiyel ortaya çıkarmıştır.

2.1 Su Kalitesi

Su, insan yaşamı için vazgeçilmez bir kaynaktır ve toplumun gelişimi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin sağlanarak kalitesinin korunması gerekmektedir (Cantaluppi ve diğ., 2021). Şu ana kadar dünya çapında su insan tüketimi için düzenlenmemiştir. Böylece, suyun gelecekteki insan tüketimi için bir alternatif olarak değerlendirilebilmesi amacıyla uluslararası içme suyu yönergeleri örneğin Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (ABD-ÇKA) ve Avrupa Birliği (AB) tarafından analiz edilmektedir (Morales-Figueroa ve diğ., 2023).

Morales-Figueroa ve diğ. (2023) yaptığı bir çalışmada arıtılan su kalitesi açısından arıtma performansı DSÖ tarafından düzenlenen parametreler ile karşılaştırmıştır. Adsorpsiyon/filtrasyon, su arıtımında diğer arıtmalara göre daha yüksek kirletici giderme verimliliği sağlamıştır. Bununla birlikte, birleşik arıtmalar, suyun insan tüketimine uygun hale gelmesi için önerilmiştir. De Kwaadsteniet ve diğ. (2013) yaptığı bir çalışmada evsel suyunun kimyasal ve mikrobiyal kalitesi, bununla ilişkili başlıca patojenler/hastalık vakaları ve suyun arıtılmasında kullanılan prosedürler ve yöntemler incelemiştir.

2.2 Su Hasadı

Su hasadı çeşitli tanım ve terimleri kapsar. Myers (1975) bunu "sulama amacıyla ister durgun su ister akarsu akışı olsun, her türlü çiftlik suyunun toplanması ve depolanması" olarak tanımlamaktadır. Critchley ve diğ. (2013) su hasadı "üretken kullanım için suların toplanması" olarak tanımlamaktadır. Bu arada Mekdaschi ve Liniger (2013), su hasadı "evsel ve tarımsal kullanım için su mevcudiyetini ve ayrıca ekosistem sürdürülebilirliğini artırmak için sel veya su akışının toplanıp yönetilmesini" içerdiğini belirterek daha geniş bir tanım sunmuştur.

Göletler ve tavalar, barajlar, teraslar, süzme tankları ve Nala barajları, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki en yaygın su hasadı tekniklerini temsil etmektedir (Oweis ve diğ., 2012). Yıllık minimum 100 milimetre yağış alan bölgelerde su hasadının yapılabilirliği mümkündür (NAS, 1974). Bitkisel üretime yönelik su hasadı sistemleri tipik olarak üç kategoriye ayrılır: yerinde, dâhili (mikro) havza ve harici (makro) havza su hasadı sistemleri (Hatibu ve Mahoo, 1999). Son yıllarda kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı tekniklerinin benimsenmesi önemli ölçüde artmıştır. Afrika'da Kenya hükümeti, su hasadı teknolojilerini aktif olarak geliştirme programlarına entegre edip uygulamaktadır (Wekesa ve diğ., 2023).

Topoğrafya ve iklim, su hasadı için uygun alanların belirlenmesinde çok önemli faktörlerdir. Dik arazi ve nispeten yüksek yağışla karakterize edilen bölgelerde, uygun su hasadı sahalarının seçilmesine yönelik kriterler, düz arazili ve daha az yağış alan bölgelerdekilerden farklıdır. Örneğin, Afganistan'daki dik araziye sahip Kabil Nehri havzasında yeraltı suyu beslenmesinin temel belirleyicileri arasında jeoloji, jeomorfoloji, çizgisellik yoğunluğu ve eğim yer almaktadır (Noori ve Singh, 2024). Ayrıca eğim, toprak dokusu, LULC, yağış ve potansiyel akış katsayısı gibi biyofiziksel kriterlere dayanarak Suudi Arabistan'ın Riyad bölgesinde su hasadı için uygun alanlar belirlenmiştir (Radwan ve Alazba, 2023).

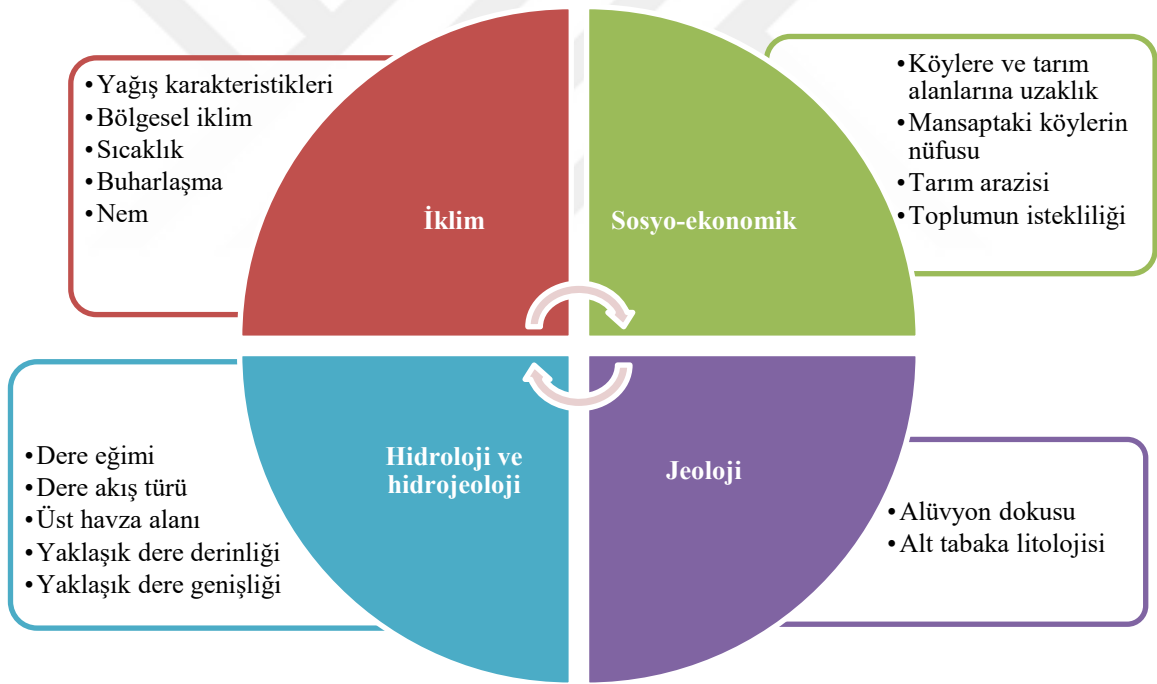
İklim değişikliği dünya çapında birçok bölgede yağış yoğunluğunun ve sıklığının artmasının önemli bir nedenidir. Su kıtlığıyla boğuşan bölgelerde ani seller, elde edilebilecek potansiyel bir su kaynağı teşkil etmektedir. Üstelik birçok kurak bölgede yağışların artan yoğunluğu ve sıklığı, ani taşkınları yapay beslenme alanlarına yönlendirerek yeraltı suyunun beslenmesi için bir fırsat sunmaktadır (Şen, 2021).

Su hasadı sistemlerinin etkili performansı için optimum saha seçimi çok önemlidir. Biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterlerin geniş kategorilerini ve çeşitli yöntem ve tekniklerin bir kombinasyonunu kapsayan karar destek araçları, seçim sürecinde hayati bir rol oynamaktadır. Sonraki bölümlerde bu konuların ayrıntılı tartışmaları ele alınmıştır.

2.2.1 Uygun Su Hasadı Sahalarının Seçiminde Kullanılan Kriterler

Su hasadı için uygun alanların seçim sürecinde biyofiziksel ve sosyoekonomik olmak üzere iki ana kriter grubu yaygın olarak kullanılmaktadır. 2003 yılında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (BM-GTÖ/FAO), su hasadı alanlarını seçmek için altı

ana kriteri belirlemiştir: iklim, hidroloji, topoğrafya, tarım bilimi, toprak ve sosyoekonomik faktörler (Kahinda ve diğ., 2008). Yağış, arazi kullanım ve LULC, topoğrafya, toprak dokusu/derinliği, hidroloji, sosyoekonomik koşullar, ekolojik hususlar ve çevresel etkiler gibi çeşitli faktörler su hasadı için uygun yerlerin belirlenmesinde etkilidir (Prinz ve Singh, 2000). Ayrıca sedimantasyon, su toplama sistemlerinin işlevselliği açısından çok önemli bir kriter olarak öne çıkıyor. Öneme rağmen, su toplama teknikleri üzerine yapılan önceki çalışmalarda sedimantasyon bir karar kriteri olarak sıklıkla göz ardı edilmiştir. Ancak son yıllarda bazı çalışmalarda sedimantasyonun su hasadı için anahtar karar kriteri olarak dikkate alınmasıyla birlikte bir değişim yaşanmıştır (Patel ve Chaudhari, 2023). Sedimantasyon, özellikle dik arazilerle karakterize edilen bölgelerde su hasadı sistemleri için önemli bir endişe oluşturmaktadır. Sekil 2,1’de su hasadı yer seçiminde önemli kriterler gösterilmiştir.



Sekil 2.1. Su hasadı yer seçiminde önemli kriterler Dortaj ve diğ. (2020) den uyarlanmıştır

Su hasadı için uygun alanların seçiminde çeşitli biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler kullanılmaktadır. Ancak çoğu çalışmada yer seçiminde yalnızca biyofiziksel kriterler dikkate alınmaktadır. Ancak çalışmaların yaklaşık üçte birinde hem biyofiziksel hem de sosyoekonomik kriterler aynı anda ele alınmaktadır (Çizelge 2.6). Ahmed ve ark. (2023a) yaptığı çalışmada %41'inin hem biyofiziksel hem de sosyoekonomik kriterleri

içerdiğini, %59'unun ise yalnızca biyofiziksel kriterlere odaklandığını vurgulamıştır. Çizelge 2.6'da hem biyofiziksel hem de sosyoekonomik kriterleri dikkate alan çalışmalar koyu renkle ve altı çizili olarak, yalnızca biyofiziksel kriterleri dikkate alan çalışmalar ise italik ve koyu renkle gösterilmiştir. Ammar ve diğ. (2016) göre kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı için uygun alanların belirlenmesinde kullanılan en yaygın biyofiziksel kriterlerin eğim (%83), LULC (%75), toprak tipi (%75) ve yağış (%56) olduğunu belirtmektedir. Ayrıca yerleşim yerlerine uzaklık (%25), akarsulara uzaklık (%15), yollara uzaklık (%15) ve maliyet (%8) gibi sosyoekonomik kriterlerin de sıklıkla kullanıldığı görülmüştür.

Orta Asya'daki Kazakistan gibi yağışın esas olarak kar olarak meydana geldiği soğuk bölgelerde, kar suyu eşdeğeri, su hasadı için potansiyel alanların belirlenmesinde diğer karar kriterleri arasında önemli bir yere sahiptir. Teleubay ve diğ. (2023) değerlendirmelerinde kar suyu eşdeğerine nispeten yüksek bir ağırlık (%29) vermiştir. Bununla birlikte, nispeten sıcak bir iklimle karakterize edilen çoğu kurak ve yarı kurak bölgede, kar suyu eşdeğeri genellikle su toplama alanlarının seçiminde dikkate alınmamıştır. Ayrıca yapılan çalışmaların çoğunda sosyo-ekonomik kriterlerde geçim kaynakları, evsel su kaynakları ve arazi mülkiyeti gibi saha araştırması verileri eksikliği görülmektedir. Bununla birlikte, sınırlı sayıdaki birkaç çalışmada, su hasadı için karar kriteri olarak saha verileri dikkate alınmıştır (Suni ve diğ., 2023; Ibrahim ve diğ., 2013). Çizelge 2.1'de su hasadı şartlandırma faktörlerinin yüzey suyu hasadı ve yeraltı suyu hasadı için uygunluğu tematik katmanları ve bunların önemi verilmiştir.

Çizelge 2.1. Mikro havza ölçekli su hasadı yapılarının şartlandırma faktörlerinin tematik katmanları ve bunların önemi

Faktörler	Yüzey suyu hasadı için uygunluğu	Yeraltı suyu hasadı için uygunluğu	Kaynak
Eğim	Hafif ila orta derecede dik yamaçlar	Hafif ila orta derecede dik yamaçlar	Toosi ve diğ. (2020)
Arazi kullanımı arazi örtüsü	Çayır, çalılık, çorak arazi, mera gibi alanları kapsayan arazi	Çayır, çalılık, çorak arazi, mera gibi alanları kapsayan arazi	Bera ve Mukhopadhyay (2023)
Drenaj yoğunluğu	Yüksek ila çok yüksek drenaj yoğunluğu	Düşük ila çok düşük drenaj yoğunluğu	Bera ve Mukhopadhyay (2023)
Toprak Dokusu	İnce tınlı ve siltli kil toprak tipleri	Tınlı iskelet tipi toprak	Hashim ve Sayl (2021)
Yağış	Yüksek ve orta düzeyde yağış		Mahmoud ve Alazba (2015)
Jeoloji	Kuvarsit, düşük geçirgenlik ve gözenekliliğe sahip, foliasyonsuz bir metamorfik kayadır. Bazalt, fillit, mika şisti, genç granit intrüzif kayalar, epidiorit ve hornblend şisti (orta derecede uygundur)	Güncel alüvyon	Bera ve Mukhopadhyay (2023)
Eğrilik	İçbükey eğrilik ve düz yüzey eğriligi	İçbükey eğrilik ve düz yüzey eğriligi	Bera ve Mukhopadhyay (2023)
Çizgisel yoğunluk	Düşük çizgisel yoğunluk	Yüksek ila çok yüksek çizgisel yoğunluk	Bera ve Mukhopadhyay, (2023)
Jeomorfoloji	Orta eğim gösteren ve 0–5 m kalınlığa kadar katmanlara sahip sığ gömülü alınlıklar. Orta gömülü alınlıklar (orta derecede uygun)	Vadi dolgu özellikleri	Ghosh ve Jana (2018)
Topoğrafik ıslaklık indeksi	Yüksek ila çok yüksek TII değerleri. Orta TII değeri (orta derece uygun)		Bera ve Mukhopadhyay (2023)
Tarım alanlarına yakınlık (m)	>250 uygulanabilir ≤250 uygulanabilir değil		Al-shabeeb (2016); Toosi ve diğ. (2020)
Yerleşim yerlerine yakınlık (m)	>250 uygulanabilir ≤250 uygulanabilir değil		Ezzeldin ve diğ. (2022); Toosi ve diğ. (2020)
Yollara uzaklık (m)	>250 uygulanabilir ≤250 uygulanabilir değil		Alene ve diğ. (2022); Toosi ve diğ. (2020)
Nehirlere uzaklık (m)	>200 uygulanabilir <200 uygulanabilir değil		Matomela ve Ikhumhen (2020)
Göl alanına uzaklık (m)	>1000 uygulanabilir <200 uygulanabilir değil		Matomela ve Ikhumhen (2020)
Fay hattına uzaklık (m)	>1000 uygulanabilir <1000 uygulanabilir değil		Al-Adamat ve diğ. (2010)

Kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun su hasadı sahalarının seçilmesi için genellikle BM-GTÖ/FAO, Jeolojideki Gelişmeler ve Sürdürülebilir Kalkınma için Entegre Misyon olmak üzere üç kılavuz seti bulunmaktadır. Bu bölgelerde uygun su hasadı alanlarının seçilmesine yönelik en yaygın yönergeler Çizelge 2.2'de özetlenmiştir. Sürdürülebilir Kalkınma için Entegre Misyon kılavuzu kapsamında, yalnızca dört biyofiziksel kriter, yani drenaj sistemi, eğim, LULC ve toprak dokusu, uygun su hasadı sahaların yer seçimi için dikkate alınmıştır (IMSD, 1995). Bunun tersine, Jeolojideki Gelişmeler kılavuzunda, beş biyofiziksel kriterin yanı sıra, uygun su hasadı sahalarının seçiminde tek sosyoekonomik kriter olarak arazi mülkiyeti tavsiye edilmiştir (Oweis ve diğ., 1998). Ayrıca BM-GTÖ/FAO kılavuzunda, uygun su hasadı alanlarının seçimi için beş biyofiziksel kritere ek olarak sekiz sosyoekonomik kriter de önerilmektedir (FAO, 2003). Sonuç olarak, BM-GTÖ/FAO kılavuzunun uygun su hasadı sahalarının seçimi konusunda daha kapsamlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.2. Kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun su hasadı sahalarının seçimi için en yaygın kılavuzları

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (BM-GTÖ/FAO) (2003)	Jeokolojideki Gelişmeler Oweis ve diğ. (1998)	Sürdürülebilir Kalkınma için Entegre Misyon IMSD (1995)
İklim (yağış)	Yağış	-
Hidroloji (yağış-akış ilişkisi ve aralıklı su yolları)	Drenaj sistemi	Drenaj sistemi
Eğim	Eğim	Eğim
Tarım Bilimi (mahsul özellikleri)	Arazi Kullanımı/Örtü (LULC)	Arazi Kullanımı/Örtü (LULC)
Toprak (doku, yapı ve derinlik)	Toprak tipi	Toprak dokusu
Sosyo-ekonomik (nüfus yoğunluğu, iş gücü, insanların önceliği, su hasadı deneyimi, arazi mülkiyeti, su yasaları, erişilebilirlik ve ilgili maliyet)	Sosyoekonomik (arazi mülkiyeti)	-

Su hasadı saha seçimine ilişkin ana kriterler ve bunlarla ilişkili ağırlıklar Çizelge 2.3'te verilmiştir. Çoğu çalışmada yaygın olarak kullanılan kriterler arasında LULC, eğim, yağış ve jeoloji yer almaktadır. Son yıllarda, biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterlerin yanı sıra, bitki örtüsü yoğunluğunu ve sağlığını ölçmek için yaygın olarak kullanılan ve genellikle %3-4 arasında değişen bir ağırlığa sahip olan Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) de su hasadı yer seçimi için kullanılmıştır (Rawat ve diğ., 2023; Mouhoumed ve diğ., 2024). Su hasadı yer seçimi için en yaygın kriter olan eğim, dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dik arazilerde eğim için belirlenen ağırlıklar %20-39 arasında değişmektedir (Krois ve Schulte, 2014; Matomela ve diğ., 2020). Bir istisna olarak Afganistan'ın Kabil kentinde eğim için ağırlık yaklaşık %14

olarak tahsis edilmiştir (Noori ve Singh, 2024). Bunun tersine, nispeten düz arazilerde, su hasadı yer seçiminde eğim için atanan ağırlıklar tipik olarak %3-20 arasında değişmektedir (Alkaradaghi ve diğ., 2022; Mouhoumed ve diğ., 2024).

Su hasadı yer seçimi için dünya çapındaki çoğu bölgede LULC'ye genellikle %4-18 arasında değişen ağırlıklar tahsis edilmiştir (Mahmoud ve diğ., 2015; Chimdessa ve diğ., 2023). Bununla birlikte, Rajasthan, Hindistan ve Kenya'daki Njoro havzası gibi bölgeler için sırasıyla %43 ve %30 gibi önemli oranda daha yüksek ağırlıklar LULC'ye tahsis edilmiştir (Maina ve Raude, 2016; Rawat ve diğ., 2023). Daha yüksek ağırlıklar tipik olarak kurak iklimler ve nispeten düşük yağış seviyeleri ile karakterize edilen bölgelerdeki yağış ve yüzey akışı için belirlenmiştir. Tersine, yarı kurak iklime ve nispeten daha yüksek yağışa sahip bölgelere daha düşük ağırlıklar verilmektedir (bkz. Çizelge 2.3). Biyofiziksel kriterlerin yanı sıra sosyoekonomik kriterleri de içeren çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmalarda sosyoekonomik kriterlere verilen ağırlıklar genellikle %1-5 arasında değişmektedir (Alkaradaghi ve diğ., 2022; Mouhoumed ve diğ., 2024). Ancak Çin'in Bojiang Gölü Havzasında yapılan bir çalışmada sosyoekonomik kriterlerin ağırlıklarının %10-15 arasında olduğu kabul edilmektedir (Matomela ve diğ., 2020).

Çizelge 2.3. Su hasadı sahalarının seçimine ilişkin ana kriterler ve bunlarla ilişkili ağırlıklar

Kaynakça	Çalışma alanı	Ana kriterler	Ağırlık (%)
Rawat ve diğ. (2023)	Rajasthan, Hindistan	Arazi kullanımı/örtüsü (LULC)	43
		Toprak dokusu	22
		Drenaj yoğunluğu	17
		Yağış	10
		Eğim	5
		Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)	3
Mouhoumed ve diğ. (2024)	Djibouti, Afrika	Eğim	19,13
		LULC	6,09
		Toprak dokusu	2,82
		Havza büyüklüğü	9,95
		Yağış	23,53
		Akış	14,79
		Elektriksel iletkenlik	5,38
		NDVI	3,96
		Yerleşim yerlerine yakınlık	4,20
		Yollara olan mesafeler	1,50
		Tarım parsellerine yakınlık	4,68
		Tarımsal parsel yoğunluğu	3,97
Singh ve diğ. (2017)	Damodar Nehri havzası, Batı Bengal	Akış katsayısı	39,1
		Eğim	34,8
		Drenaj yoğunluğu	26,1

Kaynakça	Çalışma alanı	Ana kriterler	Ağırlık (%)
Toosi ve diğ. (2020)	Meşhet Ovası Havzası, İran	Yağış Eğim Toprak tipi Toprak derinliği LULC Drenaj yoğunluğu	31 24 18 11 10 6
Maina ve Raude (2016)	Njoro Havzası, Kenya	Çizgisellikler Toprak Eğim LULC	15 28 27 30
Farooq ve diğ. (2022)	Pencap, Pakistan	LULC Eğim Akış (mm) Drenaj yoğunluğu	5 30 53 11
Alkaradaghi ve diğ. (2022)	Karadaqh, Irak	Yağış Jeoloji Akış Çizgisellik LULC CN Toprak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Eğim Köyler	28,0 20,0 13,7 8,8 8,8 5,5 5,5 3,4 3,4 2,3
Mahmoud ve diğ. (2015)	Mısır	Toprak dokusu LULC Eğim Yağış surplus Potansiyel akış katsayısı	36,1 4,7 7,7 16,0 35,6
Krois ve Schulte (2014)	Kuzey Peru	Yağış Akış Katsayısı Eğim LULC Toprak dokusu Toprak derinliği	4,0 14 39 14 15 14
Rajasekhar ve diğ. (2020)	Güney Hindistan	Jeoloji LULC Drenaj yoğunluğu Toprak Eğim Vadoz bölgesi Akış	14 8 19 3 13 9 22
Waghaye ve diğ. (2023)	Uttar Pradesh Eyaleti, Hindistan	Akış katsayısı Eğim Drenaj yoğunluğu	56 32 12
Alene ve diğ. (2022)	Amhara Bölgesi, Etiyopya	Akış Eğim Toprak dokusu Drenaj yoğunluğu LULC	42 26 16 10 6,0
Roy ve diğ. (2022)	Batı Bengal, Hindistan	Akış katsayısı Eğim LULC Toprak dokusu Drenaj yoğunluğu	14 13 12 12 11

Kaynakça	Çalışma alanı	Ana kriterler	Ağırlık (%)
		Akış sırası	11
		Jeoloji	9
		Çizgisellik yoğunluğu	9
		Yeraltı suyu derinliği	9
Elewa ve diğ. (2021)	Sina Yarımadası, Mısır	Ortalama karasal akış mesafesi	2,20
		Yıllık sel hacmi	24,60
		Sızma numarası	6,64
		Maksimum akış mesafesi	8,57
		Drenaj yoğunluğu	4,00
		Havza alanı	23,50
		Havza uzunluğu	5,40
		Havza eğimi	25,14
Radwan ve Alazba (2023)	Riyad, Suudi Arabistan	Eğim	8,0
		LULC	5,0
		Toprak dokusu	13,0
		Yağış	28,0
		Akış katsayısı	46,0
Gavhane ve diğ. (2023)	Racastan, Hindistan	Akış derinliği	45
		Eğim	30
		LULC	13
		Toprak dokusu	8
		Drenaj yoğunluğu	4
Al-shabeeb (2016)	Azrak Havzası, Ürdün	Yağış	24,5
		Eğim	20,2
		Çizgisellik yoğunluğu	14,2
		Drenaj yoğunluğu	13,3
		Jeoloji	12,8
		Toprak kil oranı	15,0
Matomela ve diğ. (2020)	Bojiang Nehir Havzası, Çin	Eğri numarası ızgarası	23
		Eğim	20
		Drenaj yoğunluğu	19
		Su kaynağına uzaklık	15
		Yerleşim alanlarına olan mesafe	13
		Yollara olan mesafe	10
Chimdessa ve diğ. (2023)	Bale ovası, Etiyopya	Yağış	39,8
		LULC	17,6
		Toprak dokusu	14,4
		Eğim	14,7
		Toprak derinliği	5,7
		Akış	7,8
Noori ve Singh (2024)	Kabil, Afganistan	Jeoloji	25,51
		Jeomorfoloji	12,24
		Çizgisellik yoğunluğu	8,18
		Eğim	13,76
		LULC	12,76
		Drenaj yoğunluğu	11,74
		Toprak	7,14
		Yağış	8,67

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki uygun su hasadı alanlarının belirlenmesine yönelik biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterlerin yanı sıra her bir kritere yönelik uygunluk düzeyleri ve puanlar Çizelge 2.4'te verilmiştir. Ancak yapılan çalışmaların

çoğunda uygun su hasadı yerleri seçim için yalnızca biyofiziksel kriterler dikkate alınmıştır. Sonuç olarak sosyoekonomik kriterlere göre puanlama ve uygunluk düzeylerinin belirlenmesi konusunda bilgi eksikliği bulunmaktadır. Neyse ki son yıllarda, özellikle 2020'den sonra, uygun su hasadı alanlarının seçimi için biyofiziksel kriterlerin yanı sıra sosyoekonomik kriterleri de kapsamaya başlayan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte, su hasadı yer seçiminde sosyoekonomik kriterleri de dikkate alan çalışmalar yapılarak literatürdeki bu boşluğun giderilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duymaktadır.

Çizelge 2.4. Kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun su hasadı bölgelerinin belirlenmesine yönelik biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler, uygunluk düzeyleri ve her bir kritere ilişkin puanlar

Kaynakça	Biyofiziksel kriterler	Uygunluk	Değer	Puan
Tumbo ve diğ. (2006)	Toprak dokusu (kil içeriği, %)	Çok yüksek (kil)	>20	5
		Yüksek (siltli kil)	15-20	4
		Orta (kumlu kil)	11-15	3
		Düşük (kumlu killi tın ve kumlu tın)	8-11	2
		Çok düşük (diğer)	<8	1
Adham ve diğ. (2018)	Akış derinliği (mm)	Çok yüksek	80-90	5
		Yüksek	70-80	4
		Orta	60-70	3
		Düşük	50-60	2
		Çok düşük	<50	1
	Eğim (%)	Çok yüksek (dalgalı)	1,5-2,5	5
		Yüksek (yuvarlanma)	2,5-4,5	4
		Orta (düz)	<1,5	3
		Düşük (tepelik)	4,5-7,5	2
		Çok düşük (dağlık)	>7,5	1
	Akış sırası	Çok yüksek	>7	5
		Yüksek	7	4
		Orta	6	3
		Düşük	5	2
		Çok düşük	<4	1
	LULC	Çok yüksek (tarım arazisi ve çimen)	-	5
		Yüksek (orta derecede ekili)	-	4
		Orta (çıplak toprak)	-	3
		Düşük (dağ)	-	2
		Kısıtlı (su kütlesi, kentsel alan)	-	-
Al-Adamat ve diğ. (2010)	Yağış (mm/yıl)	Çok yüksek	>325	5
		Yüksek	250-325	4
		Orta	175-250	3
		Düşük	100-175	2
		Çok düşük	<100	1
Elewa ve diğ. (2012)	Drenaj uzunluğu (m)	Çok yüksek	0-50	5
		Yüksek	50-125	4

Kaynakça	Biyofiziksel kriterler	Uygunluk	Değer	Puan
		Orta	125–200	3
		Düşük	200–300	2
		Çok düşük	>300	1
Adham ve diğ. (2016)	Depolama kapasitesi oranı (-)	Çok yüksek (optimum gereksinim)	1,0–2,0	5
		Yüksek (yeterli)	0,5–1,0	4
		Orta (kritik)	2,0–4,0	3
		Düşük (aşırı gereksinim)	<0,5	2
		Çok düşük (çok kritik gereksinim)	>4,0	1
Adham ve diğ. (2016)	Yapı boyutları oranı (-)	Çok yüksek (optimum)	0,75–1,0	5
		Yüksek (yeterli)	0,5–0,75	4
		Orta (tasarımın üzerinde)	<0,5	3
		Düşük (tasarım altında)	1,1–1,25	2
		Çok düşük (kritik)	>1,25	1
Adham ve diğ. (2016)	Havza/kırpma alanı oranı (-)	Çok yüksek	0,75–1,25	5
		Yüksek	0,5–0,75	4
		Orta	1,25–2,0	3
		Düşük	<0,5	2
		Çok düşük	>2,0	1
Kahinda ve diğ. (2008)	Toprak derinliği (m)	Çok yüksek (çok derin)	>1,5	5
		Yüksek (derin)	0,9–1,5	4
		Orta (orta derecede derin)	0,5–0,9	3
		Düşük (sığ)	0,25–0,5	2
		Çok düşük (çok sığ)	<0,25	1
Adham ve diğ. (2018)	Güvenilirlik oranı (-)	Çok yüksek (yeterince yüksek)	0,75–1,1	5
		Yüksek (orta yeterli)	0,35–0,75	4
		Orta (yeterli)	1,1–1,75	3
		Düşük (büyük eksiklik)	<0,35	2
		Çok düşük (çok büyük eksiklik)	>1,75	1
Al-Adamat (2008)	Yerleşim yerlerine uzaklık (km)	Çok yüksek	<0,5	5
		Yüksek	0,5–0,75	4
		Orta	0,75–1,25	3
		Düşük	1,25–1,75	2
		Çok düşük	>1,75	1
Mekdaschi ve Liniger (2013)	Maliyet (\$/m ³ su)	Çok yüksek (karlı maliyet)	<3	5
		Yüksek (uygun maliyet)	3–6	4
		Orta (orta maliyet)	6–9	3
		Düşük (yüksek maliyet)	9–12	2
		Çok düşük (çok yüksek maliyet)	>12	1

Toprak dokusunda kil içeriği su hasadı yer seçiminde çok önemli bir rol oynar. Kil içeriği %20'yi aşan topraklar yüzey suyu hasadı teknikleri için oldukça uygunken, %8'den az kil içeriğine sahip olanların yüzey suyu hasadı için uygunluğu çok düşüktür (Tumbo ve diğ., 2006). Bu nedenle toprak dokusundaki kil içeriği, su hasadı uygunluğuyla doğrudan ilişkilidir. Yapılan çalışmaların çoğunda 1'den 5'e kadar puanlar verilmekte olup, 5 puan çok yüksek uygunluğu, 1 puan ise çok düşük uygunluğu göstermektedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı saha seçimi için yağış miktarı ve akış derinliği önemli kriterler arasındadır. Akış derinliği tipik olarak rasyonel

yöntemler ve Hidrolojik Modelleme (HM) kullanılarak belirlenir. Son yıllarda akış derinliğini belirlemek için HM kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Akış derinlikleri 80-90 mm arasında değişen ve yıllık yağış miktarı 325 mm'yi aşan bölgelerin su hasadı için çok yüksek uygunluğa sahip olduğu kabul edilmektedir. Bunun tersine, akış derinliği 50 mm'den az ve yıllık yağış miktarı 100 mm'nin altında olan bölgelerin su hasadı için çok düşük uygun olduğu kabul edilmektedir (Al-Adamat ve diğ., 2010; Adham ve diğ., 2018).

Dağlık, engebeli, inişli çıkışlı, dalgalı ve düz gibi tanımlayıcılar dâhil olmak üzere eğim değerlerinin tanımı ve arazi sınıflandırması konusunda fikir birliği eksikliği bulunmaktadır. Adham ve diğ. (2018), eğimi %1,5-%2,5 arasında değişen engebeli arazileri su hasadı için son derece uygun alanlar olarak önerirken, %7,5'i aşan eğimlere sahip dağlık araziler ise son derece uygunsuz görülmüştür. Bunun tersine, Al-Adamat ve diğ. (2010), gölet ve tavalara için eğimi %5'ten az olan araziler tavsiye edilirken, Mbiliyi ve diğ. (2007) su toplama tekniği olarak teraslama için uygun alanlar olarak %5 ile %30 arasında eğimli araziler önermektedir.

Su hasadının uygunluğu kullanım amacına bağlıdır. Hasat edilen suyun sulama amaçlı olması durumunda, su toplama yapısının su kullanımını optimize etmek için ideal olarak tarım arazisi içinde konumlandırılması gerekir. Tersine, eğer hasat edilen su evsel su temini için kullanılacaksa, yapı yerleşim alanlarına yakın bir yerde konumlandırılmalıdır. Tarım arazileri ve otlaklar su hasadı yer seçimi için son derece uygun olarak tavsiye edilirken, kentsel alanlar kısıtlı LCLU olarak sınıflandırılmıştır (Adham ve diğ., 2018). Orta derecede ekili alanlar ve çıplak toprak sırasıyla yüksek ve orta uygunluk olarak kabul edilir. Daha düşük uygunluk ve potansiyel olarak düşük performansla rağmen, dağlık bölgeler de su hasadı için kullanılabilir.

Drenaj uzunluğu ne kadar kısa olursa, su hasadı için uygunluk o kadar yüksek olur; 50 m'nin altındaki drenaj uzunlukları oldukça uygun kabul edilirken, 300 m'yi aşan drenaj uzunlukları ise çok düşük uygunlukta kabul edilir (Elewa ve diğ., 2012). Daha derin toprak tipik olarak daha yüksek uygunlukla ilişkili olduğundan, toprak derinliği uygun su hasadı alanlarının seçilmesinde bir başka önemli kriterdir. Kahinda ve diğ. (2008), 1,5 m'den büyük toprak derinliklerini su hasadı için çok uygun alanlar olarak öne sürerken, 0,25 m'den daha az derinlikler ise uygunluk açısından çok düşük olarak sınıflandırılmıştır.

Adham ve diğ. (2016) su hasadı alanı seçimi için üç orana dayalı uygunluk sınıfları önermiştir: depolama kapasitesi oranı, yapı boyutları oranı ve su toplama/bitki

alanı oranı. Bire yaklaşan oranlar su hasadı için çok yüksek uygunluğu gösterir. Tersine, birden büyük veya küçük oranlar su hasadı için düşük uygunluğu göstermektedir.

Su hasadı yer seçiminde sosyoekonomik kriterler için belirlenmiş uygunluk sınıfları eksikliği bulunmaktadır. Ancak bazı çalışmalar bazı sosyoekonomik kriterleri uygunluk düzeylerine göre sınıflandırmıştır. Mekdaschi ve Liniger (2013) maliyeti (\$/m³ su) sosyoekonomik bir kriter olarak değerlendirmiştir. Su hasadı sistemlerini, suyun m³ başına maliyeti 3 doların altında ise çok uygun, 12 doların üzerinde ise çok düşük uygun olarak sınıflandırmışlardır. İncelenen bir diğer sosyoekonomik kriter ise yerleşim yerlerine uzaklıktır. Yerleşim yerlerinin 0,5 km yakınında yer alan su hasadı sistemleri çok yüksek düzeyde uygun olarak sınıflandırılırken, 1,75 km'den daha uzakta bulunanlar ise çok düşük düzeyde uygun olarak değerlendirilmektedir (Al-Adamat. 2008).

2.2.2 Su Hasadı İçin Uygun Sahaların Belirlenmesinde Kullanılan en Yaygın Yöntemler ve Araçlar

Su hasadı için uygun alanların seçilmesi amacıyla farklı kriterlerin birleşik bir araca entegre edilmesi için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olarak kullanılan yöntemler şunlardır: 1) CBS/ (CBS/UA), 2) CBS/UA ile HM birleştirilmiş, 3) HM ve CBS/UA entegrasyonu ile birleştirilmiş ÇKKA ve 4) CBS/UA entegrasyonu ile birleştirilmiş ÇKKA yöntemleri (Ammar ve diğ., 2016). Ayrıca Rodriguez ve diğ. (2016), Brezilya'nın yarı kurak bölgesinde yürütülen bir örnek vaka çalışmasıyla, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki çeşitli su kıtlığı riski seviyeleri için kişi başına düşen su kullanımını tahmin etmeye yönelik bir metodoloji önermiştir. Son yıllarda kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun su hasadı için sıkça kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması Çizelge 2.5'te verilmiştir. ÇKKA, HM ve CBS/UA kombinasyonu veri açısından zengin bölgeler için şiddetle tavsiye edilir. Halbuki, ÇKKA ile CBS veri açısından zayıf bölgeler için yüksek bir potansiyel sunar. CBS ve UA ise kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı için uygun bölgelerin belirlenmesinde ilk adım olarak uygulama açısından çok yararlı olabilir.

Çizelge 2.5. Son yıllarda kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun su hasadı için sıkça kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması, Ammar ve diğ. (2016) den uyarlanmıştır

Yöntem	Yöntem tanımlama	Güçlü yanları	Zayıf yanları	Açıklama
CBS/UA	Su hasadı için uygun alanları belirlemek amacıyla çeşitli tematik haritalar üretmek için CBS/UA'nın özelliklerini kullanır.	Yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükle doğru bilgi sağlar. Uygun maliyetli ve zaman tasarrufu sağlayan, özellikle çok az bilginin mevcut olduğu uzak bölgelerde kullanışlı bir araçtır. Modelleri daha iyi anlamak için kolay bir yol sağlar ve analiz edilen herhangi bir alanın uygunluğu hakkında sorgulama yapılmasına olanak sağlar.	Sonuçların doğruluğu büyük ölçüde girdi verilerine bağlıdır, ancak yüksek çözünürlüklü girdi verileri eksiktir. Bir havzanın hidrolojisine ilişkin gerçek bir görüntü sağlamaz, üst ve alt havza arasındaki ilişki eksiktir. Doğrulama için saha araştırmasına ihtiyaç vardır.	Bu yöntem, kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı için uygun bölgelerin belirlenmesinde ilk adım olarak uygulama açısından çok yararlı olacaktır.
HM ve CBS/UA	Su rejiminin daha iyi anlaşılması için yağış-akış ilişkisini incelemek ve tüm havzadaki akışı simüle etmek için HM'yi uygular. Daha sonra su hasadı için uygun sahaları belirlemek üzere HM'yi CBS/UA ile entegre edilmektedir.	HM güvenilirdir, esnek, son derece doğru sonuçlar verir ve bir CBS ile entegre edildiğinde karar almayı kolaylaştırmak için rasyonel bir araç sağlar ve zaman açısından verimli ve uygun maliyetli bir yöntem sunar. HM, herhangi bir havzadaki akışı simüle etmenin temel bir yolunu temsil eder ve üst ve alt havzadaki vadiler veya nehirler arasındaki ilişkinin iyi bir şekilde anlaşılmasını sağlar. En yaygın modeller internette ücretsiz olarak kolayca erişilebilir.	Sonuçların doğruluğu büyük ölçüde modelin karmaşıklığına, kullanıcılara ve veri kullanılabilirliğine bağlıdır. Modellerin çoğu, havza ölçeklerinde uygulanabilir ve bu modellerin çoğu, kalibrasyon ve doğrulama için, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde mevcut olmayabilecek çok fazla veriye ihtiyaç duyar. Bu modeller çoğunlukla yağış-akış simülasyonu ile ilgilidir ve sosyo-ekonomik parametreler gibi diğer önemli kriterleri göz ardı etmektedir.	Su hasadı uygunluğu açısından daha doğru sonuçlar elde etmek için HM ve CBS/UA'nın ÇKKA gibi diğer araçlarla entegrasyonu şiddetle tavsiye edilir.
ÇKKA, HM ve CBS/UA	Tüm kriterler için aynı ağırlığı varsaymak yerine, her bir kriter için göreceli bir ağırlık tahmin etmek amacıyla ÇKKA uygulayarak çeşitli kriterleri birleştirir. Daha sonra su hasadı için uygun bölgeleri belirlemek amacıyla HM ve CBS/UA'nın özelliklerini uygular.	Bu entegre yöntem hem niteliksel hem de niceliksel faktörlerin ele alınmasında oldukça esnek. Farklı kriterlere ve farklı bölgelere uygulanabilir. ÇKKA (AHP), uzman kararının tutarlılığını kontrol etme yeteneğine sahiptir ve su hasadı sahalarnın uygunluğuna karar vermek için daha fazla güvenilirlik ve geçerlilik sağlar.	ÇKKA'daki (AHP) her bir kriterin ağırlığı, uzmanlık ve yazar performansından büyük ölçüde etkilenir, Bu nedenle ağırlıklar dikkatli bir şekilde hesaplanmalıdır. CBS ve HM'nin model karmaşıklığı, veri kalitesi ve kullanılabilirliği gibi sınırlamaları akılda tutulmalıdır.	Veri açısından zengin bölgeler için CBS tabanlı HM ve ÇKKA şiddetle tavsiye edilir.
ÇKKA ile CBS	Karar kurallarının kullanılmasına dayalı olarak su hasadı için uygun sahalarn seçilmesi amacıyla kriter setlerinin birleştirilmesi için bir CBS'nin benimsenmesi veya bir CBS'nin ayrı olarak uygulanması ve ardından ÇKKA ile entegre edilmesi.	Farklı bölgelerde CBS tabanlı bir ÇKKA uygulamak için son derece esnek ve kriterlerin değiştirilmesi veya güncellenmesi kolaydır. Bu metodoloji farklı büyüklükteki alanlarda ve çok az bilginin olduğu bölgelerde uygulanabilir. ÇKKA ile CBS kullanılması etkilidir ve kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı için potansiyel bölgeleri tahmin etmek için güvenilir bir şekilde kullanılabilir.	Üst ve alt akış bölgeleri arasındaki ilişki belirsizdir. Bir duyarlılık analizi entegre modelin sağlamlığını değerlendirmelidir. Önceki yöntemlerde tartışılan her bir CBS ve ÇKKA aracının sınırlamaları dikkate alınmalıdır.	ÇKKA (AHP), veri açısından zayıf bölgeler için yüksek bir potansiyel sunar.

İran'ın Gorkhay havzasındaki uygun baraj konumlarını önermek amacıyla fizyografi, hidroloji, jeoloji, toprak bilimi ve sosyoekonomik faktörleri kullanan bir çalışma için CBS ve AHP entegre edilmiştir (Rahimi ve diğ., 2019). Minotour ve diğ. (2015) Harsin, İran'da 18 biyofiziksel ve sosyoekonomik kriteri kullanarak iki ÇKKA yöntemini (AHP ve VIKOR) karşılaştıran bir araştırma yürüttüler. Kabil, Afganistan'da Hussaini ve diğ. (2022), hidrojeolojik özellikler, LULC, su mevcudiyeti ve su kaynaklarına yakınlık gibi kriterleri göz önünde bulundurarak Yönetimli Akifer Beslemesi (MAR) için uygun alanları belirlemek amacıyla CBS ve ÇKKA tekniklerini kullanmıştır. Bu çalışmanın bulguları, su kaynakları planlayıcılarına ve paydaşlara bölgede sürdürülebilir su yönetimi için etkili MAR stratejileri uygulama konusunda değerli bilgiler sunmaktadır. Saher ve diğ. (2015), Kabil'in sınır aşan akarsu havzasında hidrolojik, topoğrafik ve jeolojik verileri bütünleşmiş eden bir taşkın kontrol barajının kurulmasını tavsiye etmek için CBS'den yararlanmıştır.

Çalışma alanını, kriterleri, su toplama tekniklerini ve yöntemlerini kapsayan su toplama yeri seçimine ilişkin bir literatür özeti Çizelge 2.6'da sunulmuştur. Dünya çapında kurak ve yarı kurak bölgeler, iklim değişikliği ve hızlı nüfus artışı nedeniyle daha da kötüleşen su kıtlığıyla boğuşmaktadır. Buna yanıt olarak su hasadı teknikleri bu bölgelerde artan talebi karşılamak için uygun çözümler olarak ortaya çıkmıştır. Çizelge 2.6'da gösterildiği gibi su hasadı çalışmalarının çoğunluğu kurak ve yarı kurak bölgelerde yürütülmüştür. Su hasadı için uygun yer seçiminin kritik önemi göz önüne alındığında, birçok çalışma AHP'yi bir ÇKKA metodolojisi olarak kullanmaktadır. Ayrıca AHP'nin yanı sıra UA ve HM'nin entegrasyonu, uygun su toplama sahalarının belirlenmesine yönelik metodolojiler olarak giderek daha yaygın hale gelmiştir.

Çizelge 2.6. Çalışma alanı, kriterler, su toplama tekniği ve yöntemleri dikkate alınarak su toplama yeri seçimine ilişkin literatür özeti

Kaynakça	Çalışma alanı	Biyofiziksel + Sosyoekonomik kriterler	Su Hasat Tipi	Yöntem
Mouhoumed ve diğ. (2024)	Djibouti	12 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler</u>	Kontrol barajları, süzme tankları ve sızma havuzları	ÇKKA/AHP+VIKOR
Minatour ve diğ. (2015)	Harsin şehri, İran	18 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler</u>	Toprak barajı	ÇKKA/AHP+VIKOR
Kharazi ve diğ. (2019)	Kuzeybatı, İran	<u>Biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u>	Yeraltı barajı	CBS+ ÇKKA/ (AHP+TOPSIS+ EDAS)

Kaynakça	Çalışma alanı	Biyofiziksel + Sosyoekonomik kriterler	Su Hasat Tipi	Yöntem
		ekonomik, çevresel, teknik ve sosyal parametreler		
Mulye ve Nag (1995)	Avustralya	<u>Biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> ekonomik ve ekonomik olmayan faktörler	Baraj	ÇKKA/AHP
Peng (2017)	Zambiya ve Zimbabve	3 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> çevre ve konum, ekonomik yatırım, rezervuar depolama	Baraj	ÇKKA/AHP+ MATLAB
Adeyanju ve Adedeji (2017)	Nijerya	6 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> Hedef topluluğa yakınlık, jeoteknik durum, yüzey ve su altı topoğrafyası, yeterli işlenmemiş arazi kütlelerinin mevcudiyeti, inşaat maliyeti, sahaya erişilebilirlik	Baraj	CBS+ UA+ ÇKKA/TOPSIS
AlJubaely ve diğ. (2016a)	Qassim Bölgesi, Suudi Arabistan	3 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> çevresel (coğrafi), hidrolojik ve sosyo-ekonomik kriterler	Baraj	CBS+ ÇKKA/ AHP+ OWA
AlJubaely ve diğ. (2016b)	El Kebir Shemaly Nehri, Suriye	3 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> çevresel (coğrafi), hidrolojik ve sosyo-ekonomik kriterler	Baraj	CBS+ ÇKKA/ AHP+ OWA
Nawaz ve diğ. (2006)	Pakistan	11 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> sosyo-ekonomik ve teknik	Baraj	CBS+ DSSM
Noori ve diğ. (2019)	Kuzey Irak	12 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> jeolojik oluşum, toprak tipi, fay hattı, tektonik hat, rakım, eğim, yağış verileri, su deşarjı, LULC, yol ağı ve malzeme	Baraj	CBS+ UA+ ÇKKA/ AHP+ Bulanık mantık
Al-Kubaisi ve Al-Kubaisi (2023)	Batı Çölü, Irak	6 <u>biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> SYM, ana akarsular, köylere uzaklık, yollara uzaklık, faylara uzaklık	Baraj	CBS/Depolama Kapasitesi aracı
Biwott ve diğ. (2023)	Kenya	<u>Biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> SYM, LULC, eğim ve derelere, kurumlara, yollara ve havalimanlarına yakınlık	Baraj	CBS + ÇKKA+ WOA
Rahimi ve diğ. (2019)	Gorkhay Havzası, İran	<u>Biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> fizyografi, hidroloji, jeoloji, toprak bilimi ve sosyoekonomik faktörler	Kontrol barajları	CBS+ ÇKKA/ AHP

Kaynakça	Çalışma alanı	Biyofiziksel + Sosyoekonomik kriterler	Su Hasat Tipi	Yöntem
Mumzai ve diğ. (2018)	İran	<u>Biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> su (miktar, kalite), rezervuar (rezervuar derinliği, rezervuar Eğim, geçirgenlik ve rezervuar alanı), eksen (ksen uzunluğu, eksen derinliği ve desteklerin litolojileri) ve sosyo-ekonomik faktörler (kırsal alandan uzaklık, yoldan uzaklık, içme suyu Tarımsal ve endüstriyel su kaynakları ve su kaynaklarına etkisi)	Yeraltı barajı	CBS+ ÇKKA/ AHP
Othman ve diğ. (2020)	Irak	<u>14 biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> litoloji, tektonik bölgeler, aktif faylara uzaklık, çizgiselliklere uzaklık, toprak tipi, LULC, hipsometri, eğim eğimi, ortalama yağış, akarsu genişliği, eğri sayı tablosu, ana yollara uzaklık, ilçe ve şehirlere uzaklık, köylere uzaklık	Baraj	CBS+ ÇKKA/ AHP+ UA + WSM
Yasser ve diğ. (2013)	İran	<u>9 biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> topoğrafik koşullar, ekonomik gelişme, sağlık barajı alanı, hidrolojik, malzeme ve tesislere erişim, genel maliyet, su kalitesi, hasar, yanal etki	Baraj	CBS+ ÇKKA/ AHP
Zewdie ve Tesfa (2023)	Etiyopya	<u>8 biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> akarsu yoğunluğu, akarsu düzeni, LULC, jeoloji, eğim bakı, hidrolojik veriler, yoldan uzaklık ve yükseklik	Baraj	CBS+ DSSM+ ÇKKA
Hagos ve diğ. (2022)	Etiyopya	<u>6 biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> SYM, yağış verileri, LULC, toprak haritası, jeoloji haritası, yol ağı	Çok amaçlı baraj	CBS+ ÇKKA+ DSSM
Karakuş ve Yıldız (2022)	Türkiye	<u>9 biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> yükselti, eğim, yollara uzaklık, Yağış, çizgisellik yoğunluğu, yerleşim alanlarına uzaklık, LULC, toprak tipi ve dere yoğunluğu	Baraj	CBS+ ÇKKA/ AHP
Raaj ve diğ. (2022)	Hindistan	<u>10 biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> yağış, dere düzeni,	Taşkın kontrol barajı	CBS+ UA + DSSM+ ÇKKA/AHP

Kaynakça	Çalışma alanı	Biyofiziksel + Sosyoekonomik kriterler	Su Hasat Tipi	Yöntem
		jeomorfoloji, jeoloji, LULC, toprak, yola uzaklık, yükselti, eğim ve büyük fay kırığı		
Gacko ve diğ. (2020)	Slovakya	<u>Biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler;</u> akarsu havzası alanı, ekilebilir ve ormanlık alan, yerleşim alanları, erozyon, yüzey akış hacmi	Baraj	CBS+ CN
Dai (2016)	Bortala, Kuzeybatı Çin	<u>8 biyofiziksel kriterler;</u> SYM, toprak tipi, LULC, jeolojik katman verileri, yağış verileri	Küçük, orta ve büyük barajlar	CBS+ ÇKKA/AHP
Abushandi ve Alatawi (2015)	Tebük Şehri, Suudi Arabistan	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> SYM, UA verisi	Taşkın kontrol barajı	CBS+ UA + İstatistiksel yöntemler
Saher ve diğ. (2015)	Pakistan, Kabil Nehri Havzası	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> hidrolojik, topoğrafik ve jeolojik veriler	Toprak rezervuarı	CBS
Raza ve diğ. (2018)	Hayber Pukhtunkha, Pakistan	<u>8 biyofiziksel kriterler;</u> topoğrafik, jeolojik, hidrolojik, toprak tipi vb.	Küçük depolama barajları	CBS+ ÇKKA
Jamali ve diğ. (2018)	Güneybatı İran	<u>12 biyofiziksel kriterler;</u> topoğrafik, jeolojik, hidrolojik, toprak tipi vb.	Yeraltı barajları	CBS+ UA + Boolean-bulanık mantık + ÇKKA
Talebi ve diğ. (2023)	Yezd, İran	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> zemin eğimi, LULC, Jeoloji ve hidroloji	Yeraltı barajı	CBS+ SWAT+ Boolean mantık yöntemi + ÇKKA/ANP
Singh ve diğ. (2017)	Batı Bengal, Doğu Hindistan	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> topoğrafik, jeolojik, hidrolojik, toprak tipi vb.	Küçük depolama rezervuarları ve yapay yeniden doldurma	CBS+ ÇKKA+ Boolean mantığı
Adham ve diğ. (2018)	Irak'ın Batı Çölü	<u>5 biyofiziksel kriterler;</u> eğim, akışın derinliği, LULC, toprak dokusu ve akarsu düzeni	Küçük barajlar	Model Builder in CBS
Rahmati ve diğ. (2020)	Kuzey İran	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> SYM katmanı, akış eşiği, kabul edilebilir trap verimliliği verileri	Kontrol barajları	CBS+ Trap Verimlilik Aracı (TET)
Petheram ve diğ. (2017)	Kuzey Avustralya	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> SYM, hidrolojik veriler, topoğrafik, jeolojik veriler	Baraj	The Dam Site model
Ajayi ve diğ. (2018)	Nasarawa eyaleti, Nijerya	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> SYM, hidrolojik veriler	Toprak dolgulu baraj	CBS+ İnsansız hava aracı (UAV)
Bakış ve diğ. (2020)	Seydisuyu Havzası, Türkiye	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> meteorolojik veriler, akış potansiyeli, topoğrafya, vadi durumu ve jeoloji	Hidroelektrik barajı	CBS+ hidrolojik simülasyon
El-Kelani ve Khader (2019)	Kuzey Batı Şeria, Filistin	<u>Biyofiziksel kriterler;</u> havza sınırları, jeoloji, toprak, topografya ve LULC	Toprak barajları	CBS+ SCS-CN yöntemler

Kaynakça	Çalışma alanı	Biyofiziksel + Sosyoekonomik kriterler	Su Hasat Tipi	Yöntem
Ibrahim ve diğ. (2013)	Irak	Biyofiziksel kriterler; saha araştırması verileri, SYM	Baraj	CBS+ UA
Yang (2017)	Zambiya ve Zimbabve	6 biyofiziksel kriterler nehir genişliği, yıllık ortalama yağış vb.	Baraj	ÇKKA/TOPSIS
Al-Ali (2012)	Kuzeydoğu Ürdün	Biyofiziksel kriterler; hidro-meteorolojik ve jeolojik veriler	Mikro havza barajları	SWAT + su dengesi modeli
Fekadu ve diğ. (2020)	Doğu Tigray, Etiyopya	Biyofiziksel kriterler; SYM, yağış, LULC, toprak, eğim, drenaj yoğunluğu ve jeoloji	Mikro barajlar	CBS+ SCS+ ÇKKA/AHP+ UA
Ahmad ve diğ. (2013)	Hayber Ajansı, Pakistan	Biyofiziksel kriterler; SYM, LULC ve jeoloji	Baraj	CBS+ UA
Vazquez ve Mokrova (2022)	Manikaragua , Küba	4 biyofiziksel kriterler; hidroloji, topografya, jeoloji, LULC	Baraj	CBS+ ÇKKA/ AHP+TOPSIS
Alaibakhsh ve diğ. (2013)	Yezd, İran	Biyofiziksel kriterler; meteorolojik veriler, jeolojik veriler	Yeraltı barajı	CBS+ UA
Elhag ve Eljack (2016)	Hartum Eyaleti, Sudan	4 biyofiziksel kriteri; SYM, toprak verileri, LULC, Google Earth verileri	Baraj	CBS+ UA
Mkilima (2023)	Tanzanya	Biyofiziksel kriterler; SYM, LULC	Baraj	CBS+ UA + HEC-GeoHMS
Muhammad ve diğ. (2013)	Kuzey Pakistan	Biyofiziksel kriterler; SYM, LULC, kar örtüsü		CBS+ UA + ÇKKA/AHP
Qureshi (2010)	Pakistan	Biyofiziksel kriterler; SYM, yağış, fiziksel, çevresel ve ekonomik kriterler	Baraj	CBS+ UA + ALK
Klari ve Abdulrahman (2022)	Irak	Biyofiziksel kriterler; hidrolojik kriterler, jeolojik oluşumlar ve toprak tipi, eğim, yüzey hidrolojik özellikleri ve drenaj yoğunluğu	Baraj	CBS + Bulanık mantık
Zada ve diğ. (2023)	Kuzey Veziristan, Pakistan	Biyofiziksel kriterler; SYM, toprak verileri, Jeolojik veriler	Baraj	CBS+ UA + ÇKKA/ AHP
Kiriwongwattana (2014)	Tayland	Biyofiziksel kriterler; SYM, toprak verileri ve akış sırası	Kontrol barajları	CBS
Abbas ve diğ. (2019)	Irak	Biyofiziksel kriterler; SYM	Baraj	CBS
Ali ve diğ. (2014)	Irak	Biyofiziksel kriterler; SYM, jeolojik, yapısal, jeomorfolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik özellikler	Yüzey altı barajları	CBS+ UA
Jozaghi ve diğ. (2018)	İran	Biyofiziksel kriterler; coğrafi (Jeoloji, LULC, sediment, erozyon, Eğim, yeraltı suyu ve deşarj) su kalitesi (çözünür sodyum yüzdesi, toplam çözünmüş	Baraj	CBS+ ÇKKA/ AHP+TOPSIS

Kaynakça	Çalışma alanı	Biyofiziksel + Sosyoekonomik kriterler	Su Hasat Tipi	Yöntem
		katı madde, hidrojen potansiyeli ve suyun elektriksel iletkenliği)		
Baharvand ve diğ. (2020)	İran	Biyofiziksel kriterler; hidrolojik, jeolojik ve jeomorfolojik kriterler	Yeraltı barajı	CBS+ ÇKKA/AHP
Munir ve diğ. (2021)	Pakistan	Biyofiziksel kriterler; SYM, deşarj, GPM, toprak verileri, uydu görüntüleri (Landsat-8)	Baraj	İlişki bazlı baraj uygunluk analizi (RDSA)
Mamin ve Majeed (2022)	Irak	Biyofiziksel kriterler; SYM, LULC, toprak verileri, iklim verileri	Baraj	CBS+ UA + SCS-CN
Rather ve diğ. (2022)	Hindistan	5 biyofiziksel kriterler; Landsat 8 2018 uydu verileri, ALOS-PALSAR SYM, jeolojik haritalar, toprak haritaları, korunan alan sınırları	Baraj	CBS+ UA + WOA
Fu ve diğ. (2022)	Etiyopya	Biyofiziksel kriterler; SYM, yağış, akarsu düzeni, toprak dokusu, LULC ve Jeoloji, konsantrasyon süresi	Baraj	CBS+ Bulanık mantık + OLS regresyonu
Ettazarini (2021)	Fas	8 biyofiziksel kriterler; SYM, yağış verileri, toprak verileri, jeomorfoloji haritası, jeolojik veriler	Kontrol barajları	CBS+ ÇKKA/AHP + doğruluk testi
Ebrahimi ve diğ. (2021)	İran	Biyofiziksel kriterler; akarsu ağı, Eğim, Qanats ve kaplıcalar, LULC, Jeoloji ve faylar	Yeraltı barajı	CBS+ Boolean mantığı + ÇKKA/ AHP, ANP, VIKOR, TOPSIS ve ELECTRE III
Odişi ve diğ. (2021)	Nijerya	6 biyofiziksel kriterler; SYM, jeolojik harita, LULC, yağış verileri, toprak verileri, barajlar	Küçük hidroelektrik baraj	CBS+ ÇKKA/ AHP
Ajibade ve diğ. (2020)	Nijerya	Biyofiziksel kriterler; yağış, akış, dere düzeni, toprak tipi, jeolojik tip ve LULC gibi iklimsel ve jeofizik faktörler	Baraj	CBS+ UA + Bulanık mantık
Atiq ve diğ. (2019)	Pakistan	Biyofiziksel kriterler; SYM, jeolojik veriler	Baraj	CBS+ UA
Al-Ruzouq ve diğ. (2019)	Birleşik Arap Emirlikleri	9 biyofiziksel kriterler; tematik katmanlar, yağış, drenaj dere yoğunluğu, jeomorfoloji, jeoloji, eğri sayısı, toplam çözünmüş katı yüksekliği, eğim ve ana kırık	Baraj	CBS+ ML
Shao ve diğ. (2020)	Pakistan	Biyofiziksel kriterler; SYM, yağış verileri, deşarj verileri, jeolojik harita, LULC	Çok amaçlı baraj	CBS+ ÇKKA/AHP+ DSSM

2.2.3 Yaygın Su Toplama Teknikleri (Türleri)

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki en yaygın su toplama teknikleri arasında göletler ve tavalar, kontrol barajları, teraslama, süzme tankları ve Nala setleri yer almaktadır (Moges, 2009; Al-Adamat ve diğ., 2012). Ancak yağışın nispeten fazla olduğu bölgelerde çok amaçlı büyük barajlardan da yararlanılmaktadır. Barajlar genel olarak su toplama yapılarının en yaygın türlerinden birini oluşturur. Ancak bazı çalışmalarda barajların büyüklüğüne ilişkin bilgi eksiktir. Su toplama yapılarının çoğunluğu küçük ila orta büyüklüktedir. Buna ek olarak, kontrol barajları ve yeraltı barajları çeşitli bölgelerde yaygın olarak kullanılan su toplama teknikleridir (Çizelge 2.6).

CBS ve AHP kullanılarak, Hindistan'ın Kumari Nehri havzasındaki yüzey su hasadı için uygun alanları belirlemek amacıyla on iki karar verme faktörü değerlendirilmiştir. Çalışma, 32 uygun baraj alanı, 17 toprak baraj alanı, 35 süzme tankı alanı, 24 çiftlik gölet alanı ve 19 oluk tıka alanı içeren yüzey su hasadı yapılarının inşası için alanlar önermiştir (Bera ve Mukhopadhyay, 2023). Irak'ın Erbil ilinde, su hasadı uygunluk bölgesi haritasını oluşturmak için yedi biyofiziksel kriter kullanılmıştır. Ek olarak, çalışma orta ölçekli barajlar, kontrol barajları ve çiftlik havuzları dâhil olmak üzere çeşitli su hasadı yapılarının inşası için uygun yerler önermiştir (Ahmed ve diğ., 2023b). Jamali ve diğ. (2018), hem Boolean hem de bulanık mantık yaklaşımlarını kullanarak kurak havzalardaki yeraltı barajları için saha uygunluk analizi yapmaya odaklanmıştır. Bulgular karar vericilere ve su kaynakları yöneticilerine değerli bilgiler sunarak kurak bölgelerde yeraltı barajları için uygun yerlerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca çalışma, sürdürülebilir su yönetimi ve depolama stratejilerinin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır. Çin'in yarı kurak bölgesinde, su-enerji-gıda bağlantı performansını iyileştirmek amacıyla bir su hasadı sistemi için fotovoltaik paneller kullanılmıştır. 98,92 MWp'lik bir PV enerji santrali şemasıyla $1,97 \times 10^7 \text{ m}^3$ suyun tarımsal üretim için toplanabileceği bulunmuştur (Ye ve diğ., 2023). 2020 yılı öncesinde su hasadı yer seçimine yönelik yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak uygun sahaların belirlenmesine odaklanılmıştır. Ancak 2020 yılından sonra yapılan çalışmalarda, su hasadı tekniklerinin türünün belirlenmesine de odaklanılmıştır (Patel ve Chaudhari, 2023; Bera ve Mukhopadhyay, 2023; Debebe ve diğ., 2023).

Kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı yer seçimi için kullanılan en yaygın teknikler ve kriterler ve ilgili değerleri Çizelge 2.7'de verilmiştir. Birincil kriterler arasında, kurak ve yarı kurak bölgelerde her su toplama türü için yıllık yağış miktarı 200

ila 1000 mm arasında değişmektedir. Gölet ve havuzlar yıllık yağış miktarı 200 mm'yi aşan bölgeler için uygundur (Moges, 2009; Al-Adamat ve diğ., 2010). Teraslama, yıllık 200 ile 1000 mm arasında yağış alan bölgelerde uygulanabilmektedir (Krois ve Schulte, 2014). Kontrol barajları, süzme tankları ve Nala bentleri yıllık yağışın 1000 mm'den az olduğu bölgelerde uygulanabilir (Weerasinghe ve diğ., 2011; Al-Adamat ve diğ., 2012; Tumbo ve diğ., 2014). Kontrol barajları, süzme tankları, teraslamalar ve Nala bentleri için yağış kısıtlayıcı bir parametre görevi görmektedir. 1000 mm'yi aşan yağışlar su hasadı sistemlerinin performansını olumsuz yönde etkileyebilir.

Çizelge 2.7. Kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı yer seçiminde kullanılan en yaygın teknikler (tip), kriterler ve değerleri

Kaynakça	Su hasadının türü	Yağış (mm)	Eğim (%)	Toprak tipi	LULC	Havza alanı (ha)
Al-Adamat ve diğ. (2010); Moges (2009)	Havuzlar ve tavalalar	>200	< 5	Kumlu-killi tın ve siltli tın	Orta derecede ekili, çalılık ve çalılık alanlar	< 2
Weerasinghe ve diğ. (2011)	Kontrol Barajları	<1000	< 15	Kumlu killi tın	Çorak, çalı ve çalılık arazi	> 25
Mbilinyi ve diğ. (2007); Krois ve Schulte (2014)	Teraslama	200-1000	5-30	Kumlu kil, killi tın ve kumlu tın	Dağınık ağaç ve çalılıkların bulunduğu çalılık alan	-
Ramakrishnan ve diğ. (2009); Al-Adamat ve diğ. (2012)	Süzme tankı	< 1000	<10	Alüvyonlu tın ve killi tın	Çorak veya çalılık arazi	> 25
Moges. (2009); Tumbo ve diğ. (2014)	Nala bunds	< 1000	<10	Siltli tın	Çorak veya çalılık arazi	> 40

Eğim, su hasadı saha seçimi için çok önemli bir kriterdir ve dünya çapındaki kurak ve yarı kurak bölgelerdeki çoğu su hasadı su teknikleri için değerleri tipik olarak %5 ila %15 arasında değişir. Ancak teraslama eğimi %5 ile %30 arasında değişen dik arazilerde bile etkili olabilmektedir (Krois ve Schulte, 2014). Göletler ve havuzlar, %5'ten az eğimlerle karakterize edilen nispeten düz araziye sahip bölgeler için uygundur (Al-Adamat ve diğ., 2010). Süzme tankları ve Nala setler orta arazi ve orta eğim değerleri %10'un altında olan alanlar için uygundur (Ramakrishnan ve diğ., 2009; Tumbo ve diğ., 2014). Eğim değerlerinin yüksek olduğu bölgelerde su hasadı tekniklerinin önerildiği şekilde uygulanması sistem performansını etkileyebilir. Siltasyon, dik arazilerde önemli bir sorundur ve bakım maliyetlerini potansiyel olarak artırır. Bu nedenle su hasadı sistemlerinin dik eğimli bölgelerde kurulması tavsiye edilmeyebilir.

Toprak tipi, su hasadı saha seçiminde kritik bir faktördür; uygunluğu sistemin kullanım amacına bağlıdır. Daha yüksek kil ve silt içeriğine sahip topraklar yüzey suyu

toplama teknikleri için çok uygundur, daha yüksek kum içeriğine sahip olanlar ise yeraltı suyu hasadı için daha iyidir. Havuz ve havuz gibi yüzey suyu teknikleri için kumlu, killi-tın ve siltli-tın topraklar uygundur (Moges, 2009). Kontrol barajları kumlu killi tın toprak türlerinde iyi performans gösterirken (Weerasinghe ve diğ., 2011), teraslama ise kumlu kil, killi tın ve kumlu tın topraklarda etkilidir (Krois ve Schulte, 2014). Süzme tankları en iyi siltli tın ve killi tın topraklarda uygulanır (Ramakrishnan ve diğ., 2009). Nala setler ise siltli tın toprak türleri için en uygun olanıdır (Tumbo ve diğ., 2014).

Çoğu su hasadı tekniği için uygun toplama alanları, 2 hektardan küçükten 40 hektara kadar değişen bir aralıkta değişir. 2 hektardan küçük su toplama alanı gölet ve tavalar için uygundur (Al-Adamat ve diğ., 2010). Ayrıca 25 hektardan büyük su toplama alanları kontrol barajları ve süzme tankları için uygundur (Ramakrishnan ve diğ., 2008; Al-Adamat ve diğ., 2012). Ancak nispeten daha geniş bir su toplama alanı (>40 hektar) Nala setlerine uygundur (Tumbo ve diğ., 2014). Su hasadı teknikleri arasında birincil karar kriteri dikkate alındığında teraslamanın kurak ve yarı kurak bölgelerde su hasadı için oldukça esnek olduğu görülmektedir.

LULC, su hasadı saha seçiminin ana kriterleri arasındadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde çorak ve çalılık arazi türleri çoğu su hasadı tekniğine uygundur. Ancak kıraç ve çalılık arazilerin yanı sıra orta derecede ekili arazi türleri de gölet ve tavalar için uygundur (Al-Adamat ve diğ., 2010).

Çalışma alanının şartları ve komşu ülkelerde yapılan literatür çalışmaların ışığında bu çalışmada kontrol barajları, perkolasyon havuzları ve teraslama su hasadı teknikleri detaylı olarak incelenmiştir. Aşağıdaki alt başlıklarda her bir su hasadı tekniği açıklanmış olup yer seçimi için temel esasları özetlenmiştir.

2.2.3.1 Kontrol Barajları

Kontrol barajı, akış hızını azaltmak için bir kanal boyunca inşa edilen küçük bir barajdır (Balooni ve diğ., 2008). Bu yapılar kurak dönemlerde sulamaya destek olur ve alt havzalardaki genel su mevcudiyetini iyileştirir. Bu barajların inşasının ucuz olması avantajı vardır, ancak genellikle mevcut uygun yerlerin sayısı sınırlıdır. Kontrol barajları çok popüler bir SH türüdür. Toprak erozyonunu da kontrol edebildikleri için büyük önem taşırlar (Arunima ve diğ., 2015). Kontrol barajları, büyük su toplama alanlarından gelen sel akışını etkili bir şekilde toplayabilir ve depolayabilir. Ek suyun değerli bir kaynağıdır ve yerel malzemeler ve emek kullanılarak tasarlanıp inşa edilebilirler. Bu çok işlevli

yapılar Çin, İtalya, Japonya, Fransa, İspanya, ABD, İran, Hindistan, Avusturya, İsviçre, Tayland ve Etiyopya gibi farklı ülkelerde birçok araştırmada araştırılmıştır (Johnson ve Renwick, 1979; Rahmati ve diğ., 2019). Akış hızının azaltılması kanaldaki erozyonu ve oluşu azaltabilir ve tortunun çökmesine olanak tanıyabilir. Kontrol barajlarının toprak ve suyun korunması, taşkınların azaltılması, yeraltı suyunun yeniden reşarj ve arazi geliştirme açısından yararlı olduğu bildirilmiştir (Abbasi ve diğ., 2019). Bu yapılar havzalardaki hidro-çevresel süreçleri önemli ölçüde etkileyerek sürdürülebilir ekolojik işlevler sağlamaktadır. Bir kontrol barajı taştan, bezelye çakılıyla doldurulmuş kum torbalarından veya kütüklerden inşa edilebilir. Seçilen yer, depolanan suyun kısa bir süre içerisinde yeniden beslenmesini kolaylaştıracak yeterli kalınlıkta geçirgen bir yatak veya aşınmış formasyona sahip olmalıdır (Aghaloo ve Chiu, 2020).

Kontrol barajları hem sert kaya hem de alüvyonlu oluşumlarda uygulanabilirler (Arunima ve diğ., 2015). Kontrol barajları için potansiyel alanlar, ekili araziden maksimum 700 m uzaklıktaki 1. ila 3. sıra akarsulardır (Grum ve diğ., 2016). Seçilen yer, kısa bir süre içinde depolanan suyun sızması yoluyla yeraltı suyunun yeniden beslenmesini sağlayacak kadar geçirgen yatak kalınlığına sahip olmalıdır (Toosi ve diğ., 2020). Depolanan su ayrıca doğrudan sulama ve evsel amaçlar için kullanılabilir. Bu yapılar sınırlı arazi alanı gerektirir ve akarsu akışını ve aşağı akıştaki tortuyu azaltarak toprak erozyonunu kontrol eder (Reddy ve diğ., 2017). Kontrol barajı için uygun sahanın belirlenmesinde aşağıdaki hususların dikkate alınması zorunludur: eğim (tercihen düşük ila orta), toprak özellikleri (düşük ila orta geçirgenliğe sahip sığ topraklar) ve hidrojeolojik koşullar (Garg ve Eslamian, 2021). Buharlaşma kayıplarını en aza indirmek için, barajlar yüzey alanına göre nispeten yüksek derinlik üretebilen yerlere inşa edilmelidir (Mati, 2012). Genel olarak, yeraltı suyu seviyesindeki dalgalanmaların yüksek olduğu ve suyunun etkili olduğu yerlerde kontrol barajları önerilir (Samantaray ve diğ., 2021).

Akışın niteliği, hızı ve hacmi, ilgili alanın toprak tipi, arazi kullanımı, eğim açısı, yağışın dağılımı ve süresi gibi belirli faktörlere bağlıdır. Düşük akışlı alanlar, besleme bazlı veya yeraltı su hasadı yapıları için uygundur (Kadam ve diğ., 2012). Kontrol barajlarının orta ila yüksek akış oranına sahip alanlar için uygun olduğu bulunmuştur (Pourghasemi ve diğ., 2020). Çizelge 2.8’de kontrol barajlarının yer seçimi için bazı temel esaslar verilmiştir.

Çizelge 2.8. Kontrol barajlarının yer seçimi için bazı temel esaslar

Kriter	Esaslar	Kaynak
Eğim	Dış su toplama alanında dik eğimler; <%15; <%10; düz ve engebeli topografya	Critchley ve Siegert (1991); Grum ve diğ. (2016); Balooni ve diğ. (2008), Pandey ve diğ. (2011); Garg ve Eslamian (2021); Ramakrishnan ve diğ. (2009); Aghaloo ve Chiu (2020)
Toprak	Dış su toplama ve rezervuar için ağır kil veya silt en iyisidir, daha hafif toprak ise ekim alanı için daha iyidir; Daha az infiltrasyon oranına sahip ince tınlı toprak; düşük toprak geçirgenliği, kumlu killi tın	Critchley ve Siegert (1991); Balooni ve diğ. (2008), Pandey ve diğ. (2011); Grum ve diğ. (2016); Garg ve Eslamian (2021); Aghaloo ve Chiu (2020); Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Yağış	Düşük yağışlı bölgelerde kullanılabilir. Rezervuar, yüksek yağışlı dönemlerde taşabilir. Yıllık yağış miktarı 200–750 mm; yıllık yağış miktarı 250–750 mm; yıllık yağış miktarı <1000 mm	Critchley ve Siegert (1991); Balooni ve diğ. (2008); Pandey ve diğ. (2011); Grum ve diğ. (2016); Aghaloo ve Chiu (2020); Grum ve diğ. (2016)
Arazi kullanım özellikleri	Akarsular boyunca (1. ila 3. akarsu sırası), ekili araziden 0–700 m; ekili arazilerden ≤700 m uzaklıktaki nehirler; düz kıyıları, yeterli su toplama alanı ve çatlaksız, kayalık nehir yatağı ile iyi tanımlanmış düz akarsu yatağı; nehirler, sıradağlar, tarım arazileri, meralar, çıplak araziler, kaya çıkıntıları; kontrol barajın aşağısındaki araziler sulanabilir tarım arazisine sahip olmalıdır.	Balooni ve diğ. (2008); Pandey ve diğ. (2011); Ramakrishnan ve diğ. (2009); Aghaloo ve Chiu (2020); Mati (2012)
Akış katsayısı	Orta/yüksek	Garg ve Eslamian (2021); Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Akış sırası	1. ila 3.; 3.; 1. ila 4.	Grum ve diğ. (2016); Garg ve Eslamian (2021); Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Havza alanı (ha)	25 ha; >25 ha; Akarsuyun toplam su toplama alanının normal şartlarda 40 ila 100 ha arasında olması beklenir	Garg ve Eslamian (2021); Ramakrishnan ve diğ. (2009); Mati (2012)
Depolama kaybı	Düşük	Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Maksimum su seviyesi (m)	4–5	Garg ve Eslamian (2021); Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Boyutsal parametreler	2–4 m yüksekliğinde duvar örgüsü yapısı, 5000–7000 m ³ etkin depolama, sızıntı/sızıntıya karşı temelde kısmi arıtma, taşma önlemleri	Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Uygulamalar	Yüzey depolama. Yeraltı suyu reşarj etme, sınırlı sulama ve evsel ihtiyaçlar	Ramakrishnan ve diğ. (2009); Toosi ve diğ. (2020)
Sınırlamalar	Hızlı bir şekilde tortulaşabilir ve bakıma ihtiyaç duyabilir, uygunsuz tasarım banka erozyonuna neden olur; İş gücü yüksek	Balooni ve diğ. (2008); Pandey ve diğ. (2011); Critchley ve Siegert (1991)

Kontrol barajının yer seçimi için farklı kriterlere verilen puanlar Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Kontrol barajının yer seçimi için farklı kriterlere verilen puanlar Adham ve diğ. (2022) den uyarlanmıştır

Kriter	Sınıflar	Puan
Yıllık yağış miktarı (mm)	<250	5
	250–500	7
	500–750	9
Arazi kullanımı	Ekilebilir Arazi (tahılları destekleyen)	5
	Yapılaşmış Alanlar	1
	Ağaçlık/Orman	1
	Kaba Otlatma/Geçici Tarım	5
	Sulamalı Tarım	9
	Kalıcı Bitkiler (Meyve ağaçları)	3
Eğim (%)	Düz (0–2)	5
	Hafif (2–5)	9
	Orta (5–10)	7
	Yuvarlanan (10–15)	3
	Tepelik (15–30)	1
	Dik >30	1
Toprak dokusu	Kumlu tın (Sandy loam)	3
	Tınlı	5
	Killi tın	7
	Kil	9
Eğri numarası (CN)	≤50	3
	51–60	5
	61–70	7
	>70	9

2.2.3.2 Perkolasyon Havuzları

Perkolasyon havuzları, yüzey sularını toplamak ve geçirgen arazide tutulan yüzeysel akışı sızdırmak amacıyla genellikle ikinci veya üçüncü dereceden nehirler üzerine inşa edilen yapay rezervuarlardır (Johnson ve Renwick, 1979). Çok amaçlı bir koruma yapısıdır, hayvancılık için su depolar ve konumuna ve büyüklüğüne bağlı olarak yeraltı suyunu yeniden doldurur. Havza alanı, normal yağışlı yıllarda tankı doldurmaya yetecek kadar olmalıdır. Perkolasyon havuzları, akış aşağısında yanal sürekliliği olan, oldukça çatlaklı ve aşınmış temel kaya üzerine yerleştirilir. Bu nedenle, perkolasyon havuzlarının büyüklüğü, temel kayadaki tabakaların sızma kapasitesine bağlıdır. Bu tür yapılar için uygun yerler düz topografya; konumun toprağı oldukça geçirgen olmalı, akış aşağısında yanal sürekliliği olan oldukça çatlaklı ve aşınmış kayalar ve akış yukarısında en az 40 hektarlık su toplama alanı olmalıdır. Havuzların boyunca acil durum savaklarının inşa edilmesi sağlanmalıdır (Garg ve Eslamian, 2021). Bu sistem, rezervuarı oldukça geçirgen bir arazide bulunan yapay olarak oluşturulmuş bir yüzey suyu kütesidir. Oldukça çatlak ve aşınmış yatak kayaları üzerine yerleştirilmesi, yüzey suyunun daha düşük katmanlara sızmasını sağlar; bu nedenle, bu sistemin boyutu havuz yatağının

altındaki katmanların sızma kapasitesi tarafından yönetilir. Geçirimsiz ve yarı geçirgen katmanların, yani kil merceklerinin varlığı, bu su hasadı sisteminin uygulanmasındaki ana sınırlamalardan biridir (Ammar ve diğ., 2016).

Çizelge 2.10. Perkolasyon havuzlarının yer seçimi için bazı temel esaslar

Kriter	Esaslar	Kaynak
Eğim	<%10; <%5; Düz topografya gerekmez	Aghaloo ve Chiu, (2020); Ramakrishnan ve diğ. (2009); Grum ve diğ. (2016); Pandey ve diğ. (2011); Singh ve diğ. (2009)
Toprak	Siltli tın, killi tın; hafif dokulu toprak, orta derecede yüksek infiltrasyon oranına sahip kumlu kil tın, orta derecede yüksek sızma oranına sahip killi-tınlı, kumlu-killi-tınlı	Aghaloo ve Chiu, (2020); Ramakrishnan ve diğ. (2009); Jha ve diğ. (2014); Grum ve diğ. (2016)
Yıllık Yağış Miktarı (mm)	<1000; 250–750; 200–750;	Aghaloo ve Chiu, (2020); Ramakrishnan ve diğ. (2009); Grum ve diğ. (2016); Pandey ve diğ. (2011); Singh ve diğ. (2009)
Arazi kullanım özellikleri	Sıradağlar, tarım arazileri, meralar, çıplak araziler, kaya çıkıntıları; Geçirgenlik yüksek, iyi tanımlanmış geniş akarsu kanalı ve kesişen çatlakların varlığı; Yarı yoğun mera, ormanlık ve çalılık, düşük yoğunluklu mera, kaya çıkıntıları, yüksek yoğunluklu mera, kuru tarım; Çıplak/çalılık, çayırılık, dere yatakları boyunca; Çıplak/çalılık arazi, otlak veya çayırılık, dere yatakları boyunca	Aghaloo ve Chiu, (2020); Ramakrishnan ve diğ. (2009); Grum ve diğ. (2016); Pandey ve diğ. (2011); Singh ve diğ. (2009)
Akış katsayısı	Düşük	Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Akış sırası	1.ile 4.; 2. ve 3.	Ramakrishnan ve diğ. (2009); Jha ve diğ. (2014); Grum ve diğ. (2016)
Havza alanı (ha)	25–40	Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Depolama kaybı	Orta-yüksek	Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Maksimum su seviyesi (m)	6–7	Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Boyutsal parametreler	3-5 m yüksekliğinde toprak set, 5000-10000 m ³ etkili depolama, sığ kesim, akış yukarısında savak, silt tutucu bariyeri sağlanması.	Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Uygulamalar	Kısıtlı bir süre için akifere ve yüzey depolama olarak kullanılır. Sınırlı sulama, hayvancılık ve iç talep için kullanılabilir.	Ramakrishnan ve diğ. (2009)
Sınırlamalar	Siltasyonu azaltmak için düzenli bakıma ihtiyaç vardır	Pandey ve diğ. (2011); Singh ve diğ. (2009)

Yeraltı suyu beslenmesi çok sayıda kuyu ve ekilebilir arazi ile desteklenmektedir. Düşük ila orta derecede düşük akış gözlemlenen alanlarda perkolasyon havuzları benzeri yapıların inşa edilmesi önerilmektedir (Rajasekhar ve diğ., 2020). Perkolasyon havuzları büyük bir hazneden faydalanır ve birçoğu ülkelerde su hasadı tekniği olarak yaygındır (Jha ve diğ., 2014; Toosi ve diğ., 2020). Çizelge 2.10’da perkolasyon havuzlarının yer seçimi için bazı temel esaslar verilmiştir.

2.2.3.3 Teraslama

Teraslama sistemleri, eğimli bir düzlemde, alt seviyelerden toprak kazılarak ve konturlar boyunca setler oluşturmak için üst kotlara biriktirilerek inşa edilir. Setler genellikle ürün yetiştirmek için kullanılır ve bitki örtüsü, setler içindeki toprak ve su korumada sistemin verimliliğini artırır (Atta ve Aref, 2010). Teraslama teknolojilerinin çoğu genellikle dengesiz zemine sahip eğimli alanlarda uygulanmaktadır (Hudson, 1981). Set yüzeyleri daha fazla sızmaya izin verir, yoğun yağışın etkilerini hafifletir, toprak yoğunluğunu azaltır ve yokuş aşağı sedimantasyonun azalmasını sağlar (Atta ve Aref, 2010). Çizelge 2.11’de teraslama yer seçimi için bazı temel esaslar verilmiştir.

Çizelge 2.11. Teraslama yer seçimi için bazı temel esaslar

Kriter	Esasları	Kaynak
Eğim	%5–30; yöneme bağlı olarak dik (en fazla %40)	Krois ve Schulte (2014); Critchley ve Siegert (1991)
Toprak türü	Killi tın, kumlu tın; kararlı olması gerekiyor	Krois ve Schulte (2014); Critchley ve Siegert (1991)
Yıllık Yağış Miktarı (mm)	200–1000; taş teraslar yüksek yağışa dayanabilir. Toprağı aşağı doğru atarak oluşturulan teraslar yoğun yağış alan bölgelerde kullanılmamalıdır.	Krois ve Schulte (2014); Critchley ve Siegert (1991)
Arazi kullanım özellikleri	Yarı yoğun orman, düşük yoğunluklu mera, ormanlık ve çalılık, orman dikimi, kuru tarım, yarı yoğun mera, kaya çıkıntıları, yüksek yoğunluklu mera	Krois ve Schulte (2014)
Sınırlamalar	Yüksek iş gücü gerektirir	Critchley ve Siegert (1991)

2.3 Dünyada Yapılan Çalışmalar

Uygun su hasadı yer seçimi için Irak’ta çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Irak’ta CBS ve AHP, UA ve Ağırlıklı Toplam Yöntemi (ATY/WSM) olmak üzere iki ÇKKA yöntemi kullanılarak su hasadı yer seçimi ve karşılaştırmaları için 14 katmanlı teknik ve sosyal

veri seti dikkate alınarak yapılan bir çalışmada uygun su hasadı yer seçimi için AHP önerilmiştir (Othman ve diğ., 2020). Irak'ın Batı Çölü'nde Adham ve diğ. (2018) CBS'de Model Builder'ı kullanarak beş karar verici kriteri yani eğim, akış derinliği, arazi kullanımı, toprak dokusu ve dere düzenini göz önünde bulundurarak su toplama sahalarının seçimi için bir çalışma yapmıştır. İbrahim ve diğ. (2013), Irak'ta uygun su hasadı yeri önermek için saha araştırması verilerini dikkate alınarak CBS ve UA kullanarak bir çalışma yürütmüştür. Noori ve diğ. (2019), Kuzey Irak'ta CBS, UA, AHP ve bulanık mantık kullanarak jeolojik oluşum, toprak tipi, fay hattı, tektonik hattı, rakım, eğim, yağış verileri, su deşarjı, arazi kullanımı/örtüsü ve yollar olmak üzere 12 kriteri dikkate alarak uygun su hasadı yeri önerisi için bir çalışma yürütmüştür. Irak'ın Batı Çölü'nde su hasadı için uygun yerlerini önermek için SYM, ana akarsular, köylere uzaklık, yollara uzaklık, faylara uzaklık olmak üzere altı karar verici kriter dikkate alınarak CBS ve depolama kapasitesi aracı kullanılmıştır (Al-Kubaisi ve Al-Kubaisi, 2023). Mamin ve Majeed (2022) tarafından Irak'ta CBS, UA ve Toprak Koruma Hizmet Eğrisi Numarasının (SCS-CN) yağış-akış modelleme yaklaşımı kullanılarak SYM, arazi kullanımı/örtüsü, toprak verileri ve iklim verileri dikkate alınarak uygun su hasadı yerleri önermek için bir çalışma yapılmıştır.

Dünyanın başka yerlerinde de su hasadı yeri seçimi ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Dai (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, Kuzeybatı Çin'in Bortala'daki su hasadı yer seçimine yönelik karar verme sürecine yardımcı olmak için AHP ve CBS'in entegre bir yaklaşım olarak kullanılmasına odaklanmaktadır. Yapılan çalışmada, en uygun su hasadı yerini belirlemek için topografya, jeoloji, hidroloji ve sosyal faktörler gibi birden çok kriteri birleştirmenin önemini vurgulamaktadır.

McCartney (2007) bir çalışmada, Afrika'daki büyük barajların planlanması ve işletilmesi için özel olarak hazırlanmış KDS'nin geliştirilmesini ve uygulanmasını değerlendirmiştir. Araştırmada, su kıtlığı, çevresel etkiler ve sosyoekonomik hususlar gibi Afrika bağlamında karşılaşılan benzersiz zorlukların altını çizilmiştir. Yapılan araştırmada, baraj planlaması ve işletimi için karar verme sürecini geliştirmek için veriye dayalı modelleri, gelişmiş analitiği ve paydaş katılımını entegre etmenin önemini vurgulamaktadır.

Fox (2020) tarafından yazılan bir kitap, kuzeydoğu Amerika Birleşik Devletleri'ndeki barajlar ve hidroelektrik ile ilgili karar verme konusunda kapsamlı ve işbirlikçi bir yaklaşım benimsemiştir. Kitapta, baraj projelerinin fizibilitesini ve etkilerini

etkili bir şekilde değerlendirmek için mühendislik, çevre bilimi, ekonomi ve sosyal bilimler gibi birden çok disiplini entegre etmenin önemini vurgulanmıştır.

Suudi Arabistan'ın Tebük Şehrindeki sel olaylarını yönetmenin bir yolu olarak barajlar için uygun yerleri belirlemek üzere UA tekniklerini ve CBS'i kullanmaya odaklanan bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, en uygun baraj yerlerini belirlemek için yükseklik, eğim ve yağış verileri gibi topoğrafik ve hidrolojik özellikleri değerlendirmede bu teknolojilerin önemini vurgulanmıştır. Çalışmanın sonucu, bu entegre yöntemleri kullanarak sel kontrol önlemlerinin etkili bir şekilde uygulanabileceğini ve Tebük Şehrindeki gelişmiş afet yönetimi stratejilerine katkıda bulunabileceğini önermektedir (Abushandi ve Alatawi, 2015).

Yeni baraj yeri seçimlerini optimize etmeye yönelik karar alma yöntemleri için Slovakya'da nehir havzası alanını, ekilebilir ve ormanlık araziye, yerleşim alanlarını, erozyonu, yüzey akış hacmini dikkate alan entegre bir CBS ve SCS-CN yöntemi kullanılmıştır (Gacko ve diğ., 2020).

Ghobadi ve Kaboli (2020), rezervuar taşkın yönetimine yardımcı olmak için özel olarak tasarlanmış web tabanlı bir KDS'nin geliştirilmesine odaklanan bir çalışma yürütmüştür. Yapılan çalışmada, taşkın tahmini, risk değerlendirmesi ve karar verme için zamanında ve doğru bilgi sağlamak için gerçek zamanlı verilerin, hidrolojik modellerin ve CBS teknolojisinin kullanımını vurgulanmıştır.

Hem Boolean hem de bulanık mantık yaklaşımlarını kullanarak kurak havzalardaki yeraltı barajları için saha uygunluk analizi yapmaya odaklanan çalışma Jamali ve diğ. (2018) tarafından yapılmıştır. Çalışmanın bulguları, kurak bölgelerde yeraltı barajları için uygun yerlerin belirlenmesinde karar vericiler ve su kaynakları yöneticileri için değerli bilgiler sunmakta, sürdürülebilir su yönetimi ve depolama stratejilerine katkıda bulunmaktadır.

2.4 Afganistan'a Komşu Ülkelerde Yapılan Çalışmalar

Su hasadı yer seçimi konusunda özellikle İran ve Pakistan'da yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların çoğunda entegre bir ÇKKA yöntemi olan özellikle AHP, UA ve CBS mekânsal analiz araçları kullanılmaktadır. Topoğrafik, hidrolojik ve jeolojik veriler yapılan çalışmaların ana girdisidir.

Afganistan'ın batı ve güneybatı komşu ülkesi İran'da yürütülen baraj yerlerinin seçimine ilişkin birkaç çalışma yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalar, Afganistan için

öğrenilen dersler yaklaşımı olarak kullanılabilir. Minotaur ve diğ. (2015), İran'ın Harsin şehrinde 18 sosyal ve teknik kriter kullanarak iki ÇKKA yöntemi olan AHP ve VIKOR arasında karşılaştırma yaparak bir çalışma yürütmüştür, AHP yöntemi, su hasadı yer seçiminde etkili bir yöntem olarak önerilmiştir. İran'da Yasser ve diğ. (2013), uygun su hasadı yer önerisi için topoğrafik koşullar, ekonomik gelişme, uygun su hasadı yeri, hidrolojik, malzeme ve tesislere erişim, toplam maliyet, su kalitesi, hasar ve yanal etki gibi dokuz kriteri göz önünde bulundurarak CBS ve AHP'yi kullanılarak çalışma yapılmıştır. Jozaghi ve diğ. (2018), coğrafi kriterleri (jeoloji, arazi kullanımı, tortu, erozyon, eğim, yeraltı suyu ve deşarj) göz önünde bulundurarak ideal bir çözüme benzerliğe (TOPSIS) göre sıralama tercihi için CBS, AHP ve tekniğin entegre bir yöntemini kullanarak İran'da bir çalışma yürütmüştür. Su hasadı yer seçimi için uygun bir yöntem önermek için su kalitesi kriterleri (çözünür sodyum yüzdesi, toplam çözünmüş katı, hidrojen potansiyeli (pH) ve suyun elektrik iletkenliği) dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, bir ÇKKA olarak TOPSIS su hasadı yer seçimi için önerilmiştir. Entegre bir yöntem olarak CBS ve AHP, İran'ın Gorkhay havzasında uygun kontrol barajı yerleri önermek için fizyografi, hidroloji, jeoloji, toprak bilimi ve sosyoekonomik faktörleri kullanan bir çalışma için kullanılmıştır (Rahimi ve diğ., 2019).

Afganistan'ın doğu-güney komşusu Pakistan'da su hasadı yer seçimi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu iki ülke birçok yönden benzerlikler taşıyor. Çok amaçlı barajların potansiyel alanların belirlenmesi için Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), yağış verileri, deşarj verileri, jeolojik harita, arazi kullanım/örtü verileri dikkate alınarak Pakistan'da CBS, AHP ve Baraj Uygunluk Akış Modeli (KDSM) gibi yöntemlerin kombinasyonu Shao ve diğ. (2020) tarafından kullanılmıştır. Pakistan'da uygun su hasadı alanlarının belirlenmesi için SYM ve jeolojik verileri dikkate alan CBS ve UA'nın entegre bir yöntemi kullanılmıştır (Atiq ve diğ., 2019). Ahmad ve diğ. (2013) Pakistan'ın Khayber bölgesinde uygun baraj yerleri seçimi için CBS ve UA entegre yöntemi kullanarak SYM, arazi kullanımı, arazi örtüsü ve jeolojiyi göz önünde bulundurarak bir çalışma yapılmıştır. Saher ve diğ. (2015) tarafından CBS kullanılarak Kabil'in sınır aşan akarsu havzasında hidrolojik, topoğrafik ve jeolojik verileri kullanarak taşkın kontrol barajı kurulmasını tavsiye etmeye yönelik çalışma yapılmıştır. CBS ve ÇKKA'nın entegre bir yöntemi Raza ve diğ. (2018) tarafından Pakistan'ın Khyber Pukhtunkha bölgesinde uygun su hasadı yerlerini belirlemek için topoğrafik, jeolojik, hidrolojik ve toprak türleri dâhil sekiz kriteri göz önünde bulundurarak kullanılmıştır. Navaz ve diğ. (2006), Pakistan'da CBS ve KDSM kullanarak sosyo-ekonomik ve teknik olmak üzere

11 kriteri göz önünde bulundurarak uygun su hasadı yer önerisi için bir çalışma yürütmüştür. Muhammad ve diğ. (2013) tarafından yürütülen bir çalışmada Kuzey Pakistan'da uygun su hasadı yerlerini belirlemek için SYM, arazi kullanımı/örtüsü ve kar örtüsünü göz önünde bulundurarak CBS, UA ve AHP kullanılmıştır. Qureshi (2010), uygun baraj yeri önerisi için SYM, yağış, fiziksel, çevresel ve ekonomik kriterleri göz önünde bulundurarak CBS, UA ve Ağırlıklı Lineer Kombinasyonu (ALK) kullanarak Pakistan'da bir çalışma yürütmüştür. Pakistan'ın Kuzey Waziristan bölgesinde, uygun su hasadı yer önerisine karar vermek için SYM, toprak verileri ve jeoloji verilerini dikkate alan entegre bir CBS, UA ve AHP yöntemi kullanılarak bir çalışma yapılmıştır (Zada ve diğ., 2023).

2.5 Afganistan'da Yapılan Çalışmalar

JICA (2011) tarafından Afganistan'da su kaynakları yönetimi ve gelişimi ile ilgili ihtiyaçları ve zorlukları değerlendirmek için kapsamlı bir araştırma yapmaya odaklanan ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır. Araştırma, su kaynaklarının mevcut durumunu anlamayı, kilit sorunları belirlemeyi ve etkili yönetim ve sürdürülebilir kalkınma için gereklilikleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, çeşitli paydaşlardan veri toplayarak ve analiz ederek, altyapı, yönetim, politika çerçeveleri ve topluluk katılımı da dâhil olmak üzere su sektörüne ilişkin değerli bilgiler sağlar. İhtiyaç değerlendirmesi anketinin bulguları, Afganistan'daki karar alıcıları suyla ilgili zorlukları ele almak, su kaynaklarına adil erişimi teşvik etmek ve ülkedeki su kaynakları yönetimi uygulamalarını geliştirmek için gereken öncelikler ve stratejiler hakkında bilgilendirmeye katkıda bulunmuştur.

Mohanty (2016) Afganistan'ın Kahmard İlçesi'nde sürdürülebilir havza yönetimi uygulamaya odaklanan bir çalışma yürütmüştür. Araştırma, suyla ilgili zorlukları ele almak için çevresel, sosyal ve ekonomik faktörleri dikkate alan entegre bir yaklaşım benimsemenin önemini vurgulamaktadır. Araştırma, bir vaka çalışması yaklaşımı kullanarak, Kahmard İlçesi'nin özel bağlamına dair değerli görüşler sağlıyor ve Afganistan'ın benzer bölgelerinde tekrarlanabilecek sürdürülebilir havza yönetimi uygulamaları için öneriler sunmuştur.

Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti Sorumluluk Ofisi (GAO), Amerika Birleşik Devletleri'nin Afganistan'daki su sektörünü desteklemek için gösterdiği çabaları inceleyen bir rapor geliştirmiştir. Rapor, sağlanan desteğin artan düzeyinin altını çiziyor ancak aynı zamanda özellikle planlama ve koordinasyon açısından iyileştirme gerektiren

alanları da belirliyor. Rapor, kaynakların verimli kullanımını sağlamak ve su sektörü yardımının etkisini en üst düzeye çıkarmak için çeşitli paydaşlar arasında etkili planlama ve koordinasyonun önemini vurgulamaktadır. Çalışma, mevcut çabaların güçlü ve zayıf yönlerini vurgulayarak, planlama ve koordinasyon süreçlerini geliştirmek için öneriler sunmaktadır (GAO, 2010).

Aini (2007), Afganistan'da su tasarrufu hakkında bir çalışma yürütmüştür; ülkedeki su altyapısının mevcut durumundaki su mevcudiyetini özetlemiştir. Çalışma, ülkedeki kritik su tasarrufu sorununu ele almaya odaklanmış, su kıtlığının yarattığı zorlukların üstesinden gelmek ve çeşitli sektörler için sürdürülebilir su temini sağlamak için su kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesi ve korunmasına yönelik acil ihtiyacın altını çizmiştir. Çalışma, mevcut su koruma uygulamalarını incelemekte, iyileştirme için potansiyel alanları belirlemekte ve bireysel, toplumsal ve kurumsal düzeylerde su korumasını teşvik etmek için stratejiler önermektedir.

Uluslararası Su Yönetimi Enstitüsü (IWMI) tarafından Afganistan'daki su kaynakları yönetimi hakkında, su kaynakları ve mevcut hidrolik altyapı hakkında kapsamlı bilgi içeren bir rapor geliştirilmiştir (Qureshi, 2002). Rapor, Afganistan'daki su kaynakları yönetimine yönelik temel zorlukları ve potansiyel çözümleri analiz etmeyi değerlendirmiş, su kıtlığı, verimsiz sulama uygulamaları, altyapı eksikliği ve yönetim konularını çevreleyen karmaşık sorunları vurgulamaktadır. Buna ek olarak, sürdürülebilir su tahsisi, verimli sulama sistemleri, havza yönetimi ve kurumsal kapasite geliştirmeyi içeren kapsamlı ve entegre bir yaklaşımın benimsenmesinin önemini vurgulamaktadır.

Taher ve diğ. (2022) Afganistan'ın Badghis ilinde su hasadı için uygun sahaları belirlemek üzere CBS ve ÇKKA tekniklerini kullanmaya odaklanan bir çalışma yürütmüştür. Çalışma, kurak bölgelerde sürdürülebilir bir su kaynağı yönetimi stratejisi olarak su hasadı ve kullanılmasının önemini vurgulamakta, yağış modelleri, arazi örtüsü, toprak özellikleri ve erişilebilirlik gibi kriterleri entegre ederek, su hasadı için potansiyel sahaları değerlendirmeyi ve önceliklendirmeyi amaçlamıştır.

Afganistan'ın Kabil şehrinde yönetilen akifer beslemesi (MAR) için uygun sahaları belirlemeye yönelik çalışma CBS ve ÇKKA tekniklerinin kullanılarak Hussaini ve diğ. (2022) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, hidrojeolojik özellikler, arazi kullanımı, su mevcudiyeti ve su kaynaklarına yakınlık gibi çeşitli kriterleri dikkate alınmıştır. Çalışma sonuçları, bölgede sürdürülebilir su yönetimi için etkili MAR stratejilerini uygulamak için su kaynakları planlamacıları ve paydaşlara değerli rehberlik sağlamaktadır.

2.5.1 Kabil Akarsu Havzasında Yapılan Çalışmalar

Kabil Akarsu Havzası (KAH) için su kaynakları yönetimini dikkate alan çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Ancak su hasadı yeri seçimi hakkında yeterli derecede çalışmalar yapılmamıştır.

KAH'ın kalkınmasına yönelik stratejik seçeneklerin kapsamının belirlenmesine yönelik bir çalışması yapılmıştır. Çalışmada havzada stratejik gelişme sorunları, havzanın yatırım seçenekleri ve alternatif geliştirme senaryoları ele alınmıştır (World Bank, 2010).

Afganistan'daki beş akarsu havzası arasında, Rasooli ve Kang (2015) tarafından CBS kullanılarak KAH'da potansiyel baraj yeri seçiminin bir değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma, baraj inşaatı için yerlerin uygunluğunu değerlendirmek için topografya, hidroloji, jeoloji ve arazi kullanım şekilleri gibi çeşitli faktörlerin entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Tani ve Tayfur (2021), potansiyel yeraltı suyu bölgelerini belirlemek için KAH'da bir çalışma yürütmüştür. Yağış, litoloji, arazi kullanımı/arazi örtüsü, eğim, toprak, drenaj yoğunluğu ve çizgisellik yoğunluğunun dikkate alarak yedi farklı tematik haritası kullanılarak CBS ve AHP'nin entegre bir yöntemi seçilmiştir. Yapılan çalışma, havzadaki yeraltı suyu kaynakları açısından yüksek potansiyele sahip alanların değerlendirilmesi ve haritalandırılmasına odaklanmıştır. Çok iyi bölgelerin çoğunlukla havzanın mansabında ve orta kısımlarında yer aldığı tespit edilmiştir. Kabil Akarsu üst havzası yeraltı su dengesi ile ilgili bir çalışmada, havzada beslenme ve deşarj arasında önemli bir negatif denge (- 14,75 MCM) olduğunu göstermiştir (Farahmand ve diğ., 2021). Kar erimesi akış modeli kullanılarak üst Kabil Nehri havzasından deşarj tahmini için bir çalışma Rasouli ve diğ. (2015) tarafından yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu model Afganistan'daki üst Kabil Nehri havzasının ve diğer dağlık havzalarının karla beslenen alt havzasındaki debiyi tahmin etmek için verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Atef ve diğ. (2019), KAH için Afganistan ile Pakistan arasındaki suyla ilgili çatışmaların ve iş birliğinin dinamiklerini incelemeye odaklanan bir çalışma yürütmüştür. Yapılan çalışma, özellikle her iki ülkeyi kapsayan nehirler ve havzalara odaklanarak, paylaşılan su kaynaklarından kaynaklanan zorlukları ve fırsatları vurgulamaktadır.

Akhtar ve Iqbal (2017), sınıraşan KAH'da ortaya çıkan hidrolojik ve su kalitesi sorunlarını değerlendiren ve su paylaşımına ilişkin politika tartışmalarını kolaylaştıran bir çalışma yürütmüştür. Yapılan çalışma, hidrolojik ve su kalitesi zorluklarını

değerlendirerek politika diyalogu için bir platform sağlayarak, sınıraşan havza bağlamında anlayışı, iş birliğini ve sürdürülebilir su yönetimini geliştirmeyi amaçlıyor.

Akhtar (2017) tarafından Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) kullanılarak normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI) verileri dikkate alınarak KAH için yürütülen bir çalışmada, deşarj, meteorolojik ve arazi kullanımı/örtü verileri kullanılarak havzadaki su mevcudiyeti ve talebinin dinamikleri değerlendirmeye odaklanmıştır. Çalışmada, yüzey ve yeraltı suyu da dâhil olmak üzere mevcut su kaynaklarını incelemekte tarım, sanayi ve evsel kullanım gibi çeşitli sektörlerde su talebi modellerini analiz edilmiştir.

Iqbal ve diğ. (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada KAH'da iklim değişikliğinin taşkın özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmeye odaklanmıştır. Çalışmada, yağış modellerindeki, sıcaklıktaki ve hidrolojik süreçlerdeki değişiklikler de dâhil olmak üzere iklim değişikliğinin taşkın sıklığı ve yoğunluğu üzerindeki potansiyel etkilerini vurgulanmıştır.

Ougahi ve diğ. (2022) tarafından yürütülen bir çalışmada, KAH'daki su dengesi bileşenleri üzerindeki iklim değişikliği ve arazi kullanımı/örtü değişikliğinin etkilerini değerlendirmek için SWAT modelini kullanılmıştır. Çalışmada, farklı senaryoları simüle ederek iklim tahminlerini ve arazi kullanım değişikliklerini göz önünde bulundurarak, nehir akışı, evapotranspirasyon ve diğer su dengesi bileşenleri üzerindeki potansiyel etkileri ölçmeyi amaçlanmıştır.

Najmuddin ve diğ. (2018), arazi kullanımı/örtüsü dinamiklerini analiz etmeye ve KAH'daki ekili arazi değişiminin itici güçlerini değerlendirmeye odaklanan bir çalışma yürütmüştür. Yapılan çalışmada, istatistiksel analiz kullanılarak, ekim alanı değişikliği ile nüfus artışı, altyapı gelişimi ve tarım politikaları gibi değişkenler arasındaki ilişkileri araştırılmıştır.

Taraky (2021) tarafından KAH'daki sınıraşan su kaynaklarına ilişkin zorlukları ve fırsatları, kalkınma hedeflerini ve iklim değişikliğini dikkate alarak inceleyen bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, su mevcudiyeti, su talebi ve sosyoekonomik kalkınma hedefleri arasındaki etkileşimleri analiz ederken, aynı zamanda iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerini de göz önünde bulundurulmuştur. Mevcut su yönetim çerçevelerini, politika müdahalelerini ve iş birliği mekanizmalarını değerlendirerek, kalkınma hedeflerini ve iklim değişikliğine uyumu göz önünde bulundurarak havzada sürdürülebilir sınıraşan su yönetimi stratejileri hakkında fikir verilmiştir.

KAH sınır aşan dinamikler ve olası çatışmalar bağlamında taşkın risk yönetiminin karmaşıklığını inceleyen bir başka çalışma Taraky ve diğ. (2021) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, taşkın riskini etkileyen sınır aşan dinamikler analiz edilmiş ve taşkın yönetiminde çatışma veya iş birliği potansiyelini araştırılmıştır.

KAH için akarsu havzasının sınır aşan bağlamında kuraklığın yönetilmesine yönelik işbirlikçi bir çerçevede büyük barajların rolünü inceleyen bir çalışma yapılmıştır (Taraki ve diğ., 2021b). Yapılan çalışmada, kuraklık yönetimi için büyük barajların kullanılmasıyla ilgili faydaları ve zorlukları analiz edilmiş ve havzada etkin sınıraşan kuraklık yönetimini kolaylaştırabilecek işbirlikçi mekanizmaları araştırılmıştır.

Verisi kısıtlı ve heterojen olan KAH'da değişen bir iklim bağlamında hidrolojik metriklerin yağış-akışı modellemesinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır (Akhtar ve diğ., 2022). Çalışmada, havza akışı simülasyonlarının performansını değerlendirmek için çeşitli ölçütleri değerlendirilmiş iklim değişikliğinin havzadaki akış modelleri üzerindeki potansiyel etkilerini analiz edilmiştir. İstatistiksel analiz, HM ve iklim değişikliği senaryolarını birleştiren çalışma, değişen iklim koşullarına hidrolojik tepkiye ilişkin değerli bilgiler sağlar ve havzada su kaynakları yönetimini ve planlamasını desteklemektedir.

2.6 Uygun Su Hasadı Yeri Seçimi ile İlgili Yapılan Çalışmaların Yorumlanması

Su hasadı sisteminin optimum performansı için uygun saha seçimi çok önemlidir. Uygun su hasadı sahası seçimi için geniş biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler kategorileri kullanılır. Ancak yapılan çalışmaların çoğunda karar sistemi yalnızca birkaç biyofiziksel kritere dayanmaktadır, bu da optimum yer seçimi için yeterli olmayabilir. Ayrıca, su hasadı karar sisteminde çevresel ve ekolojik hususlar dikkate alınmamaktadır. Araştırmaların yalnızca üçte birinde biyofiziksel kriterlerin yanı sıra çok sınırlı sosyoekonomik kriterler de dikkate alınmıştır.

Su hasadı yer seçimi kriterleri için ağırlıklar ve puanlar mekânsal olarak farklılık gösterir. Su hasadı yer seçiminde sosyoekonomik kriterlere göre puanlama ve uygunluk düzeylerinin belirlenmesi konusunda bilgi eksikliği bulunmaktadır. Biyofiziksel kriterlerin yanı sıra sosyoekonomik kriterleri de dikkate alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmalarda sosyoekonomik kriterlere verilen ağırlıklar nispeten düşüktür, genellikle %1-5 arasında değişmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların çoğunda geçim kaynakları, evsel su kaynakları, arazi mülkiyeti gibi önemli sosyo-ekonomik veriler eksiktir.

Dolayısıyla, su hasadı yer seçimi için sosyoekonomik kriterleri de içeren çalışmalar yaparak literatürdeki bu boşluğu doldurmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, su hasadı yer seçiminde sosyoekonomik kriterlere uygunluk sınıflarının belirlenmesinde eksiklik bulunmaktadır.

Eğim, su hasadı yer seçimi için kritik bir kriter olup dünya çapındaki kurak ve yarı kurak bölgelerdeki çoğu teknik için tipik olarak %5 ila %15 arasında değişen değerlere sahiptir. Ancak dağlık, engebeli, inişli çıkışlı, dalgalı ve düz gibi terimler de dâhil olmak üzere eğim değerlerinin tanımı ve arazi sınıflandırması konusunda fikir birliği eksikliği devam etmektedir. Sedimentasyon, özellikle dik arazilere sahip bölgelerde önemli bir endişe oluşturmaktadır, ancak su toplama teknikleri üzerine yapılan önceki çalışmalarda bir karar kriteri olarak sıklıkla göz ardı edilmiştir. Sedimentasyonun su hasadı sistemleri üzerindeki potansiyel etkisini ele almak, etkilerini ve sonuçlarını daha iyi anlamak için daha fazla araştırma yapılmasını gerektirir.

Yağışın esas olarak kar olarak düştüğü daha soğuk bölgelerde, kar suyu eşdeğeri, su hasadı için potansiyel alanların belirlenmesinde uygun bir husus haline gelir. Önemine rağmen birçok çalışma, su toplama yerlerinin seçiminde kar suyu eşdeğerini dâhil etmeyi ihmal etmiştir. Bu ihmal, kar yağışının yoğun olduğu bölgelerde su hasadı sistemlerinin uygunluğunun anlaşılmasında önemli bir boşluğun altını çizmektedir. Gelecekteki araştırma çabaları, soğuk iklimlerde su toplama projeleri için yer seçimi metodolojilerinde kar suyu eşdeğerini önemli bir faktör olarak dâhil etmeye çalışılmalıdır.

Toprak tipi de su hasadı için yer seçiminde önemli bir rol oynamaktadır. Toprağın su hasadı teknikleri için uygunluğu sistemin amaçlanan amacına bağlıdır. Daha yüksek kil ve silt içeriğine sahip topraklar genellikle yüzey suyu toplama teknikleri için çok uygundur. Tersine, kum ağırlıklı toprak, yeraltı ve yeraltı suyu toplama teknikleri için daha uygundur.

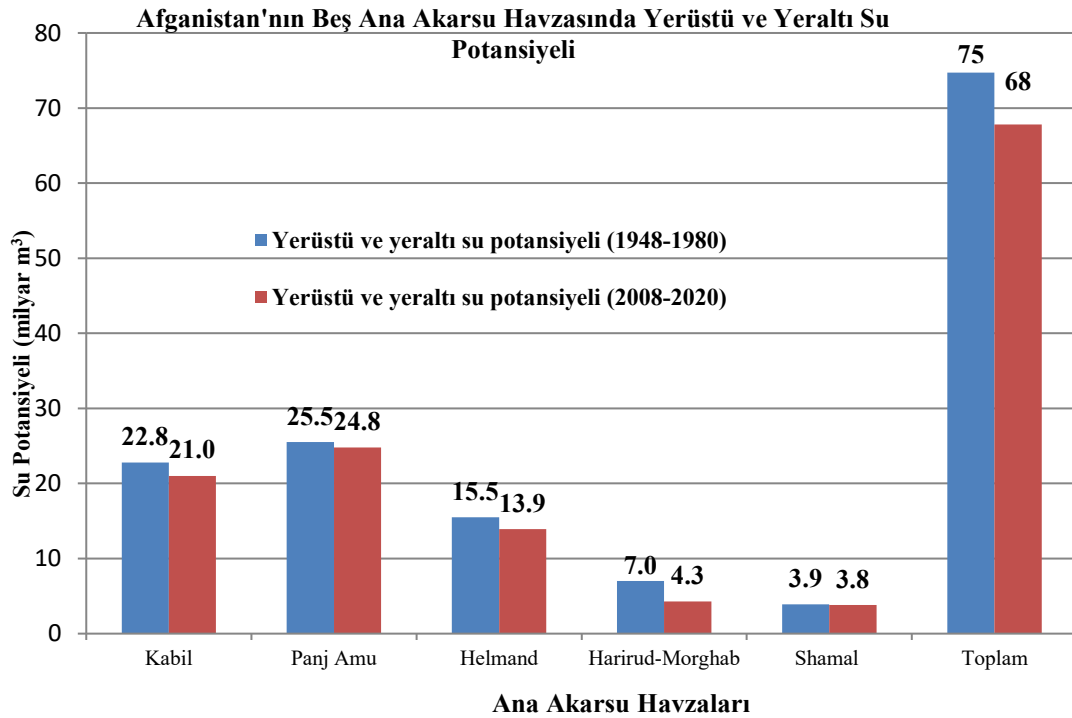
ÇKKA olarak tanınan AHP, su hasadı için uygun alanların seçimi için çok sayıda çalışmada yaygın olarak kullanılan bir metodoloji arasında yer almaktadır. Uygun su toplama alanlarının belirlenmesinde AHP'nin yanı sıra UA ve HM'nin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki en yaygın su toplama teknikleri arasında göletler ve tavalar, kontrol barajları, teraslama, süzme tankları ve Nala setleri yer alır. Kontrol barajları, süzme tankları, teraslama ve Nala setleri için yağış sınırlayıcı bir faktör görevi görüyor; 1000 mm'yi aşan yağışlar potansiyel olarak performanslarını olumsuz

etkileyebilir. Ayrıca, nispeten daha fazla yağış alan bölgelerde çok amaçlı büyük barajlar kullanılmakta bu da diğer bir yaygın su toplama şeklidir. Küçük ve orta ölçekli barajlar su toplama yapılarının çoğunluğunu oluştururken, kontrol barajları ve yeraltı barajları da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda barajların büyüklüğüne ilişkin bilgi eksikliği mevcut olup, literatürdeki boşlukları gidermek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır.

2.7 Afganistan'ın Su Kaynakları Potansiyeli

Afganistan'ın su kaynaklarının büyük bölümü, ülkeye Hindu Kush Dağları'ndan ulaşan akarsular ile bu dağlardaki kar birikimleri ve buzulların erimesiyle beslenmektedir. Ülkenin doğusundaki Kabil Nehri, Pakistan üzerinden İndus Nehri'ne karışarak Hint Okyanusu'na ulaşır. Karla kaplı Pamir ve Hindu Kush dağları ise Panj Nehri'ni beslemekte; Panj, daha sonra Amu Nehri'ne bağlanarak Aral Havzası'na yönelmektedir. Panj Nehri'nin kolları Afganistan'ın batı yakasında, Tacikistan'ın ise doğu yakasında oluşur. Hindu Kush'un batısında Harirud ve Marghab Nehirleri Türkmenistan'a doğru akış gösterir. Hindu Kush'un güneybatısında doğan Helmand Nehri ise Afganistan ile İran tarafından paylaşılan Sistan Havzası'ndaki Hamun Gölü'ne dökülmektedir.

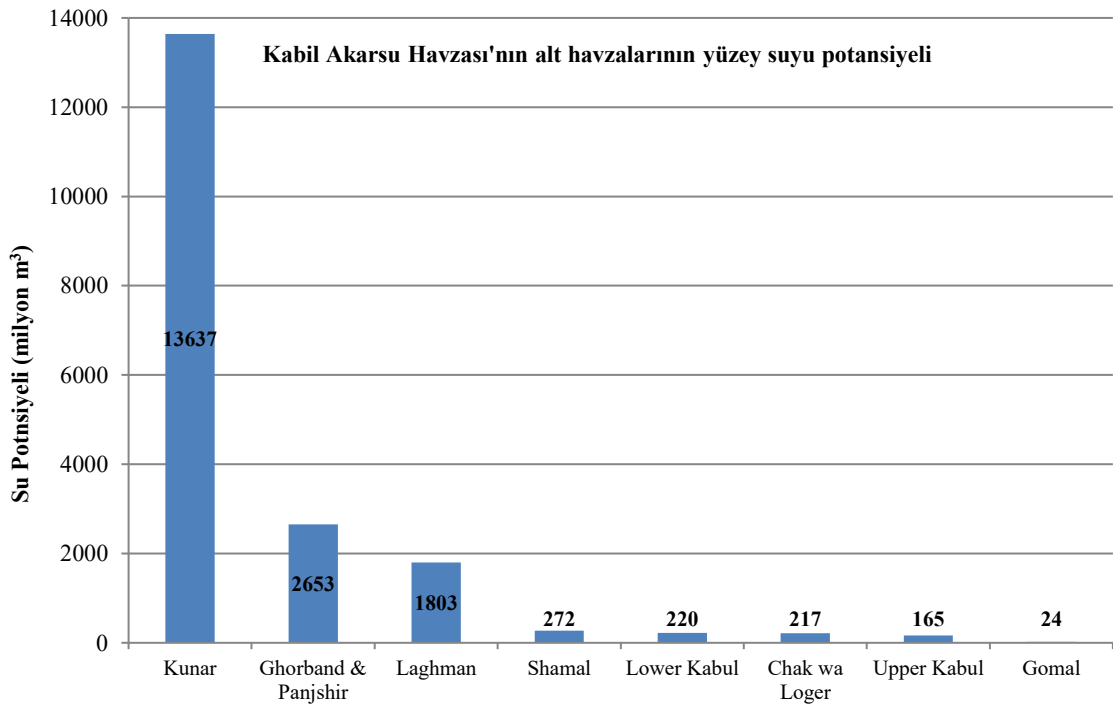


Şekil 2.2. Ülkenin 5 ana akarsu havzasındaki yer üstü ve yeraltı su kaynaklarının kapasitesinin karşılaştırılması (Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı verisi)

2.7.1 Afganistan’da Mevcut Su Durumu

Ülkenin beş ana akarsu havzasındaki su kaynaklarının (yerüstü ve yeraltı suları) kapasitesi 1948-1980 ve 2008-2020 dönemleri için karşılaştırıldığında, toplam su kaynaklarının yaklaşık olarak 6 milyar m³ (%8) oranında azaldığı görülmektedir. Akarsu havzalarındaki su kaynaklarının kapasitesindeki azalma miktarı havzadan havzaya farklılık göstermektedir. Harirud-Morghab Akarsu havzasında %39, Helmand Akarsu havzasında %15,5, Kabil Akarsu havzasında %8 ve Panj Amu ve Shamal (Kuzey) Akarsu havzalarında %4 azalma görülmektedir (Şekil 2.2).

Kabil Akarsu havzasının alt havzalarının yer üstü su potansiyeli Şekil 2.3’te gösterilmiştir. Yerüstü su potansiyeli bakımından Kunar alt havza en yüksek 13637 milyon m³ potansiyele sahip olup Chak-Logar alt havza ise 217 milyon m³ yer üstü su potansiyele sahiptir.



Şekil 2.3. Kabil Akarsu Havzası’nın alt havzalarının yüzey suyu potansiyeli (Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı verisi)

2.8 Afganistan'ın Meteorolojik Durumu

Kar örtüsü, belirli bir zamanda karla kaplı alanı ifade eder. Doğal olarak kar olarak düşen yağışların artmasıyla birlikte kar örtüsü de artıyor. Ayrıca sıcaklık, yağışın tipinde önemli bir rol oynayıp yağışın kar veya yağmur tipini düşmesine neden olmaktadır. Yağış ve sıcaklıktaki değişiklikler kar örtüsünün kapsamını doğrudan etkilemektedir.

Buzullar, aşırı soğuk iklime sahip bölgelerde Kabil ve Panj Amu Nehirlerinde oluşmaktadır. Afganistan'da doğal buzulların erimesiyle birlikte Panj Amu Akarsu havzasında ve kısmen Kabil Akarsu havzasında su akıyor. Yapılan araştırmalar, ülkedeki buzulların çoğunun Afganistan'ın orta ve kuzeydoğu bölgelerinde deniz seviyesinden 3.500-7.600 m yükseklikte yer aldığını ve ülkemizdeki tatlı suyunun yüzde 85'inin doğal buzullardan sağlandığını gösteriyor (Maharjan ve diğ., 2021). Sıcak mevsimlerde sıcaklık artışı zirvelerdeki buzulları bir miktar erittiğinde kaynakların, göllerin ve nehirlerin kaynağı haline gelir. Aslında doğal bir buzulun su kaynakları açısından performansı, onu dolduran bir barajla karşılaştırılabilir. Yağışlı mevsimlerde suyunu sıcak mevsimlerde ve su kıtlığı zamanlarında kullanabilmek için bünyesinde su depolanır. Sıcaklığın artması ve kuraklık buzulların erimesine neden olup bu da kalıcı karların hızla biçimde erimesine neden olmuştur.

Genel olarak ülkenin doğal buzulları iklim değişikliğinin etkilerinden etkilenmiş 1990'dan 2020'ye kadar yaklaşık %15,6'lık bir azalma göstermektedir. 1990 yılında 2.949 km² alana sahip 4.014 buzul bulunmaktadır. 2020 yılında ise 2.488 km² alana sahip buzul sayısı 3.972 olarak rapor edilmiştir (Maharjan ve diğ., 2021). Bu da iklim değişikliği nedeniyle 30 yıl içinde 42 buzulun ve ülkedeki yaklaşık 450 km² buzul alanının eridiği anlamına geliyor.

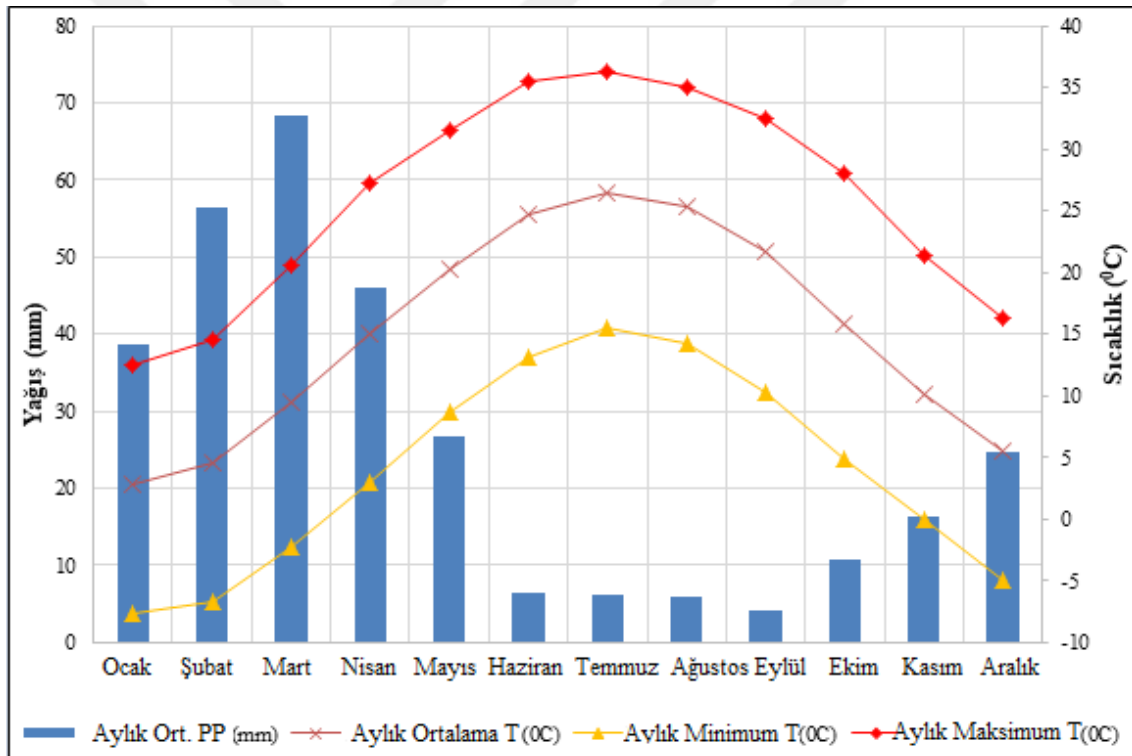
Ülke genelinde yıllık yağışlarda azalma tahmini öne sürülmekte yıllık ortalama sıcaklıkta önemli derecede artış tahmin edilmiştir (NEPA ve UN Environment, 2016).

2.9 Kabil Akarsu Havzasının Meteorolojik Durumunun İncelenmesi

Kabil akarsu havzasında doğal buzullar iklim değişikliğinden etkilenmiş, dolayısıyla 30 yıl içerisinde bu bölgede yaklaşık 38 buzul erimiş ve alan bazında 26,75 km² buzul örtüsünde azalma gözlemlenmiştir. 1990 yılında yapılan çalışmalara göre 132 km² alana sahip yaklaşık 377 doğal buzul tespit edilip ancak bu rakam 2020 yılında % 20 olan 105 km² 339 buzulla değişmiştir (Maharjan ve diğ., 2021).

Su dengesinin önemli parametreleri arasında yağış (kar ve yağmur), buharlaşma/terleme ve yüzey akışı yer alır. Kunar, Yukarı Panjshir ve Laghman havzaları su akışı açısından iyi olup, diğer havzalarda atmosferik suyun yüzey akışı düşük görünmektedir. Gomel, Kunar ve Logar havzalarında buharlaşma yüksek olurken, diğer havzalarda buharlaşma miktarı düşüktür. Havzadaki yağış miktarı Yukarı Panjshir, Laghman, Kunar, Gomel ve Shamal'de yüksek, diğer bölgelerde ise düşüktür (Bromand, 2015). Kabil akarsu havzasının yıllık ortalama, minimum ve maksimum yağış miktarı sırasıyla 310 mm, 116 mm ve 358 mm'dir.

Şekil 2.4'te 1979-2020 yılları arasındaki minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklar ile uzun dönem aylık yağış ortalamaları gösterilmektedir. En fazla yağış, Ocak-Mayıs (43-69 mm) ve Aralık (35 mm) aylarında görülür. Haziran-Eylül ayları arasında yağış miktarı 10 mm'den azdır.



Şekil 2.4. Kabil Akarsu Havzası'nın aylık ortalama yağış miktarı ve sıcaklığı

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kabil Akarsu Havzası

Afganistan coğrafi olarak dünyanın kurak ve yarı kurak bir bölgesinde yer almaktadır. Ülkenin orta ve doğu kesimleri dağlık olup neredeyse dörtte üçü (3/4) dağlardan oluşmaktadır.

Öte yandan dünyanın kuru kuşağında yer alan Afganistan, Hindu Kush ve Pamir dağlarına rağmen ülkenin güney ve batısındaki ovalık alanlarda yağış miktarı 75 mm'den az, orta kesimlerde ise yağış miktarı 300-400 mm olup ülkenin kuzey ve doğusundaki yüksek noktalarda yaklaşık 800 mm'ye ulaşır. Ülkenin toplam alanı yaklaşık 653.000 km² olup, dörtte birinden fazlası deniz seviyesinden 2.500 m yüksekliktedir.

Kabil akarsu havzası 76.908 km² bir alana sahip, bu alanın mevcut su kaynakları 19,0 milyar m³ olup bunun 5,2 milyar m³ tarım ve diğer amaçlar için kullanılmaktadır. Havzada ortalama yıllık yağış miktarı 339 mm civarındadır. Bu havzadaki en büyük zorluk kaynak ve tüketim arasındaki dengenin olmayışdır. Yoğun nüfus, suyun en az olduğu havzanın üst kısmında yaşıyor, tam tersine en fazla su, nüfusun en az olduğu havzanın alt kısmında bulunuyor. Havzada ülkenin %20 (1,73) milyon hektar tarım arazisi yer almaktadır. Havza ülkenin yüzölçümü olarak %35 kısmını kaplamaktadır.

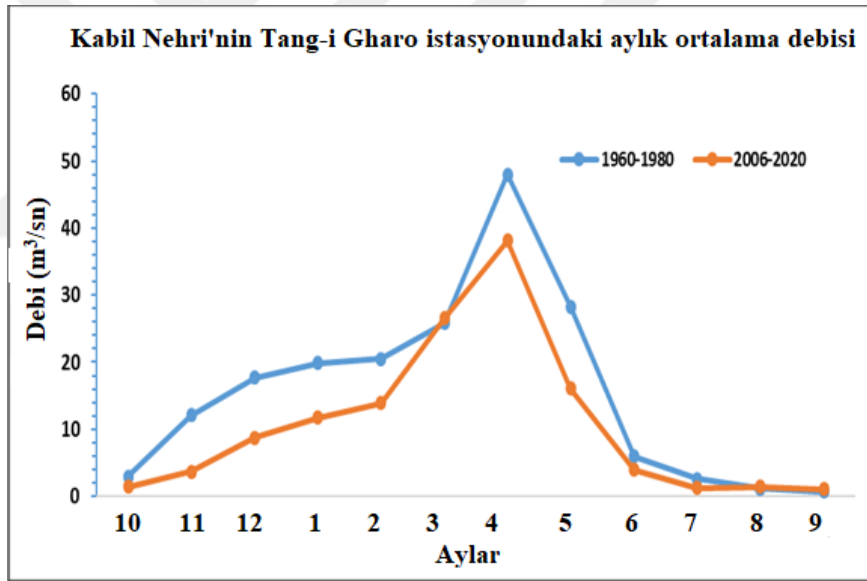
Kabil Akarsu Havzası, yıllık su kapasitesi bakımından ülkenin ikinci su havzasıdır. Havzada yıllık yaklaşık 19 milyar m³ su akışı oluşup daha sonra Pakistan üzerinden Hint Okyanusu'na dökülmektedir. Kabil Nehri'nin uzunluğu 700 km olup bunun %70'ten fazlası (500 km) Afganistan'ın içinde akmaktadır.

Kabil akarsu havzası su toplama alanı, sulama rejimini ve nehirlerdeki su miktarını büyük ölçüde etkileyen çok çeşitli bir topoğrafya ve iklime sahiptir. Doğu ve kuzeydoğu bölgelerinde yüksekliği 6000 m aşan dağlar bulunmakta ortalama yıllık yağış miktarı 600 mm civarındadır. Bu bölgenin bazı alanlarda ortalama sıcaklık -10 °C civarında iken, yılın birçok ayındaki soğuk hava, bu bölgelerde yağışların çoğu zaman kar şeklinde düşmesine ve uzun süre yerde kalmasına neden olmaktadır.

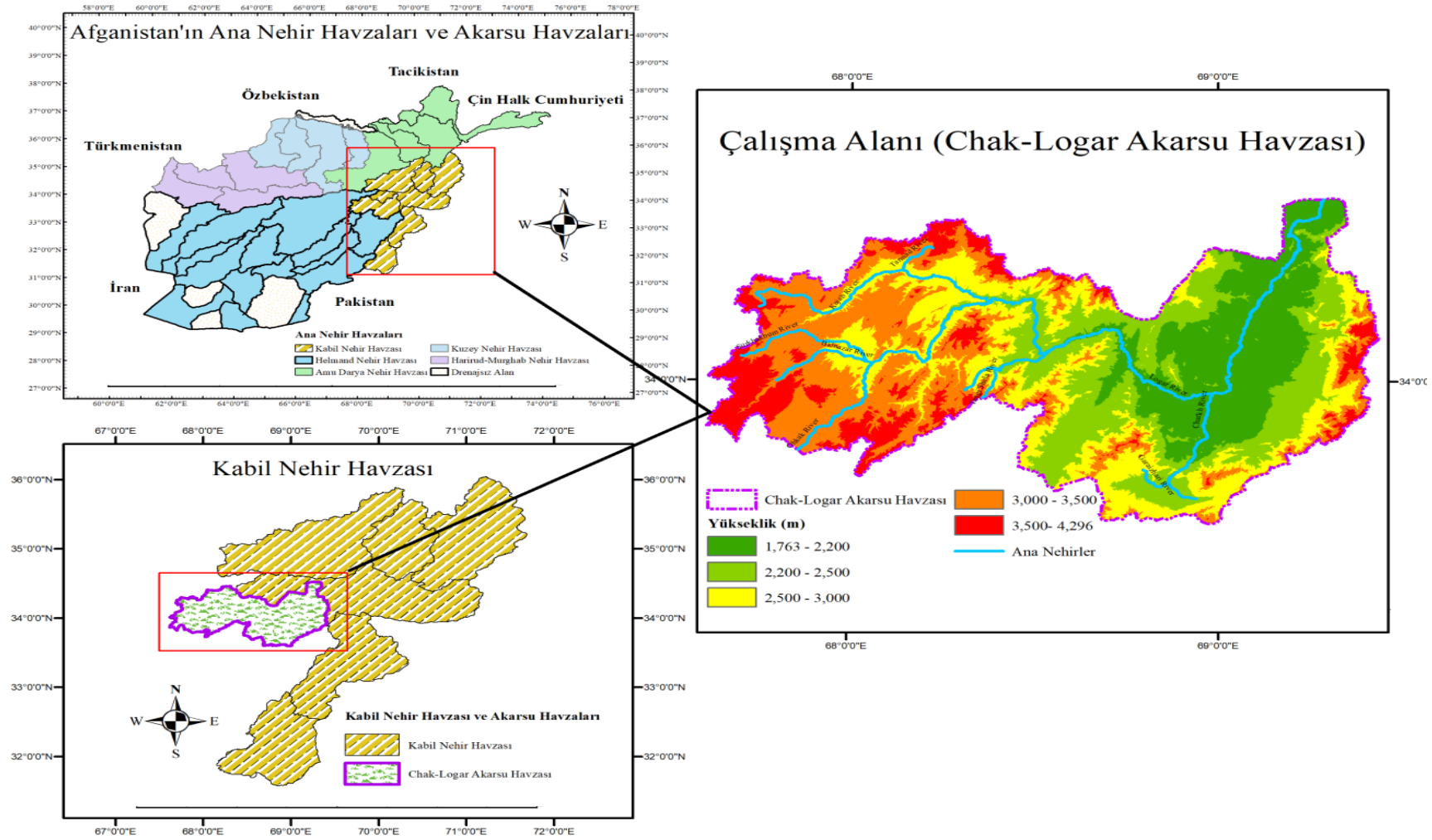
Havzanın güney ve güneydoğu bölgelerinde ortalama rakım 3000 m civarında olup bu alanda ağırlıklı olarak alçak sıradağlar, tepeler, ovalar ve havzanın deniz seviyesinden yüksekliği 500 metreden az olan alçak ovaları da bulunmaktadır. Ortalama yıllık yağış miktarı bu ovalık bölgelerde 300 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 20 °C derece civarındadır.

Kabil Akarsu havzasının ana nehirleri; Panjshir Darya, Ghorband Darya, Salang Darya, Paghman Darya, Maidan Darya, Kabul Darya, Alishang Darya, Alingar Darya, Pich Darya, Asmar Darya, Konar Darya, Logar Darya, Sorkh Rod Darya, Shabi Hazar Naw Darya, Shamal Darya ve Oregon Darya'dır.

Kabil Akarsu havzasında, Tangi Gharo istasyonunda ölçülen 1960-1980 ve 2006-2020 yılları arası ortalama akış değerleri karşılaştırma yapma amaçlı Şekil 3.1'de verilmiştir. Bu hidrolojik istasyonda birkaç yıllık ortalama su akışı, Ekim'den Şubat'a kadar olan yeni verilerin birkaç yılın tarihsel ortalama akışından daha düşük olduğunu gösteriyor, ancak mart ayında değerler çakışmıştır. Tarihi ve yeni verilerin incelenmesi ve karşılaştırılması sonuçları dikkate alındığında bu havzadaki su kaynaklarının kaynağının kar örtüsü ve buzullar olması nedeniyle bu havzadaki yüzey akış hacminin önemli ölçüde değişmediğini göstermektedir. Ancak havzada hidrolojik rejim değişmektedir. Bu değişiklik ülkenin tarım sektörünü ciddi şekilde etkileyebilir.



Şekil 3.1.Tangi Garo istasyonundaki farklı zaman serilerinde ortalama akışın karşılaştırması (Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı verisi)



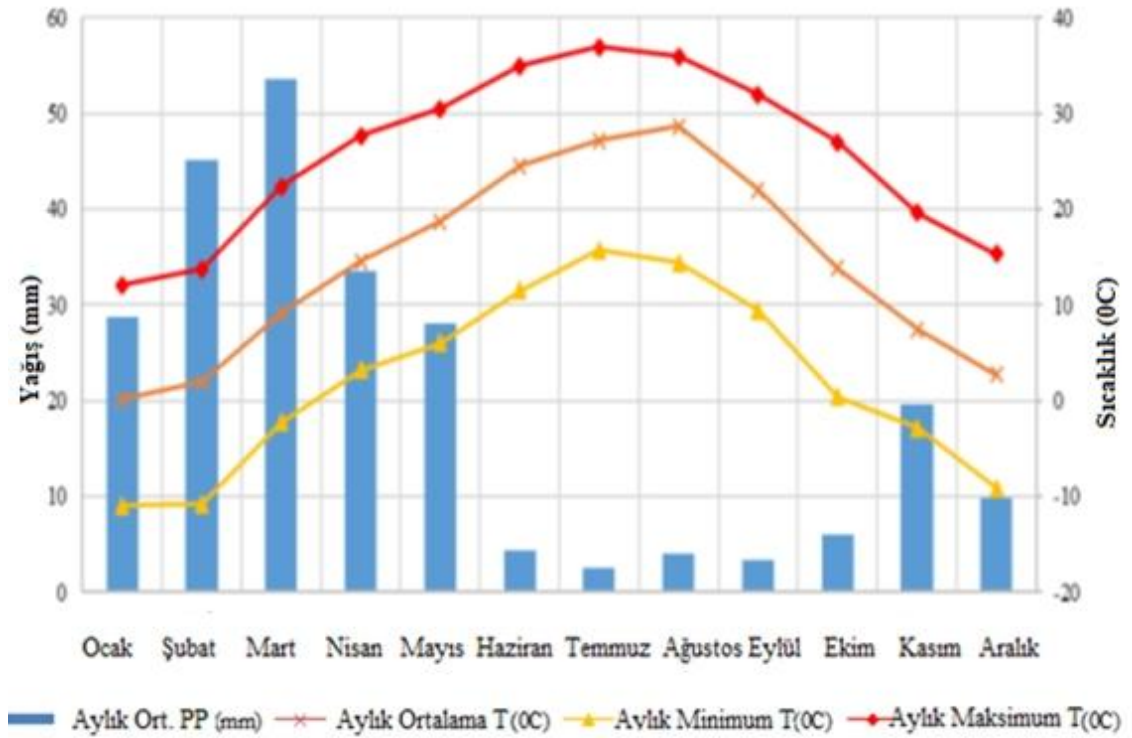
Şekil 3.2. Çalışma yerinin konumu, ülkenin akarsu havzaları, nehirler ve komşu ülkelerin konumu

3.2 Çalışma Alanı

Chak-Logar akarsu havzası Kabil Nehri Havzasının membası ve alt havzasıdır. Havzanın alanı 9968 km² dir. Havzada Gazne'nin Nawur ilçesindeki Dasht-i Nawur dağlarının kuzey yamaçlarından ve Wardak ilinin Day Mirdad ilçesinden su akıtmaktadır. Bu havzadaki ana nehir Chak'tır. Logar ilinde Pengram nehri ona katıldıktan sonra adını Logar nehir olarak değiştirmektedir. Logar nehrin Kabil'e doğru akmaktadır. Şehrin güneyinde nehir, Kabil ilindeki Bagrami ilçesini sulamaktadır.

Logar nehrinin bir kanalı Kole Hashmat Khan, Kabil şehrinin güneyindeki sulak alanı sulamaktadır. Logar nehrinin ana kanalı, Chak-Logar nehrinin bittiği Pule Charki'ye yakın, Kabil'in doğusundaki Kabil Nehri ile birleşmektedir.

Afganistan'da akarsu havzaları, 5 ana akarsu havzası, 36 alt akarsu havzası ve 5 drenaj dışı havzadan oluşmaktadır (Şekil 3.2).

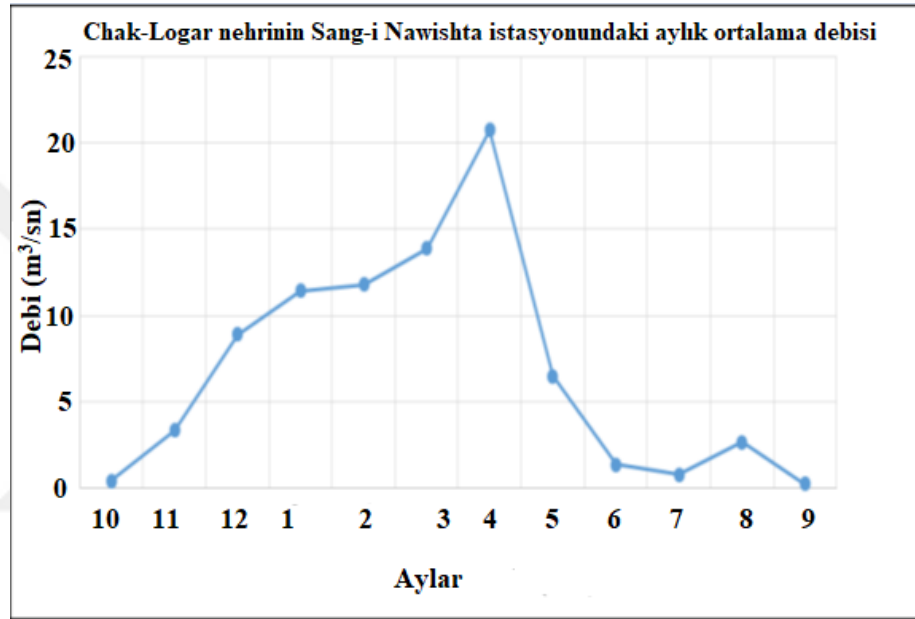


Şekil 3.3. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın aylık ortalama yağış ve sıcaklık grafiği

İdari açıdan bu havza, Afganistan'ın orta, kesimlerinde 2 il Wardak ve Logar tarafından paylaşılmaktadır. Ayrıca Gazni ve Kabil illerinin de az bir kısmı havzanın içine girmektedir. Havzanın rakımı 1700-4300 m aralığındadır (Şekil 3.2). Chack-Logar Akarsu alt havzasında diğer havzalardan ve nehirlerden su girişi bulunmamaktadır.

Havzada ortalama yağış 367 mm civarındadır. Logar akarsu havzasının ortalama aylık yağış ve sıcaklık grafiği Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Yılın en çok yağışı, Ocak-Mayıs aylarında gerçekleşir. Yağışlı aylarda ortalama yağış miktarı 30 ila 50 mm arasındadır. Yılın en sıcak ayları ise Haziran-Ekim aylarıdır. Yaz aylarında ortalama sıcaklık 20 ile 30 °C derece arasındadır.

Şekil 3.4'te Chak-Logar Akarsu Havzası'nın su akış grafiği gösterilmektedir. Aralık-Mayıs aylarında su akışı 10-20 m³/sn. civarındadır. Ekim-Kasım ve Haziran-Eylül aylarında ise 5 m³/sn. den düşük su akışı gerçekleşmektedir.

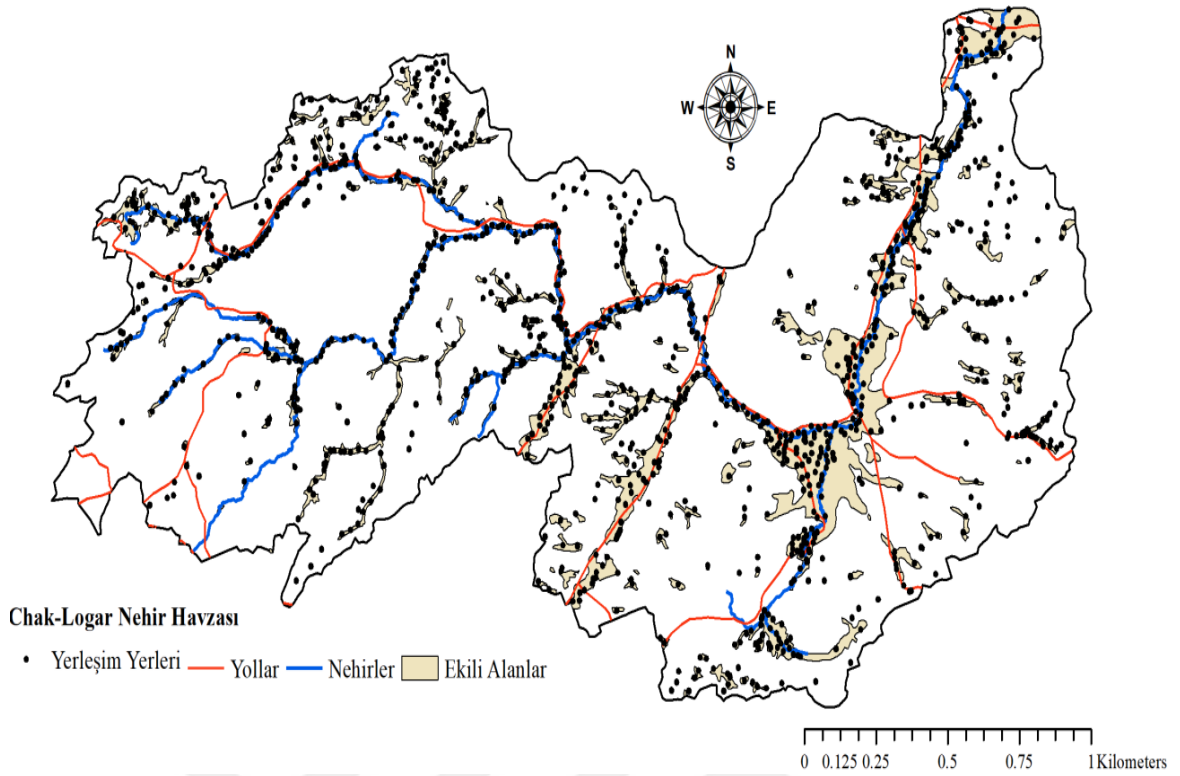


Şekil 3.4.Chak-Logar Akarsu Havzası'ndaki su akışının grafiği

3.2.1 Logar Nehri

Bu nehir, Kabil Nehri'nin sağ tarafındaki kollardan biri olup merkezi dağ sırasının 4000 m yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Chak Wardak bölgesinden Şeyh Abad'a ve oradan Baraki Barak Logar'a ve Charkh Logar nehri ile birleşip Kabil nehri ile birleşmektedir. Bu nehirde yılda bir kez ilkbaharda mevsimsel taşkın yaşanıyor. Buzulların erimesi ve dağların zirvesindeki karların kalıcı olması nedeniyle yıl içinde nehirde akışı devam eder.

Çalışma alanında yerleşim yerleri, yollar, nehirler ve ekili alanlar Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışma alanında yerleşim yerleri, yollar, nehirler ve ekili alanlar

Wardak ilinin Chak ilçesinde Bandi Chak adıyla 1938'de Alman teçhizatıyla inşa edilen küçük bir hidroelektrik barajı vardır. Bandi Chak, Kabil'e elektrik sağlayan ilk hidroelektrik istasyondur (Favre ve Kamal, 2004).

3.2.2 Chak-Logar Akarsu Havzası'nın Sosyo-Ekonomik Durumu

Wardak ili, halkın yaklaşık %75'inin tarım ve hayvancılıkla uğraştığı tarım illerinden biridir. Halkın geri kalanı devlet ve özel kurumlarda çalışmaktadır. Ancak bu bölgede mevcut su nedeniyle kullanıcılar daha az su ihtiyaç duydukları bitkileri yetiştirmektedir.

Nehirler, Çeşmeler ve Karezler Wardak havzasının ana su kaynaklarıdır. Hâlihazırda ekilebilir arazi 54707 ha civarındadır (NSIA, 2024). Sadece havzanın Wardak ili kısmında sulama ve yağmurla beslenen geliştirilebilir alan ise 11120 ha civarındadır (MEW, 2021).

2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın nüfusu 1153126 kişi civarındadır. Nüfusun % 98,6 civarında kırsal nüfus oluşturmaktadır. Wardak ve Logar illerinde sırasıyla 695428 ve 457698 kişi yaşamaktadır. Wardak ve Logar illerinde ise nüfus sırasıyla 99,45% ve 97,34% kırsal nüfustan oluşmuştur (Çizelge 3.1). Havzada 2003

yılında nüfus yoğunluğu 61 kişi/km² (Favre ve Kamal, 2004) iken 2023 yılında 116 kişi/km² olarak nüfus artışı görülmüştür.

Çizelge 3.1. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın nüfusu (NSIA, 2024)

İl	İkamet yeri	Nüfus (kişi)	Kırsal Nüfus Oranı
Wardak	Kırsal	691629	% 99,45
	Kentsel	3799	
	Toplam	695428	
Logar	Kırsal	445508	% 97,34
	Kentsel	12190	
	Toplam	457698	
Chak-logar Akarsu Havzası	Kırsal	1137137	% 98,6
	Kentsel	15989	
	Toplam	1153126	

Çizelge 3.2. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın sulama ve yağmurla beslenen buğday, alan ve üretimi (NSIA, 2024)

İl	Sulamalı		Yağmurla beslenen		Toplam	
	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)
Wardak	32984	13264	21	35	33005	13299
Logar	48436	17318	0	0	48436	17318
Chak-logar akarsu Havzası	81420	30582	21	35	81441	30617

Çizelge 3.3. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın mısır, pirinç ve arpa alanı ve üretimi (NSIA, 2024)

İl	Arpa		Pirinç		Mısır	
	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)
Wardak	881	449	0	0	894	408
Logar	445	318			2520	1200
Chak-logar akarsu Havzası	1326	767	0	0	3414	1608

2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın sulama ve yağmurla beslenen buğday, alan ve üretimi Çizelge 3.2'de verilmiştir. Havzada sulamalı buğday üretimi yaygın olup buna yanı sıra çok az bir miktarda yağmurla beslenen buğday üretimi de gerçekleşir. Havzada 2023 yılında 81441 ton buğday üretilmiştir. Çizelge 3.3'te 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın mısır, pirinç ve arpa alanı ve üretimi verilmiştir.

Havzada su kıtlığı nedeniyle son yıllarda pirinç üretilmiyor. Mısır ise havzanın Logar ili kısmında önemli bir miktarda üretilmektedir (Çizelge 3.3).

Havzada sebze üretimi olarak önemli miktarda patates Wardak ilinde soğan ise Logar ilinde üretilmektedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın sebze üretim alanı ve miktarı (NSIA, 2024)

İl	Havuç		Soğan		Patates	
	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)
Wardak	940	42	8390	381	102143	8393
Logar	700	50	31110	1220	25800	1200
Chak-logar akarsu Havzası	1640	92	39500	1601	127943	9593

Chak-Logar Akarsu Havzası'nda elma, üzüm, şeftali ve badem üretilmektedir. Havza meyve üretimi özellikle Wardak ilinde elma üretimi bakımından ülkede en çok elma üreten havza sayılmaktadır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nın meyve alanı ve üretimi (NSIA, 2024)

İl	Şeftali		Badem		Nar		Elma		Üzüm	
	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Alan (Ha)
Wardak	3804	317	311	219	0	0	102895	7915	572	72
Logar	357	102	925	370	0	0	6991	573	9988	861
Chak-logar akarsu Havzası	4161	419	1236	589	0	0	109886	8488	10560	933

2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nda hayvan sayısı Çizelge 3.6'da verilmiştir. Havzada inek, koyun, keçi, at ve eşek yetiştirilmektedir. Havzada sırasıyla en fazla koyun, inek ve keçi bulunmaktadır.

Çizelge 3.6. 2023 yılında Chak-Logar Akarsu Havzası'nda hayvan sayısı ve su ihtiyacı (NSIA, 2024)

Hayvan türü	Toplam hayvan sayısı (adet)
İnek	54535
Koyun	151030
Keçi	32916
At	102
Eşek	6966

3.2.3 Chak-Logar Akarsu Havzası'nda Su İhtiyacı

Su ihtiyacı olarak tarımsal sulama, hayvancılık ve evsel su ihtiyacı dikkate alınmıştır. Su ihtiyacı elde etmek için Dünya Gıda Örgütü (DGÖ) tarafından önerilen kabulleri dikkate alınmıştır.

Afganistan'ın yarı kurak koşullarındaki bitki listesi için hektar başına yaklaşık sulama suyu gereksinimleri (mevsimsel terleme, ET_c), 120-150 günlük büyüme mevsimine sahip Afganistan'a özgü yarı kurak iklimle göre ayarlanmış, küresel olarak geçerli DGÖ kılavuzuna göre aşağıda Çizelge 3.7'de verilmiştir (Brower ve Heibloem, 1986).

Çizelge 3.7. Çeşitli bitkilerin sulama suyu ihtiyacı (Brower ve Heibloem, 1986)

Mahsul	Su ihtiyacı (mm/ha.mevsim)
Arpa, Buğday	450–650
Mısır	500–800
Patates	500–700
Soğan ve Havuç	350–550
Şeftali, Badem, Elma	900–1,200
Üzüm	400–600

Bu tahminler DGÖ'nün temel tahminleridir. Afganistan'da kesin sulama planlaması elde etmek için yerel referans buharlaşma-terleme (ET_o) verileri, gerçek iklim, toprak tipi, ürün takvimleri ve Kc (mahsul katsayıları) gereklidir (Brower ve Heibloem, 1986). Raoufi ve diğ. (2024) tarafından Afganistan'ın merkezi tarımsal iklim kuşağında kışlık buğday için CROPWAT modeli kullanılarak 501 mm/ha ürün su gereksinimi tahmin edilmiştir. Afganistan'ın Güneydoğu bölgesi için SWAT kullanılarak Wali ve diğ. (2019) tarafından buğday için 412 mm/ha su ihtiyacı tahmin edilmiştir. Ancak Afganistan'ın kuzey bölgesi için buğdayda nispeten daha düşük bir su gereksinimi (268 mm/ha) tahmin edilmektedir (Hussainzada ve Lee, 2022; Hussainzada ve diğ., 2023).

Chak-Logar Akarsu Havzası'nın sulama suyu ihtiyacı için DGÖ'nün önerdiği kabullerin ortalama değerleri dikkate alınmıştır (Çizelge 3.8). Havzada en çok su gerektiren mahsuller arasında sırasıyla buğday, elma ve patates yer almaktadır. Havzanın toplam sulama suyu ihtiyacı 352,61 milyon m³/mevsim civarında elde edilmiştir (Çizelge 3.8). Evsel su ihtiyacı için DGÖ'nün kırsal bölgeler için 20-50 L/kişi. gün (Stephens, 2010) kabullünden yolla çıkarak havzanın nüfusunun %98 kırsal bölgelerde ikamet

ettikleri için 50 L/kişi.gün evsel su ihtiyacı dikkate alınmıştır. Havzada toplam evsel su ihtiyacı 21,04 milyon m³/yıl civarında tahmin edilmiştir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.8.Chak-Logar Akarsu Havzası'nın sulama suyu ihtiyacı

	Tür	Alan (ha)	Su ihtiyacı (mm/ha/mevsim)	Su ihtiyacı (milyon m ³ / mevsim)
Hububat	Arpa	767	550	4,22
	Buğday	30617	550	168,39
	Mısır	1608	650	10,45
Sebze	Patates	9593	600	57,56
	Soğan	1601	450	7,20
	Havuç	92	450	0,41
Meyve	Şeftali	419	1050	4,40
	Badem	589	1050	6,18
	Elma	8488	1050	89,12
	Üzüm	933	500	4,67
Toplam Alan (ha)		54707	Toplam sulama suyu ihtiyacı	352,61

Çizelge 3.9.Chak-Logar Akarsu Havzası'nın evsel su ihtiyacı

Nüfus	Evsel su ihtiyacı (50 L/kişi.gün)	Toplam evsel su ihtiyacı (milyon m ³ /yıl)
1.153.126	57.656.300 L/gün	21,04

Hayvancılık su ihtiyacı için Afganistan Ulusal İstatistik ve Bilgi Kurumu tarafından önerilen hayvan başına gereken su ihtiyaçları dikkate alınmıştır (NSIA, 2024). Toplam hayvancılığın su ihtiyacı 2,72 milyon m³/yıl olarak elde edilmiştir (Çizelge 3.10). Buna göre havzada en fazla su ihtiyacı sırasıyla tarım (352,61 milyon m³/ mevsim), evsel su ihtiyacı (21,04 milyon m³/yıl) ve hayvancılıkta (2,72 milyon m³/yıl) elde edilmiştir. Havzada toplam su ihtiyacı ise 376,37 milyon m³/yıl civarındadır.

Çizelge 3.10. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın hayvancılık su ihtiyacı

Hayvan türü	Toplam hayvan sayısı	Hayvancılık su ihtiyacı (L/gün)	Toplam hayvancılık su ihtiyacı (milyon m ³ /yıl)
İnek	54535	96	1,911
Koyun	151030	10	0,551
Keçi	32916	10	0,114
At	102	70	0,003
Eşek	6966	55	0,140
Hayvancılık için toplam su ihtiyacı			2,720

3.3 Çalışmada Kullanılacak Veri

Bu çalışmada kullanılabilecek veri Çizelge 3.11’de verilmiştir. Bu veri dört sınıfa ayrılmıştır;

- 1) Ulusal veri ve haritalar
- 2) İklim verisi-uzaktan algılama
- 3) Uydu verisi
- 4) Hidrolojik veri,

Bu veri su hasadı yer seçimi için kullanılmıştır.

Çizelge 3.11. Su hasadı yer seçiminde kullanılacak verilerin türü ve kaynağı

Veri Türü	Veri Kaynağı
SRTM SYM Dijital Yükseklik Modeli (30m mekânsal çözünürlük)	ABD Jeoloji Araştırması (https://earthexplorer.usgs.gov/)
Sentinel 2, 10 m mekânsal çözünürlüklü Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü (LULC) (2023)	Çevresel Sistem Araştırma Enstitüsü (ESRI) (https://livingatlas.arcgis.com/landcover/)
Günlük Yağış Verileri (2000–2023)	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA), Ulusal Çevresel Bilgi Merkezleri, PERSIANN-CDR Uzaktan Algılama Verileri (https://earthengine.google.com/)
Havzalar	Afganistan Bilgi Yönetim Hizmetleri (AIMS)
Jeomorfoloji	Afganistan Maden ve Sanayi Bakanlığı, Jeoloji ve Madenler Dairesi
Litoloji	Dünya Toprak Kaynakları, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (ABDTB)
Zemin Yapısı	Dünya Toprak Kaynakları, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (ABDTB)
Toprak Dokusu	BM-GTÖ/FAO /UNESCO Dünya Toprak Haritası
Hidrolojik Toprak Grupları	Eğri Numarasına Dayalı Akış Modellemesi için Küresel Hidrolojik Toprak Grupları (HYSOGs250m), https://daac.ornl.gov/SOILS/guides/Global_Hydrologic_Soil_Group.html
Jeolojik fay hattı	Amerika Birleşik Devletlerin (ABD) Jeolojik Araştırması
Kurumuş karez sistemi	Stinson ve diğ. (2016)
Tarım alanları	Afganistan Bilgi Yönetim Hizmetleri (AIMS), 2003
Yerleşimler	Afganistan Bilgi Yönetim Hizmetleri (AIMS), 2003
Yollar	Afganistan Bilgi Yönetim Hizmetleri (AIMS), 2003
Çeşmeler	Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı
Kontrol Barajları	Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı

3.4 Yöntem

Spesifik olarak aşağıdaki bütünleşmiş yöntemler kullanılacaktır; verilerin analizi ve yorumlanmasında Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA), özellikle Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), istatistiksel yöntemler olarak Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi analizi, havzanın hidrolojik karakterizasyonu için Toprak Koruma Hizmeti Eğri Numarası (SCS-CN) Loss Model (Kayıp Modeli) yöntemi kullanılmıştır. Eğri Numarası

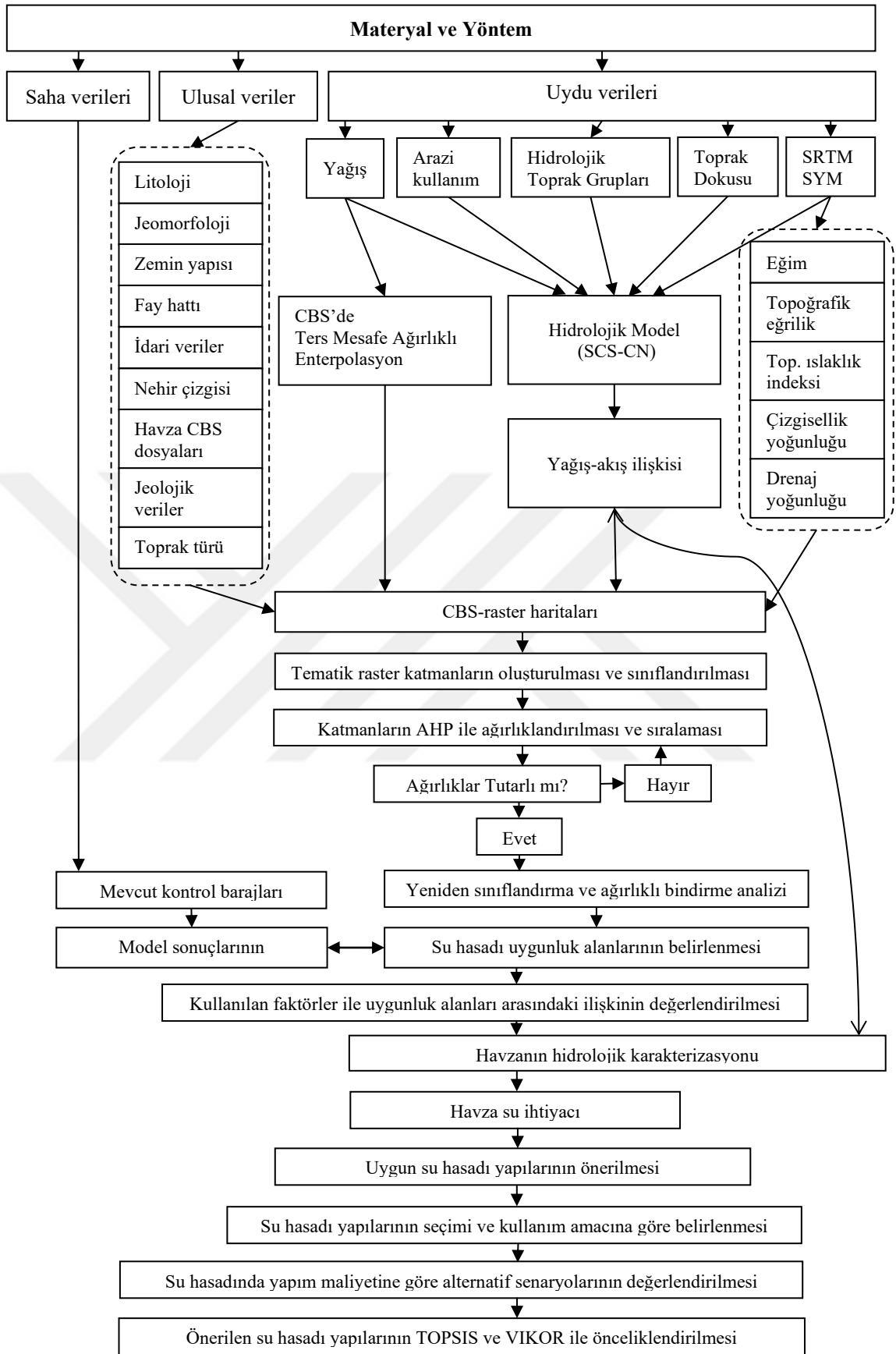
(CN) arazi kullanımı, hidrolojik toprak tipi ve havzanın geçirimsiz örtü yüzdesi kullanılarak hesaplanmıştır.

Su hasadı için uygunluk alanlarının belirlenmesi için CBS ortamında Ağırlıklı Katman Analizi (Weighted Overlay Analysis) verilen 16 faktörlerin 30m*30m çözünürlüğe sahip raster haritalar kullanılmıştır. Buna ek olarak Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadını benimseme konusunda kamu algısı ve istekliliği hakkındaki sonuçlar çevrimiçi anket çalışması yapılarak elde edilmiştir. Çalışmanın şematiği Şekil 3.6'de ve su hasat sisteminin seçimi için karar akış şeması Şekil 3.7'de verilmiştir. Su hasat sisteminin seçimi için karar akış şeması için birleşmiş milletlerin GTÖ'nün kılavuzundan yararlanmıştır (Hofer en Warren, 2007). Bu çalışmada mikro havza ölçekli çiftlik düzeyinde (kontur setleri, hendekler, kontrol barajlar, yarık tıkaçları, çiftlik göletleri, yeraltı suyu reşarj çukurları) ve mezo dağ vadisi düzeyinde (perkolasyon havuzları, kontrol barajlar, küçük rezervuarlar, yeniden reşarj ve depolama havuzları) dikkate alınmıştır.

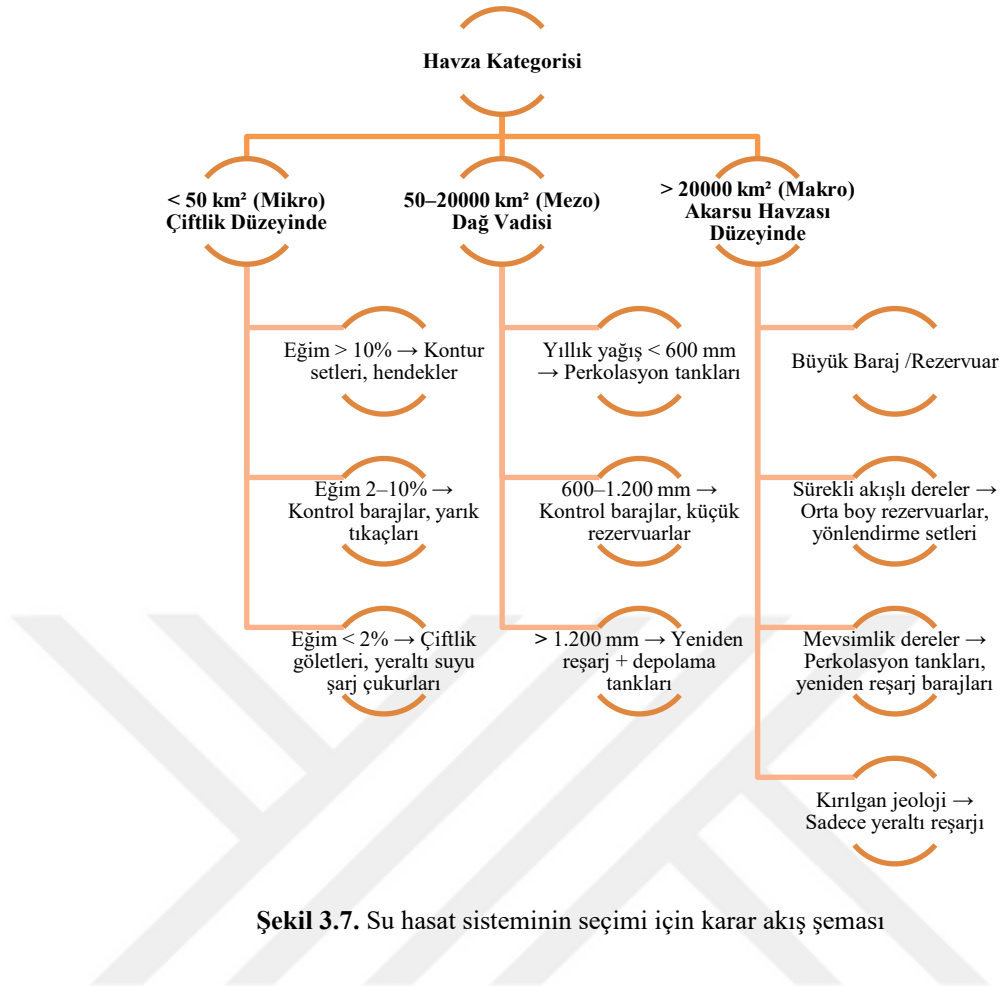
Su hasadı yer seçimi için 16 farklı biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler dikkate alınmıştır. Kriterlere su hasadı önemine göre ağırlıklar verilmiştir. Katmanların AHP ile ağırlıklandırılması ve sıralaması için eldeki veriler sayesinde yapılmıştır. Bu kriterler havzanın durumu göz önünde bulundurarak literatür taraması ve uzman kararları yoluyla geliştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre su hasadı yapının kullanım amacına ve tipine göre sınıflandırılmıştır. Havzanın iklimi ve diğer faktörler göz önünde bulundurarak iki farklı su hasadı tipini önerilmiştir.

Su hasadı yerlerin uygunluk haritaları yukarıda belirtilen veri ve yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda mevcut olan kontrol barajların bilgisi kullanılarak geliştirilen modelin sonuçları doğrulanmıştır. Buna ek olarak sahanın su hasadı için uygunluk haritaların ışığında 45 adet yeni mikro ve mezo havza ölçeğinde su hasadı yapıları önerilmiştir. Bu geliştirilen uygunluk haritaları su hasadı yer seçimi için karar destek sistemi olarak kullanılabilir.



Şekil 3.6. Çalışmanın şematik gösterimi



3.4.1 Jenerik Modeller

Jenerik modeller her türlü uygulamada uygulanabilen teorik yöntemlerdir. Çeşitli mekânsal karar alma durumlarında kullanılabilecek pek çok modelleme tekniği geliştirilmiştir. Bu tekniklerin birçoğu mekânsal olmayan problemler için geliştirilmiş ve mekânsal karar alma durumlarına uyarlanmıştır. Mekânsal karar alma süreci sıklıkla birbiriyle çelişen bir dizi özellik ve kriterle karakterize edilir. Bu tür durumlar çoğu zaman çok kriterli değerlendirme yöntemleriyle ele alınmıştır. Çok kriterli değerlendirme yöntemlerini tartışmak için çok sayıda terim kullanılmaktadır; bunlar arasında çok kriterli karar verme (ÇKKV), çok kriterli karar analizi (ÇKKA) ve çok kriterli analiz (ÇKA) yer almaktadır (Sugumaran ve Degroote, 2010). Bu çalışmada ÇKKA terimi kullanılmıştır. Çok kriterli değerlendirme yöntemleri, birden fazla koşul ve çatışan hedefler ışığında çok sayıda alternatifi inceleyerek karar vermeyi kolaylaştıran bir dizi prosedür sunar (Voogd, 1983). Mekânsal boyutu olan problemlerde CBS, çok kriterli yöntemlere doğal bir tamamlayıcı sağlar. En yaygın kullanılan ÇKKA yöntemleri arasında; AHP, Ağırlıklı

Doğrusal Birleştirme ve Sıralı Ağırlıklı Ortalama jenerik modellerdir (Sugumaran ve Degroote, 2010).

3.4.1.1 Çok Kriterli Karar Analizi

Çok kriterli karar alma, karar vericiler tarafından birden fazla kriterin değerlendirilmesini kolaylaştırmak için kullanılan bir yaklaşımdır. ÇKKA, genellikle çatışan birden fazla kriteri mantıksal olarak değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılır ve mümkün olan en iyi kararı verir. Özellikle çatışan çıkarları, değerleri ve hedefleri olan çok çeşitli paydaşlarınız olduğunda faydalıdır.

Bir ÇKKA, birden fazla uygun çözümün olabileceği çok çeşitli sorunlara bakmak için herhangi bir alanda kullanılabilir. Bu, önceliklendirme, yeni bir araba seçimi, turizm faaliyetleri, işleme seçenekleri, ulaşım, enerji kullanımı, risk değerlendirmesi, arazi kullanımı ve yer seçimi gibi hizmetlerine bakmak için kullanılmıştır (Ryan and Nimick, 2019). Bu çalışmada, su hasadı yer seçimi için AHP yöntemi kullanılmaktadır.

3.4.1.2 Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) 1970'lerde Saaty (1980) tarafından geliştirilmiş olup, çok çeşitli karar alma durumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. AHP, karmaşık durumlarda hedef, kriter ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir yapı aracılığıyla optimum karar vermeyi belirlemeye yarayan bir karar destek modelidir (Satty, 1980). Bileşik ağırlıklar, hiyerarşiye göre ağırlıkların toplanmasıyla tespit edilir. Sonuç, karşılaştırma matrisinin tutarlılığını incelemek için sistemin genel ağırlıklarının standartlaştırılmış bir vektörüdür (Satty, 1980). Saaty (2008), AHP uygulamasında dört unsuru özetlemiştir, bunlar: (1) sorunun tanımı, (2) hedefin belirlenmesi, (3) çiftler arası karşılaştırma matrisinin geliştirilmesi, (4) ağırlıkların atanmasından ibarettir.

AHP tekniği, karmaşık sorunları bileşen parçalarına ayırmaya yardımcı olan bir öncelik sıralaması tekniğidir. Bu parçalar, bu faktörlerin göreceli önemine dayalı olarak öznel yargıyı temsil eden sayısal değerler atamak için öznel yargı kullanılarak bir hiyerarşi halinde düzenlenir. Daha sonra bu değerler birleştirilerek en yüksek puan veya öncelik belirlenir (Ahmad ve diğ., 2004). Mekânsal bağlamda, AHP ilişkili ağırlıklı uygunluk harita katmanlarını türetmek için kullanılabilir ve daha sonra bu ağırlıklı harita katmanları birbirleriyle birleştirilebilir (Malczewski, 2004). Bu yöntem, çok sayıda alternatifin raster verilerle temsil edildiği durumlarda etkilidir. Ancak yöntem vektör veri

modeline de uygulanabilir (Malczewski, 2004). AHP'nin genel süreci, yapılandırılmamış problemi tanımlamak, problemi genel ve ayrıntılı kriterler ve alternatif unsurlardan oluşan hiyerarşik bir yapıya bölmek, karşılaştırma matrislerine dayalı ikili karşılaştırmalar yapmak, karar unsurlarının göreceli ağırlıklarını tahmin etmek, karşılaştırma matrislerinin tutarlılığını kontrol etmek ve son olarak karar unsurlarının göreceli ağırlıklarını toplayarak genel bir derecelendirme elde etmektir (Lee ve diğ., 2008). AHP'nin gücü, her genel ve ayrıntılı kriter çifti arasında çiftler halinde karşılaştırmalar yapma ve tüm olası alternatifler için nihai puanları belirlemek için kullanılan ağırlıkları hesaplama yeteneğinde yatmaktadır. Mekânsal bir bağlamda, bu çiftler halinde karşılaştırma, mekânsal katmanlar ve hücreler veya vektör özellikleri için ağırlıkların geliştirilmesine yol açar (Sugumaran ve Degroote, 2010). Bu ağırlıklar daha sonra bir harita yerleştirme yönteminde kullanılarak hücre veya vektör özellik nihai puanı elde edilir.

Bir AHP karşılaştırma matrisinde, göreceli puanları çapraz olarak yerleştirilmiş eşit sayıda sütun ve satır bulunur. Tutarlılık Oranı (CR), karşılaştırma matrisinin ana öz değer ve rastgele endeks (RI) ölçeğine göre hesaplanır. CR değeri 0,1'den küçükse, matris tutarlılığı kabul edilebilir ve ağırlıklı analiz için uygundur. Karşılaştırma matrisi, tematik katmanların alt sınıfının ağırlıklandırılmış değerinin hesaplanmasında kullanılır. AHP, bir yargı matrisi oluşturmak için Saaty'nin 1-9 ölçeklerini kullanır, her bir sıralamanın öğelerine ağırlıklar atar ve bunların göreceli önemlerini hesaplar. 1 değeri eşit derecede önemliyi ve 9 değeri son derece önemliyi temsil eder (Saaty 1980).

Ağırlıklar, mevcut literatür taraması ve saha deneyimine dayanarak çeşitli tematik katmanlara atanır. Farklı tematik katmanların uygulanan ağırlıkları öz vektör ve AHP tekniği ile normalize edilir.

Normalizasyon süreci, tematik haritaların atanmış ağırlıkları ve özellikleriyle ilişkili önelliği azaltır (Machiwal ve diğ., 2010).

Tutarlılık Oranı (CR), tematik katmanların normalleştirilmiş ağırlıklarının tutarlılığını kontrol etmek için uygulanır. CR, aşağıdaki adımları gerçekleştirerek hesaplanır:

Adım 1: Çiftler arası karşılaştırma ile yargı matrislerini oluşturulur

$$A = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{1n} & P_{2n} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Burada, Pij yargı matrisi elemanıdır.

Adım 2: Normalize edilmiş ağırlıkları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$W_n = \frac{GM_n}{\sum_{n=1}^{Nf} GM_n} \quad (3.2)$$

Yargı matrisinin i'inci satırının geometrik ortalaması şu şekilde hesaplanır.

$$GM_n = \sqrt[Nf]{P_{1n} * P_{2n} * \dots * P_{nNf}} \quad (3.3)$$

Adım 3: Tutarlılık Oranını (CR) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RCI} \quad (3.4)$$

Burada, CI Tutarlılık Endeksi'dir ve RCI, Saaty (1980) tarafından verilen Standart Çizelge 3.12'den elde edilebilen rastgele tutarlılık endeksidir.

Çizelge 3.12. Göreceli önem ölçeği ve RCI değerleri Saaty (1980) den uyarlanmıştır

Tanım	Eşit derecede önemli	Çok daha az önemli	Daha az önemli	Az önemli	Orta derecede az önemli	Orta derecede önemli	Güçlü derecede önemli	Çok güçlü derecede önemli	Son derece önemli
Önemin Şiddeti	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RCI	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

Adım 4: Tutarlılık Endeksini (CI) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - Nf)}{(Nf - 1)} \quad (3.5)$$

Burada, Nf kriter veya faktör sayısını gösterir ve λ_{max} , aşağıdaki şekilde hesaplanabilen temel öz değerdir.

$$\lambda_{max} = \sum_{N=1}^{Nf} \frac{AW_n}{Nf * W_n} \quad (3.6)$$

Burada, W ağırlık vektörü olarak tanımlanmaktadır. Tutarlı ağırlıklar için tutarlılık oranı (CR) değerinin %10'dan küçük olması gerekir, değilse tutarsızlığı önlemek için ilgili ağırlıklar yeniden değerlendirilmelidir.

AHP gibi daha sofistike çok kriterli teknikler, mekânsal karar alma problemlerinin karmaşıklığının daha sağlam bir şekilde ele alınmasını sağlamak için karar destek sistemine dâhil edilmiştir. Bu teknikler, CBS yazılımında uygulamaya uygun olmalarına rağmen sıklıkla gerekli olan bir karmaşıklık düzeyi sağladıkları için çok çeşitli uygulama alanlarında yararlı olduklarını kanıtlanmıştır (Sugumaran ve Degroote, 2010).

3.4.1.3 İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS)

İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS) (Hwang ve Yoon, 1981; Yoon, 1987) basitliği ve en iyi çözümün pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak çözüm olduğu temel kavramı nedeniyle oldukça saygın, uygulanan ve benimsenen bir ÇKKA yöntemidir.

TOPSIS yönteminin amacı, bir dizi alternatifin A_i , $i = 1, 2, \dots, I$ birden fazla kritere C_j , $j = 1, 2, \dots, J$ göre değerlendirilmesi ve sıralanmasıdır. Alternatifler, karar vericinin sıralaması gereken seçeneklerdir; kriterler ise bu sıralamayı etkileyen faktörlerdir.

Her kriterin göreceli önemini gösteren bir ağırlık W_j bulunur ve bu ağırlıklar bir vektör olarak ifade edilir:

$$W = W_j \quad (3.7)$$

Alternatiflerin kriterlere göre performansı X_{ij} ile gösterilir ve karar matrisi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1J} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{I1} & x_{IJ} & \dots & x_{IJ} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Verilen karar matrisi X ve ağırlık vektörü W ile ÇKKA problemi şu şekilde tanımlanır:

$$Q = \{X, W\} \quad (3.9)$$

TOPSIS, genellikle normalizasyon ve ağırlıklı toplam iki temel adıma ihtiyaç duyar.

TOPSIS, en uygun alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak olan seçenek olduğu düşüncesine dayanır.

Adım 1: Normalize edilmiş performans değerlerinin hesaplanması

Her bir değer kendi normuna bölünerek normalize edilir:

$$y_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^I x_{ij}^2} \quad (3.10)$$

Normalize edilmiş değerler Y matrisiyle ifade edilir.

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1J} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{I1} & y_{IJ} & \dots & y_{IJ} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Adım 2: Ağırlıkların entegre edilmesi

Ağırlıklı normalize edilmiş değerler şu şekilde hesaplanır:

$$v_{ij} = W_j * y_{ij}; (i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.12)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1J} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{I1} & v_{IJ} & \dots & v_{IJ} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Bu değerlerle V matrisi oluşturulur.

Adım 3: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

Pozitif ve negative ideal çözüm:

$$A^* = [v_1^*, v_2^*, \dots, v_J^*] \quad (3.14)$$

$$A^- = [v_1^-, v_2^-, \dots, v_J^-] \quad (3.15)$$

$$v_j^* = \begin{cases} \max, v_{ij}, & \text{eğer } j \text{ bir fayda niteliği ise} \\ \min, v_{ij}, & \text{eğer } j \text{ bir maliyet niteliği ise} \end{cases}$$

$$v_j^- = \begin{cases} \min, v_{ij}, & \text{eğer } j \text{ bir fayda niteliği ise} \\ \max, v_{ij}, & \text{eğer } j \text{ bir maliyet niteliği ise} \end{cases}$$

Adım 4: Ayrım ölçülerinin hesaplanması

Öklid uzaklığı kullanılır:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^J (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^J (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.17)$$

Adım 5: Tercih (yakınlık) indeksinin hesaplanması

$$V_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (3.18)$$

Alternatifler V_i değeri yüksekten düşüğe sıralanır.

3.4.1.4 Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (VIKOR)

Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (VIKOR) yöntemi, 1998 yılında Opricovic tarafından ortaya atılmıştır (Alinezhad ve Khalili, 2019). ÇKKA tekniklerinden biri olup alternatiflerin çatışan kriterlere göre tanımlanan ayırık karar verme problemlerinin çözümünde geliştirilmiştir. VIKOR, karar vericilerin nihai bir sonuca ulaşmasına yardımcı olmak için alternatiflerin sıralanmasına ve seçilmesine, ayrıca çatışan kriterler arasında bir uzlaşık çözümün tanımlanmasına odaklanır. Bu uzlaşık sıralama, uzlaşık programlamada bir toplulaştırma fonksiyonu olarak kullanılan LP-metriginden türetilir.

Adım 1: Kriterlerin ve alternatiflerin tanımlanması

ÇKKA problemi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

	C_1	C_2	$\dots$	C_n	
A_1	f_{11}	f_{12}	$\dots$	f_{1n}	
A_2	f_{21}	f_{22}	$\dots$	f_{2n}	
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	
A_m	f_{m1}	f_{m2}	$\dots$	f_{mn}	

$$(3.19)$$

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (3.20)$$

Burada $A_1, A_2, \dots, A_m$ karar vericinin seçim yapması gereken alternatifleri, $C_1, C_2, \dots, C_n$ her alternatifin performansının değerlendirildiği kriterleri temsil eder. f_{ij} , A_i 'nin C_j 'ye göre performans değeridir.

W_i ise C_j 'nin ağırlığını ifade eder.

Adım 2: Tüm kriterler için en iyi f_j^* ve en kötü f_j^- değerlerin belirlenmesi

Eğer j_{th} kriter bir fayda fonksiyonu ise:

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, f_j^- = \min_i f_{ij} \quad (3.21)$$

Adım 3: S ve R değerlerinin hesaplanması için aşağıdaki denklemler kullanılır:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-), \quad (3.22)$$

$$R_i = \max_j w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-), \quad (3.23)$$

Burada W_j , kriterlerin göreceli önemini gösteren ağırlıklardır.

Adım 4: Q değerlerinin hesaplanması

$$Q_i = v(S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v)(R_i - R^*) / (R^- - R^*) \quad (3.24)$$

Burada:

$$S^* = \min_i S_i, \quad S^- = \max_i S_i, \quad (3.25)$$

$$R^* = \min_i R_i, \quad R^- = \max_i R_i, \quad (3.26)$$

V kriterlerin çoğunluk stratejisini temsil eden ağırlıktır. Genellikle $v=0.5$ olarak kabul edilir.

Adım 5: Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler S, R ve Q değerlerine göre artan sırada sıralanır. Böylece üç farklı sıralama elde edilir.

Adım 6: Uzlaşık çözümün önerilmesi

Q değerine göre en iyi sırada yer alan alternatif A'' uzlaşık çözüm olarak önerilir; ancak aşağıdaki iki koşul sağlandığında:

Koşul 1: Kabul edilebilir üstünlük

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ \quad (3.27)$$

Burada A'' , Q sıralamasındaki ikinci alternatiftir; $DQ = 1/(m - 1)$; m toplam alternatif sayısıdır.

Koşul 2: Karar verme sürecinde kabul edilebilir kararlılık

Alternatif A, S veya R değerlerinden en az birinde de en iyi sırada olmalıdır.

Bu uzlaşık çözüm aşağıdaki karar verme yaklaşımları altında kararlıdır:

- Çoğunluk oylaması ($v > 0.5$)
- Uzlaşık yaklaşımı ($v = 0.5$)
- Veto yaklaşımı ($v < 0.5$)

3.4.2 Havzanın Hidrolojik Karakterizasyonu

Chak-Logar akarsu havzası için CBS ortamında Arc Hydro Tools kullanılarak alt havzaların karakterizasyonu elde edilmiştir. Alt havzaları ve onların karakterizasyonu elde etmek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır:

- DEM Manipulations (SYM Manipülasyonları) → Fill sinks (Boşlukların doldurulması)
- Flow direction (Akış yönü)
- Flow accumulation (Akış birikimi)
- Stream definition (Nehir tanımı)
- Stream segmentation (Nehir segmentasyonu)
- Catchment grid delineation (Havza ızgara tanımlaması)
- Catchment polygon processing (Havza poligon işleme)
- Drainage line processing (Drenaj hattı işleme)
- Adjoint catchment processing (Ortak havza işleme)

3.4.2.1 Loss Model (Kayıp Modeli)

Loss model ile potansiyel maksimum tutma, durdurulan, sızan, depolanan, buharlaştırılan veya ortaya çıkan su hacmini hesaplayarak kayıp olandan çıkararak akış hacmini hesaplanmıştır. Belirli bir yağıştan doğrudan yüzey akışını tahmin etmek için bu çalışmada Toprak Koruma Hizmeti Eğri Numarası (SCS-CN) Loss model yöntemi seçilmiştir (Hawkins ve diğ., 2008). Bu yöntemin, doğrudan akış tahmini için basitlik gibi diğer yöntemlere göre bazı avantajları vardır ve model saha verileriyle iyi bir şekilde desteklenir. Model yalnızca hidrolojik toprak türü, arazi kullanımı ve arazi örtüsü kullanılarak oluşturulabilen eğri numarasına (CN) dayanmaktadır. Bununla birlikte, SCS-CN yönteminin kullanımında yağış yoğunluğu ve zamansal değişim ile ortalama zemin eğimini kapsamaması gibi bazı dezavantajlar vardır (Mockus, 1949). Bu tür sorunlara rağmen, model çeşitli ortamlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer çoğu ampirik ve sabit kayıp oranı yöntemlerinden daha iyi sonuçlar vermektedir (Sardoi ve diğ., 2012). Loss model yönteminde aşağıdaki denklemler 3.28 ve 3.29 kullanılmıştır:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3.28)$$

$$S = 25400 - \frac{254 \times CN}{CN} \quad (3.29)$$

Q: t zamanında biriken yağış fazlası/akış (mm),

P: t zamanında biriken yağış miktarı (mm),

Ia: ilk kayıp (mm), Ia=0.2S

S: potansiyel maksimum tutma (mm).

3.4.2.2 Eğri Numarası Hesaplama

Eğri Numarası (CN) arazi kullanımı, hidrolojik toprak tipi ve havzanın geçirimsiz örtü yüzdesi kullanılarak hesaplanmıştır. CN hesaplaması için ana girdiler şunlardır: (arazi kullanımı, toprak türü ve havza) poligonları ve bir başvuru tablosu (CNlookupTable).

Çizelge 3.13. Hidrolojik toprak gruplarının (HSG) geliştirilmesinde kullanılan sınıflandırma şeması
USDA (2009); Ross ve diğ. (2018) den uyarlanmıştır

Hidrolojik toprak grubu	Toprak dokusu sınıfı	Akış potansiyeli	Piksel değerleri	Açıklama
A	Kum	Düşük	1	Düşük akış potansiyeli (>%90 kum ve <%10 kil)
B	Kumlu tın, tınlı kum	Orta derecede düşük	2	Orta derecede düşük akış potansiyeli (%50-90 kum ve %10-20 kil)
C	Killi tın, Siltli kil tın, Kumlu kil tın, Tın, Siltli tın, Silt	Orta derecede yüksek	3	Orta derecede yüksek akış potansiyeli (<%50 kum ve %20-40 kil)
D	Kil, Siltli kil, Kumlu kil	Yüksek	4	Yüksek akış potansiyeli (<%50 kum ve >%40 kil)
A/D	Kum	Yüksek	11	Drenaj yapılmadığı takdirde yüksek akış potansiyeli (>%90 kum ve <%10 kil)
B/D	Kumlu tın, tınlı kum	Yüksek	12	Drenaj yapılmadığı takdirde yüksek akış potansiyeli (kum %50-90 ve kil %10-20)
C/D	Killi tın, Siltli kil tın, Kumlu kil tın, Tın, Siltli tın, Silt	Yüksek	13	Drenaj yapılmadığı takdirde yüksek akış potansiyeli (<%50 kum ve %20-40 kil)
D/D	Kil, Siltli kil, Kumlu kil	Yüksek	14	Drenaj yapılmadığı takdirde yüksek akış potansiyeli (<%50 kum ve >%40 kil)

CN değerleri elde etmek için eğri numarasına dayalı akış modellemesi için Küresel Hidrolojik Toprak Grupları (HYSOGs250m) kullanılmıştır (Ross ve diğ., 2018). ABD toprak koruma ajansı A, B, C ve D olmak üzere dört ana hidrolojik toprak grubu önermiştir. Toprak grupları, akış/sızma potansiyeline göre sınıflandırılır, burada A en

düşük akışa ve en yüksek sızma potansiyeline sahip olup D ise en yüksek akış ve en düşük sızma potansiyeline sahiptir (NRCS, 2003). CBS ortamında şekil dosyaları (shape files) ve CN tarama çizelgesi (CNlookupTable) CN hesaplaması için kullanılabilir. Her bir alt havza için bir CN, arazi kullanımı ve hidrolojik toprak gruplarının yüzdesi gibi ana veriler kullanılarak tahmin edilebilir. Toplu havza modeli için bir bileşik CN değerleri hesaplanmıştır.

Hidrolojik toprak gruplarının (HSG) geliştirilmesinde kullanılan sınıflandırma şeması Çizelge 3.13'te verilmiştir. Hidrolojik toprak grupları A, B, C, D ve bu grupların kombinasyonu olarak sunulmuştur. Bunun yanı sıra her hidrolojik toprak grubu için toprak dokusu sınıfı, akış potansiyeli ve toprak gruplarının kum kil içeriği sunulmuştur.

Kurak ve yarı kurak meralar için akış eğrisi değerleri Çizelge 3.14'te verilmiştir. Çalışma alanının arazi örtüsü % 87 mera olduğu için hidrolojik koşul olarak iyi koşul ele alınmıştır. Buna göre çalışma alanında hidrolojik toprak grupları için CN değerleri B, C ve D için sırasıyla 62,74 ve 85 elde edilmiştir. Geri kalan B/D ve C/D kompozit hidrolojik toprak gruplarının CN değerleri ilgili sınıfların ortalaması ile elde edilmiştir.

Çizelge 3.14. Kurak ve yarı kurak meralar için akış eğrisi sayıları (HEC-HMS, 2001)

Arazi örtü açıklaması		Hidrolojik toprak grubu için eğri numaraları			
Arazi Örtü tipi	Hidrolojik Koşullar	A	B	C	D
Otsu örtü – ağırlıklı olarak çimen, yabani otlar ve kısa boylu çalılardan oluşan bir bitki örtüsü; çalılar bu karışımda daha az yer tutar.	Zayıf		80	87	93
	Orta		71	81	89
	İyi		62	74	85

Zayıf: <%30 toprak örtüsü (çimen ve mera/çalı örtüsü); **Orta:** %30 ila %70 toprak örtüsü; **İyi:** >%70 toprak örtüsü.

3.4.3. Modelin Doğrulanması

CBS ve AHP tabanlı su hasadı uygunluk modellerinde elde edilen sonuçların güvenilirliğini sağlamak için modelin çok yönlü doğrulama süreçlerinden geçirilmesi gereklidir. Bu çalışmada, geliştirilen modelin istatistiksel, mekânsal ve kriter tabanlı doğruluğunu değerlendirmek amacıyla birden fazla yöntem birlikte kullanılmıştır. Böylece modelin hem sınıflandırma başarısı hem de saha verileriyle uyumu bilimsel olarak sınanmıştır.

Bu kapsamda dört tamamlayıcı doğrulama yöntemi uygulanmıştır. Bunlar alıcı operatör karakteristiği (AOK)–eğrinin altındaki alan (EAA) analizi, karışıklık matrisi–kappa istatistiği, başarı oranı eğrisi analizi, frekans oranı analizi içermektedir.

3.4.3.1. Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK)–Eğrinin Altındaki Alan (EAA)

Analizi

AOK–EAA yöntemi, modelin sınıflandırma performansını ölçen en yaygın istatistiksel doğrulama aracıdır. Bu analiz, model tarafından uygun olarak tahmin edilen alanlar ile gerçek saha verileri örneğin mevcut su hasadı yapıları, kontrol barajları veya drenaj noktaları arasındaki örtüşmeyi değerlendirir. Doğru pozitif (True Positive), yanlış pozitif (False Positive), doğru negatif (True Negative) ve yanlış negatif (False Negative) oranları hesaplanarak ROC eğrisi oluşturulur. Eğrinin altında kalan alan (EAA), modelin rastlantısal tahmine kıyasla doğru sınıflandırma gücünü ifade eder. Bu yöntem, çevresel modelleme ve su hasadı uygunluk çalışmalarında doğruluk değerlendirmesi için sıklıkla kullanılmaktadır (Yesilnacar, 2005; Pradhan, 2010; Rahmati ve diğ., 2016; Rahmati ve diğ., 2019; Ettazarini, 2021; Manaouch ve diğ., 2021).

3.4.3.2. Karışıklık Matrisi ve Kappa İstatistiği

Karışıklık matrisi, modelin tahmin ettiği sınıflarla gözlenen saha verileri arasındaki uyumu değerlendirmek için kullanılan klasik doğrulama aracıdır. Bu matris, modelin her bir sınıfta, örneğin uygun ve uygun olmayan yaptığı doğru ve yanlış tahmin sayısını gösterir.

Matris üzerinden toplam doğruluk ve kappa katsayısı (κ) hesaplanır. Kappa katsayısı, modelin rastlantısal doğru tahmin etme olasılığını ortadan kaldırarak gerçek sınıflandırma gücünü ortaya koyar (Cohen, 1960; Congalton ve Green, 2019).

Bu yöntem, su hasadı, toprak kayması duyarlılığı ve arazi uygunluğu analizlerinde model güvenilirliğinin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Pourghasemi ve diğ., 2012).

3.4.3.3. Başarı Oranı Eğrisi (Success Rate Curve) Analizi

Başarı oranı eğrisi, modelin tahmin ettiği uygunluk değerleri ile gerçek doğruluk noktalarının mekânsal dağılımı arasındaki ilişkiyi analiz eder.

Bu yöntemde, modeldeki uygunluk yüzdesi kümülatif olarak sıralanır ve doğruluk noktalarının bu alanlardaki yoğunluğu belirlenir. Elde edilen eğrinin referans çizgisine göre konumu, modelin rastlantısal tahminden ne kadar sapma gösterdiğini ortaya koyar.

Başarı oranı eğrisi, özellikle mekânsal modelleme ve hidrolojik tahmin çalışmalarında AOK–EAA analizini tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Chung ve Fabbri, 2003; Lee, 2005).

3.4.3.4. Frekans Oranı (Frequency Ratio) Analizi

Frekans oranı analizi, modelde kullanılan kriterlerin saha verileri ile olan ilişkisini ölçmek için kullanılan basit ama güçlü bir istatistiksel yöntemdir.

Her kriter sınıfında yer alan doğruluk noktalarının oranı, aynı sınıfın toplam alan içindeki oranına bölünerek frekans oranı (FR) hesaplanır. FR değeri 1’den büyükse, o kriter sınıfının su hasadı yapılarının yoğunlaştığı ve dolayısıyla modelde etkili bir faktör olduğu kabul edilir. Bu yöntem, özellikle ÇKKA tabanlı modellerin ağırlık katsayılarının sahadaki gerçeklerle tutarlılığını sınamak için kullanılmaktadır (Bonham-Carter, 1994; Rahmati ve diğ., 2016).

3.4.4 Kamu Algısı ve Su Hasadını Benimseme İstekliliği İçin Uygulanan Anket Metodolojisi

Chak-Logar Akarsu Havzası’nda su hasadına yönelik kamu algısı, bilgi düzeyi ve benimseme istekliliğini değerlendirmek amacıyla nicel temelli bir anket çalışması yürütülmüştür. Anket, sistematik biçimde hazırlanmış olup olasılık, matris, kapalı uçlu ve açık uçlu sorulardan oluşmuştur. Çalışmada, havzada yaşayan 104 yüksek eğitimli katılımcı amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilmiştir. Anket dört ana tema altında yapılandırılmıştır: (1) mevcut su kaynaklarının durumu, (2) halkın su hasadı konusundaki bilgi düzeyi, (3) su hasadı uygulamalarını benimseme istekliliği, (4) su hasadının kuraklık ve sel azaltımındaki rolüne ilişkin görüşler. Veriler çevrimiçi yöntemle toplanmış, eksik veriler kontrol edilerek temizlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, tanımlayıcı istatistikler; yüzdelik dağılımlar ve frekans analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Açık uçlu sorular tematik analiz yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Bu yöntem, katılımcı görüşlerini sistematik biçimde kategorize ederek su hasadının benimsenmesini etkileyen temel faktörlerin belirlenmesini sağlamıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Su hasadı yer seçimi için 16 biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterler kullanılmıştır. Bunlarda 10 biyofiziksel kriterler litoloji, eğim, Topoğrafik Islaklık İndeksi (TII), topoğrafik eğrilik, drenaj yoğunluğu, arazi kullanımı/örtüsü, yağış, jeomorfoloji, zemin yapısı ve toprak dokusu yer almaktadır. Bunun yanı sıra 6 sosyoekonomik kriterler karez sistemine, tarım alanlarına, yerleşimlere, yollara, jeolojik fay hatlarına yakınlık ve çeşmelere yakınlık dikkate alınmıştır (EK-1). Su hasadı uygunluk alanlarının belirlenmesinde kullanılan kriterlerin sınıfı, su hasadı uygunluk bakımından derecelendirilmesi, uygunluk sınıfları, her sınıfa ait piksel sayısı, sınıfların kapladığı alan ve yüzdesi EK-1’de verilmiştir. Bu kriterlerin su hasadı için önemi aşağıdaki detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1 Litoloji

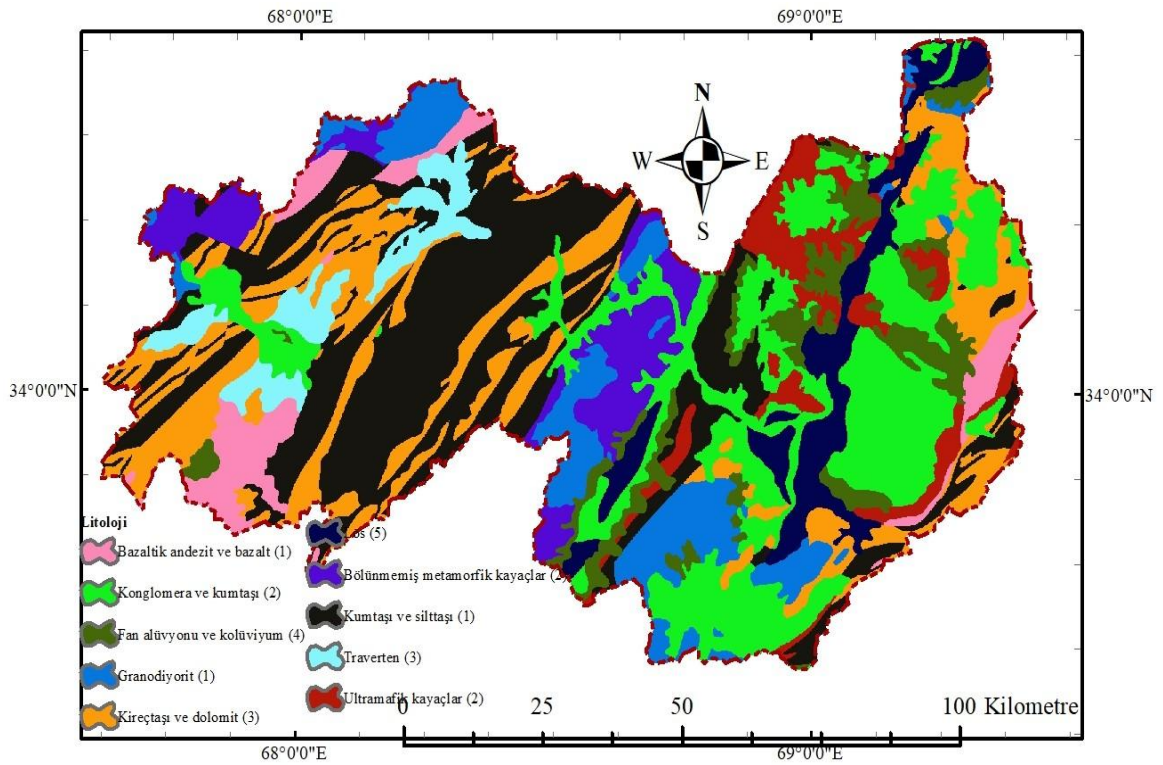
Bir alanın litolojisi, yüzeysel ve yeraltı suyunun kalitesi ve miktarı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Ghorbani Nejad ve diğ., 2017). Farklı litoloji sınıfı içerisinde fan alüvyon ve kolüvyon, konglomera ve kumtaşı, kireçtaşı ve dolomit ile kum yeraltı suyu potansiyeli açısından en elverişli olanlar olarak değerlendirilmektedir. Bazalt, Volkanik ve tortul kayalar, bazalt ve andezit, riolit ve andezit kayaları da yeraltı suyu beslenme potansiyeli açısından elverişli bölgelerdir (Tani ve Tayfur, 2021). Litolojinin geri kalan sınıfları ise düşük geçirgenlik ve daha az sızma özelliği nedeniyle yüzey suyu depolama potansiyelinin yüksek olması nedeniyle yeraltı suyu potansiyeli oluşumu için elverişsiz bölgeler olarak kabul edilir. Çizelge 4.1’de Chak-Logar Akarsu Havzası’nın litolojinin özet tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.1. Chak-Logar Akarsu Havzası’nın litolojinin özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Litoloji	Kumtaşı ve silttaşı/bazaltik andezit ve bazalt / granodiyorit	1	Çok Düşük	4070515	3663,46	36,79
	Konglomera ve kumtaşı / bölünmemiş metamorfik kayalar/ultramafik kayalar	2	Düşük	3420782	3078,70	30,92
	Kireçtaşı ve dolomit / Traverten	3	Orta	2200387	1980,35	19,89
	Fan alüvyonu ve kolüvyum	4	Yüksek	720309	648,28	6,51
	Lös	5	Çok yüksek	652594	587,33	5,90

Çalışma alanı büyük çoğunlukta %68 civarında kumtaşı/silttaşı, bazaltik andezit/bazalt ve granodiyorit konglomera, kumtaşı/bölünmemiş metamorfik, kayalar ve ultramafik kayalar ile örtülmüştür. Su hasadı için bu litojinin uygunluğu düşüktür.

Kireçtaşı, dolomit ve traverten çalışma alanının %20 civarında kaplamaktadır, bu alanlar su hasadı için orta derecede uygun sayılır. Fan alüvyonu, kolüvyum ve lös (çalışma alanının %12'si) ise su hasadı için yüksek uygunluğa sahip alanlar olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1; Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın litolojisi

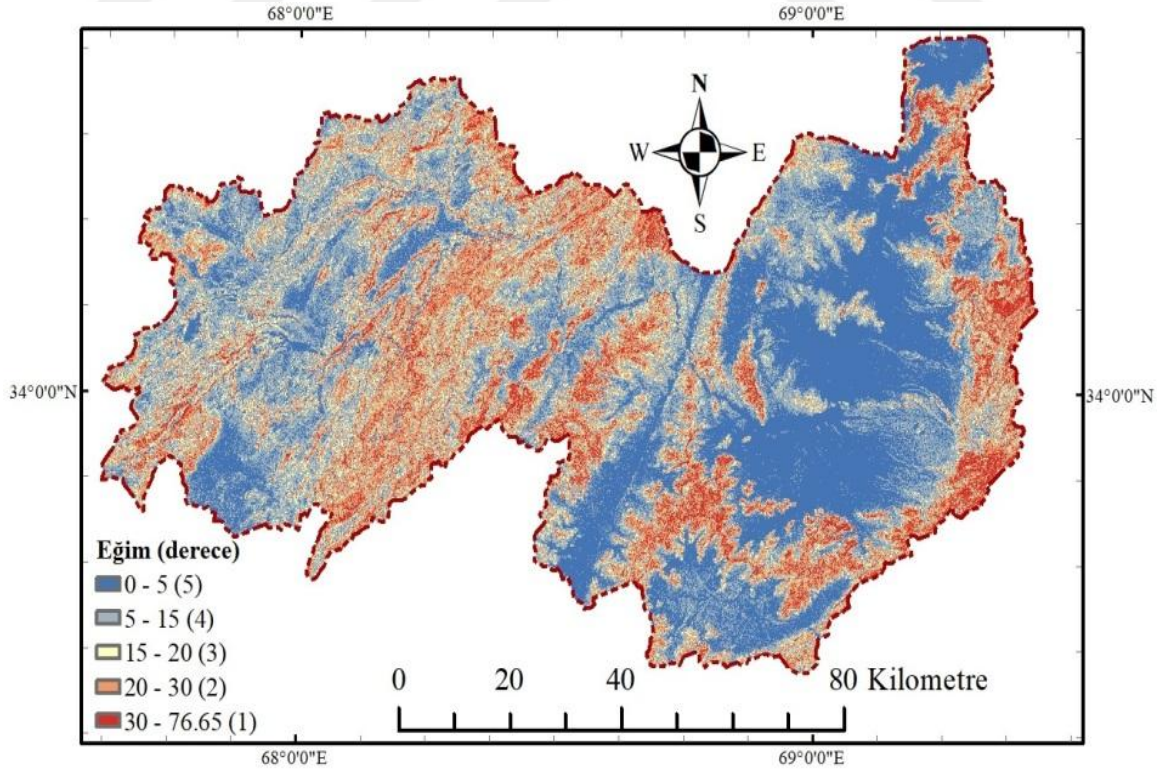
4.2 Eğim

Herhangi bir bölgedeki topoğrafik eğimler, yüzey akışını, beslenmeyi ve su hareketini etkilemede belirli bir öneme sahiptir. Eğimin şekli, akış ve sızmayı doğrudan etkiler. Eğimin dikliği havzanın sızma hızını, hacmini, akış hızını ve yönünü etkiler (Chaplot ve Le Bissonnais, 2003). Daha büyük eğimler daha küçük bir besleme yaratır, çünkü yağış sırasında su dik bir eğimin yüzeyinden hızla akar ve doymuş bölgeyi beslemek için yeterli zamana sahip olmaz (Yeh ve diğ., 2009). Dik yamaçlı alanlarda akış hızı ve sedimantasyon hızı daha yüksektir, bu nedenle bu alanlarda inşa edilen su hasadı yapıları hasar görmektedir (Nyssen ve diğ., 2004). SH yapılarının uygulanması, eğimin

keskin olduğu bölgelerde pek uygun değildir. Buna karşılık, bu tür topoğrafik özellikler için kontur bent ve nala bent yapı çeşitleri daha uygun olacaktır. Orta derecede dik yamaçlara sahip bölgeler için dere tıkaçları ve teraslama uygun yapılardır (Ammar ve diğ., 2016; Toosi ve diğ., 2020). Çiftlik göletleri ve kontrol barajları gibi yapılar, uzun süre su tutabilme kapasiteleri nedeniyle hafif ve orta dik eğimli alanlar için uygundur. Yeraltı suyu beslenmesi açısından, düz araziye sahip alanlar, önemli ölçüde daha yüksek sızma ile çok iyi olarak sınıflandırılırken, hafif eğimli alanlarda ise biraz engebeli arazi ile akış vardır, bu nedenle yeraltı suyu depolaması için iyi olarak kabul edilir. Olası yeraltı suyu bölgeleri açısından, daha dik eğime sahip bölgeler, yüksek akış ve düşük sızma oluşumu nedeniyle zayıf olarak sınıflandırılır.

Çizelge 4.2.Chak-Logar Akarsu Havzası'nın eğimin özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Eğim (derece)	0 - 5	5	Çok yüksek	3292103	2962,9	29,81
	5 - 15	4	Yüksek	3603140	3242,8	32,63
	15 - 20	3	Orta	1340008	1206,0	12,13
	20 - 30	2	Düşük	1971625	1774,5	17,85
	30 - 76,65	1	Çok düşük	835772	752,2	7,57



Şekil 4.2. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın eğimi (derece)

Çalışma alanında 0-5 ve 5-10 derece eğimli bölgeler su hasadı için sırasıyla çok yüksek ve yüksek uygun bölgeler olarak belirlenmiştir. Yüksek uygunluğu olan bölgeler %62 civarında alan kaplamaktadır. Orta derecede uygunluğu olan bölgeler 15-20 derece eğime sahip olup çalışma alanının %12 civarında bölge kaplamaktadır. Düşük ve çok düşük derecede uygunluğu olan bölgeler sırasıyla 20-30 ve 30-77 derece eğime sahip olup bölgenin sırasıyla %18 ve %8 civarında alanı kaplamaktadır (Çizelge 4.2; Şekil 4.2).

4.3 Topoğrafik Islaklık İndeksi (TII/TWI)

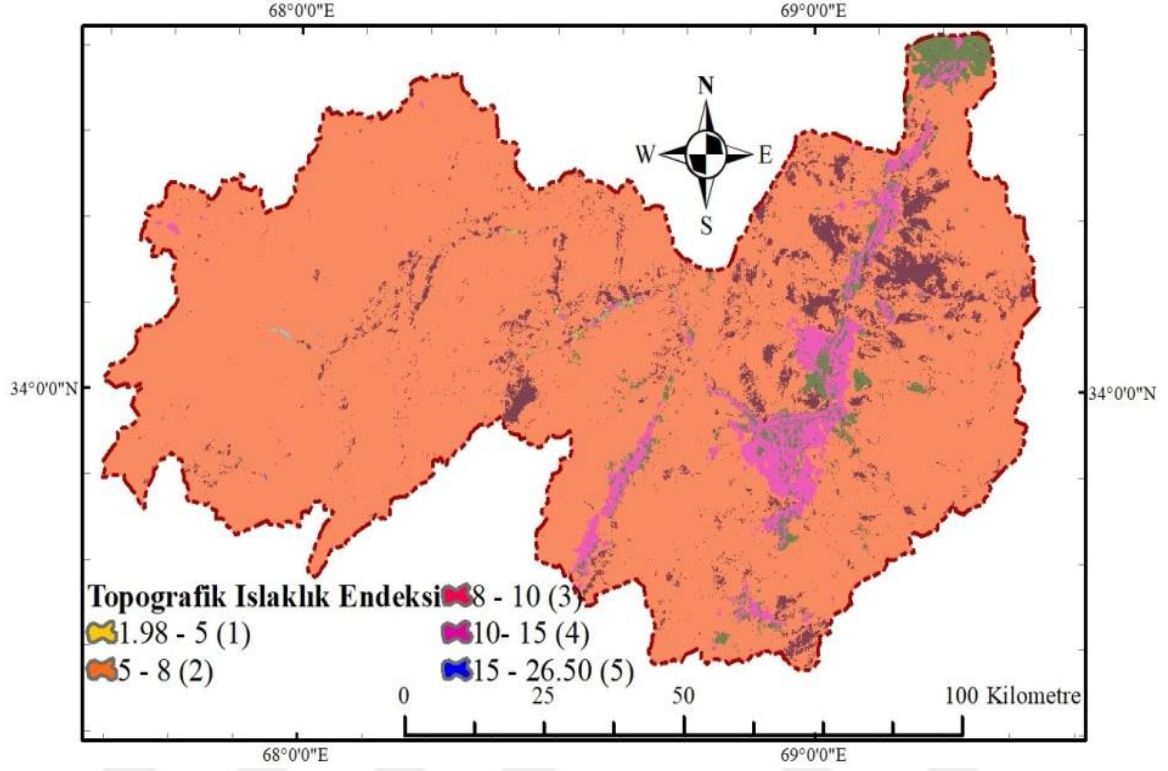
Topoğrafik Islaklık İndeksi (TII), herhangi bir bölgedeki hidrolojik süreçlerin yerel düzeydeki mekânsal ölçek etkisini göstermek amacıyla kullanılmaktadır (Beven ve Kirkby, 1979). TII sayesinde, topografyanın kontrol ettiği eğimli arazilerdeki su hareketi anlaşılabilir. Bu durum, yüzey akışının oluşumunu da etkilemektedir. Dolayısıyla, yüksek TII değerlerine sahip bölgeler aynı zamanda yüksek yüzeysel nemliliği ifade etmektedir.

Çizelge 4.3. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın topoğrafik ıslaklık indeksinin özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Topoğrafik Islaklık İndeksi (TII)	1,98 - 5	1	Çok düşük	1956102	1760,5	17,71
	5 - 8	2	Düşük	7081823	6373,6	64,13
	8 - 10	3	Orta	1099872	989,9	9,96
	10 - 15	4	Yüksek	790206	711,2	7,16
	15 - 26,50	5	Çok yüksek	114645	103,2	1,04

Chak-Logar havzasındaki TII değerleri beş sınıfa ayrılmıştır: çok yüksek (15 - 26.50), yüksek (10 - 15), orta (8 - 10), düşük (5 - 8) ve çok düşük (1.98 - 5) (Şekil 4.3; Çizelge 4.3). Havzanın büyük bir kısmı (%64.13) düşük TII değerlerine sahiptir ve bu alanlar sürdürülebilir su hasadı uygulamaları için uygun değildir. Bu bölgeler, dikten orta eğime kadar değişen eğimlere sahiptir ve yüzeyler görece kurudur; su, daha az eğimli alanlara doğru kolaylıkla akarak uzaklaşmaktadır. Çalışma alanın su hasadı uygunluğu bakımından %18 civarında çok düşük olarak belirlenmiştir. Uygunluğu orta derecede olan bölge ise %10 civarında alan kaplamaktadır. Bu tür alanlar için, dere setleri (gully plugs) ve nala bendleri (nala bundh) gibi yapılar genellikle uygun çözümler olarak önerilmektedir (Bera ve Mukhopadhyay, 2023). Çalışma alanın sırasıyla %7 ve %1 civarında topoğrafik ıslaklık indeksi bakımından su hasadı için yüksek ve çok yüksek bölgeler olarak belirlenmiştir. Genellikle, bu yüksek TII değerleri akarsu hatları boyunca

gözlemlenmektedir. Bu bölgeler su birikimi eğilimi gösterdiğinden, su mevcudiyeti yüksektir ve dolayısıyla su hasadı yapılarının inşası açısından uygun alanlar olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.3. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın Topoğrafik Islaklık İndeksi (Tİİ)

4.4 Topoğrafik Eğrilik

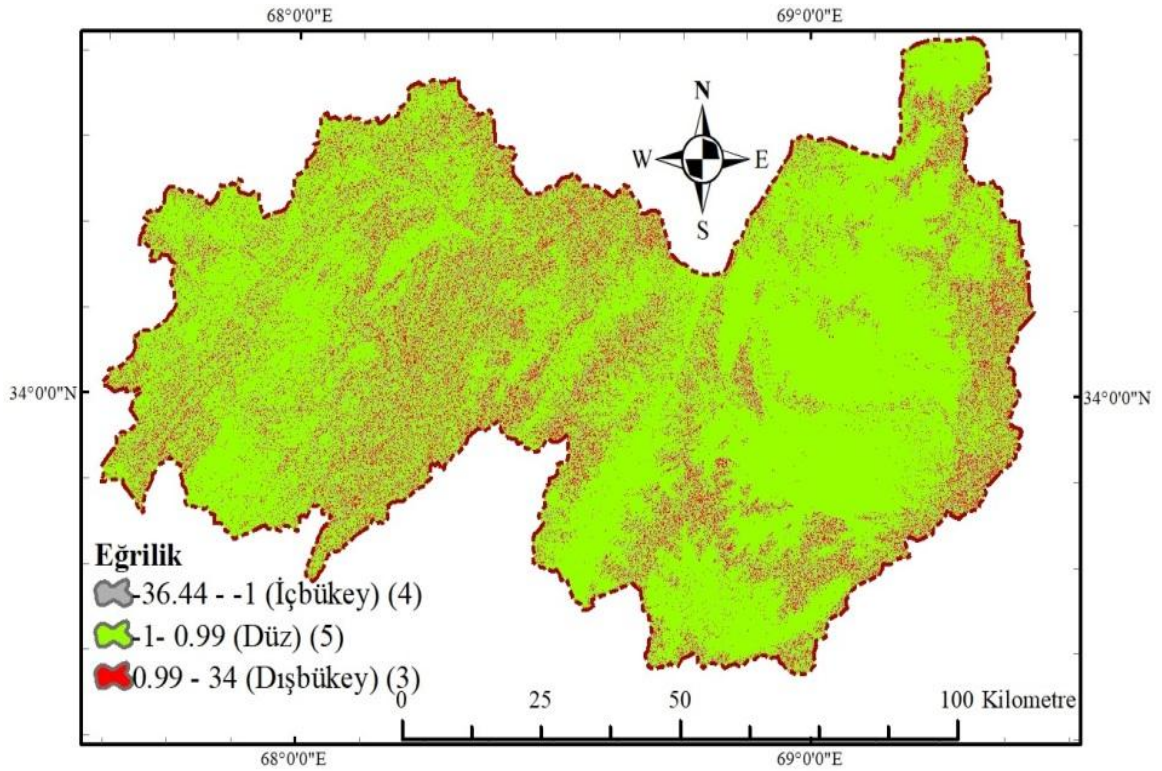
Eğrilik (curvature) haritaları, çalışma alanının yüzeyinin dışbükeylik (konveks) ve içbükeylik (konkav) özelliklerini anlamak amacıyla kullanılmaktadır. Eğrilik değeri pozitif olduğunda yüzeyin dışbükey, negatif olduğunda ise içbükey olduğu anlaşılır; değerlerin sıfıra yaklaşması ise yüzeyin düz olduğunu ifade eder.

Çizelge 4.4. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın topoğrafik eğriliğinin özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Topoğrafik Eğrilik	Dışbükey (pozitif) (0,99 – 34)	3	Orta	1236470	1112,8	11,18
	İçbükey (negatif) (-36,44 – -1)	4	Yüksek	1213412	1092,1	10,97
	Düz (sıfıra yakın) (-1 – 0,99)	5	Çok yüksek	8614405	7753,0	77,86

Chak-Logar havzasına ait eğrilik haritası üç sınıfa ayrılmıştır: dışbükey (0.99 – 34), içbükey (-36.4 – -1) ve düz (-1 – 0.99) (Çizelge 4.4; Şekil 4.4). Havzanın büyük bir

bölümü (%77.86) düz yüzey eğriliğine sahiptir ve bu alanlar, su hasadı yapılarının geliştirilmesi açısından uygun alanlar olarak değerlendirilmektedir. Havzanın %10.97'sinde içbükey eğrilik gözlemlenmiştir; bu alanlar, topoğrafyanın içbükey eğimli yapısı sayesinde suyun birikmesi ve tutulması açısından elverişli olduğundan, su hasadı yapıları için uygun kabul edilmektedir. Dışbükey yüzeyler (%11.18) ise yüzey akışıyla suyu uzaklaştırmakta ve bu suyu başka alanlara taşımaktadır; bu nedenle söz konusu alanlar yüzeysel su hasadı uygulamaları için uygun değildir.



Şekil 4.4. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın topoğrafik eğriliği

4.5 Drenaj Yoğunluğu

Düşük drenaj yoğunluğuna sahip alanlarda genellikle daha düşük akış görülürken, daha yüksek drenaj yoğunluğuna sahip alanlarda daha yüksek akış gözlemlenmektedir (Bera ve diğ., 2020). Yüksek ve çok yüksek drenaj yoğunluğuna sahip alanlar, yüzey akışından gelen suyun SH yapıları yardımıyla hızlı bir şekilde depolanabilmesi nedeniyle su hasadı yapıları için uygun kabul edilir. Bu bölgelerde kontrol barajlarının uygulanması, önemli miktarda suyu etkili bir şekilde depolama potansiyeline sahiptir. Ancak drenaj yoğunluğunun düşük ve çok düşük olduğu alanlar için yeraltı suyu beslemesine dayalı su hasadı yapıları uygundur (Bera ve Mukhopadhyay, 2023).

Drenaj desenleri Dünya kabuğunun evrimsel tarihini temsil eder. Yüzey ve yeraltı oluşumu hakkında bilgi sağlayabilir, örneğin dendritik drenaj baskın olarak homojen kayalar gösterir, dikdörtgen ve paralel drenaj desenleri yapısal ve litolojik kontrolü gösterir (Roy ve diğ., 2020). Drenaj ağı, temel olarak alttaki litoloji tarafından belirlendiği için su geçirgenliğinin önemli bir göstergesidir (Shaban ve diğ., 2005). Drenaj yoğunluğu ve çizgiselliklerin, fayların, yarıkların, büyük ve küçük eklemlerin varlığı, yeraltı suyunun yeniden beslenmesi ve hareketi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve ayrıca büyük hidrolik öneme sahip olan yüksek yeraltı suyu hareket yolları sağlayabilir (Deepa ve diğ., 2016). Drenaj yoğunluğu kanal aralıklarının yakınlığını ve yüzey özelliklerini yansıtır. Akış, sızma, kalma ve geçirgenlik ile ilgili bilgiler drenaj yoğunluğu ve drenaj tipinin değerlendirilmesiyle elde edilebilir. Bir alandaki drenaj sistemi, taban kayasının doğasına ve yapısına, bitki örtüsünün türüne, toprağın yağışı emme yeteneğine, sızmaya ve eğime bağlıdır. Düşük drenaj yoğunluğuna sahip alanlarda daha fazla sızma ve daha az yüzeysel akış vardır. Bu, düşük drenaj yoğunluğuna sahip alanların yeraltı suyunun gelişimi için ideal olduğu anlamına gelir (Rahmati ve diğ., 2015). Öte yandan yüksek drenaj yoğunluğuna sahip alanlarda daha az sızma ve daha fazla yüzeysel akış vardır. Buna göre daha yüksek drenaj yoğunluğuna sahip alanlar yüzeysel su hasadı için daha uygun anlamına gelmektedir. İncelenen havza alanının büyüklüğüne göre nehirlerin toplam uzunluğunun oranı olarak tanımlanan yüzey drenaj yoğunluğu (DY), aşağıdaki şekilde hesaplanır:

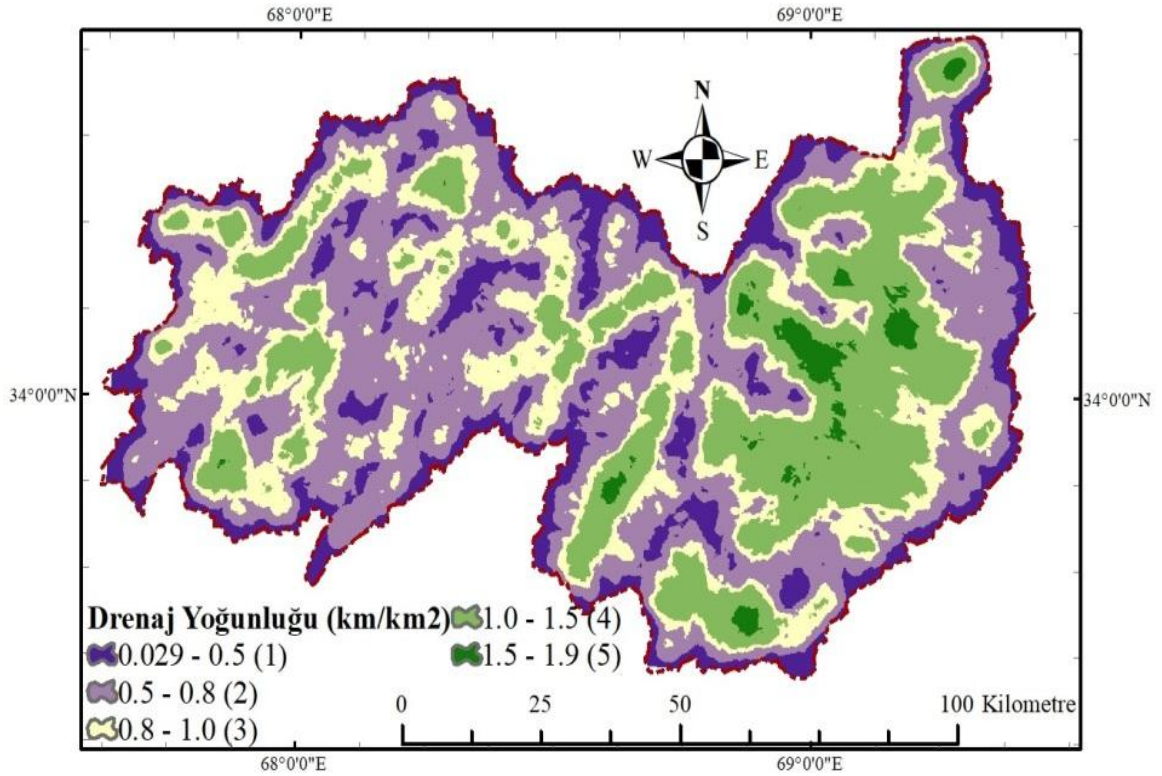
$$DY = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Di}{A} \quad (4.1)$$

Burada $\sum Di$, ağındaki tüm nehirlerin uzunluğunu (km) ve A, sahanın alanını (km²) göstermektedir.

Çizelge 4.5. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın drenaj yoğunluğunun özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Drenaj yoğunluğu (km/km²)	0,029 - 0,50	1	Çok düşük	1680906	1512,8	15,21
	0,5 - 0,80	2	Düşük	4277595	3849,8	38,70
	0,8 – 1,00	3	Orta	2323177	2090,9	21,02
	1,0 - 1,50	4	Yüksek	2564374	2307,9	23,20
	1,5 - 1,90	5	Çok yüksek	206597	185,9	1,87

Drenaj yoğunluğu su hasadı yer seçiminde önemli ölçütler arasındadır. Drenaj yoğunluğu yüksek olan bölgeler su hasadı için uygun alanlar olarak değerlendirilmiştir. Drenaj yoğunluğu düşük olan bölgeler ise su hasadı için uygunluğu düşük olarak dikkate alınmıştır. Çalışma alanının %2 ve %23 civarında su hasadı için sırasıyla çok yüksek ve yüksek uygun olan bölgeler olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra çalışma alanının %21 civarında bölge su hasadı için orta derecede uygun olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının büyük kısmı; %39 ve %15 civarında su hasadı için sırasıyla düşük ve çok düşük bölgeler olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.5; Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın drenaj yoğunluğu (km/km²)

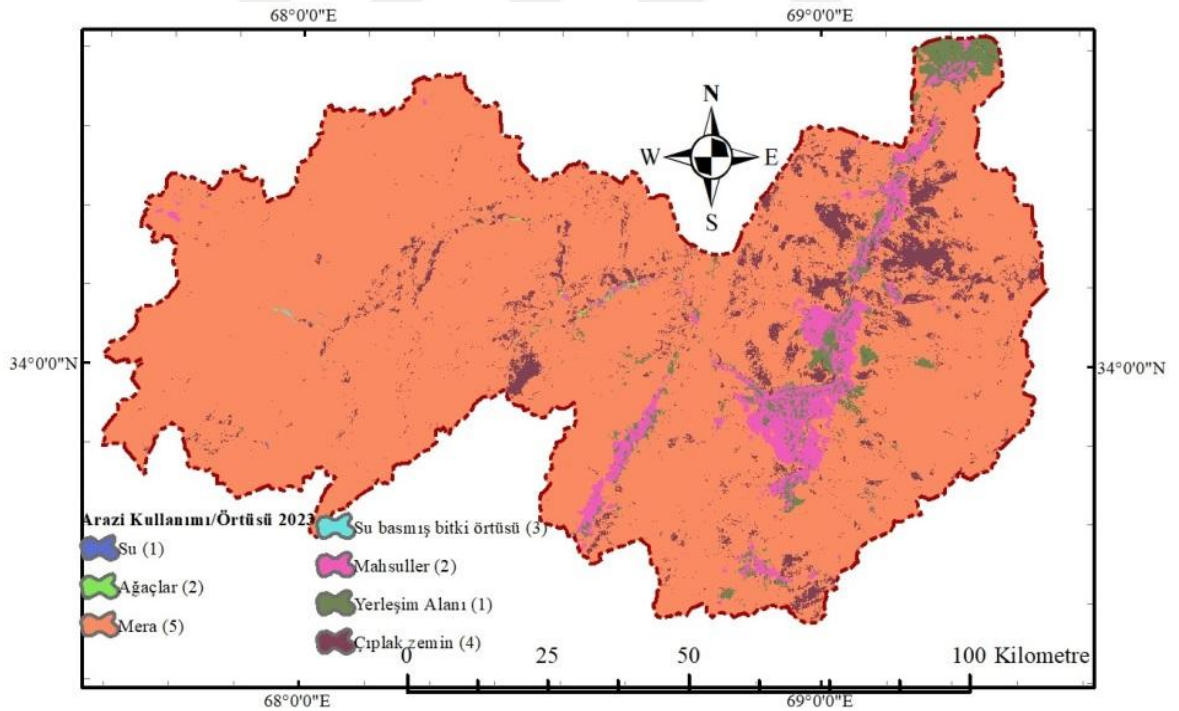
4.6 Arazi Kullanımı ve Örtüsü

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü, öncelikle arazinin niteliğini ve kapsamını ayrıntılı bilgiler sağlayarak gösterir. Hidrolojik açıdan bakıldığında arazi örtüsünün yüzey ve yeraltı suları üzerinde güçlü bir etkisi vardır ve beslenme, akış ve buharlaşma hızını etkiler. Herhangi bir alanın arazi kullanım şekli, akış hızını, sızma hızını ve buharlaşma-terleme hızını önemli ölçüde etkiler (Fu ve diğ., 2003). Bir bölgenin arazi kullanım desenindeki değişim hidrolojik tepkiyi etkiler. Örneğin, mera alanları yüzey ve yeraltı suyu potansiyeli bölgeleri için uygunken, su alanları ve yapılaşma alanları su hasadı için

uygunsuz kabul edilmektedir. Arazi kullanımı ve arazi örtüsündeki değişimler, yüzey ve yeraltı su kaynaklarının üretimini ve gelişimini değiştiren en önemli antropojenik faaliyetlerden biridir. Bunlar, yüzey ve yeraltı suyu gereksinimlerinin ve yeraltı suyu kullanımının kapsamının önemli göstergeleridir (Jhariya ve diğ., 2016). Günümüzde UA ve CBS teknolojileri, arazi kullanımı/arazi örtüsü haritalama doğru bilgilerini elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 4.6. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın arazi kullanımı ve örtüsünün özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Arazi kullanımı / Arazi örtüsü	Su/Yerleşim alanı	1	Çok düşük	309322	278,4	2,80
	Ağaçlar/Mahsuller	2	Düşük	462229	416,0	4,18
	Su basmış bitki örtüsü	3	Orta	1532	1,4	0,01
	Çıplak zemin	4	Yüksek	641600	577,4	5,80
	Mera	5	Çok yüksek	9649819	8684,8	87,21



Şekil 4.6. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın arazi kullanımı ve örtüsü

Arazi kullanımı ve örtüsü su hasadı yer seçiminde vazgeçilmez ölçütler arasında yer almaktadır. Çalışma alanının %87 civarında mera tarafından örtülmüş olup su hasadı için uygunluğu çok yüksektir. Çıplak zemin de çalışma alanının %6 kısmını kaplamakta

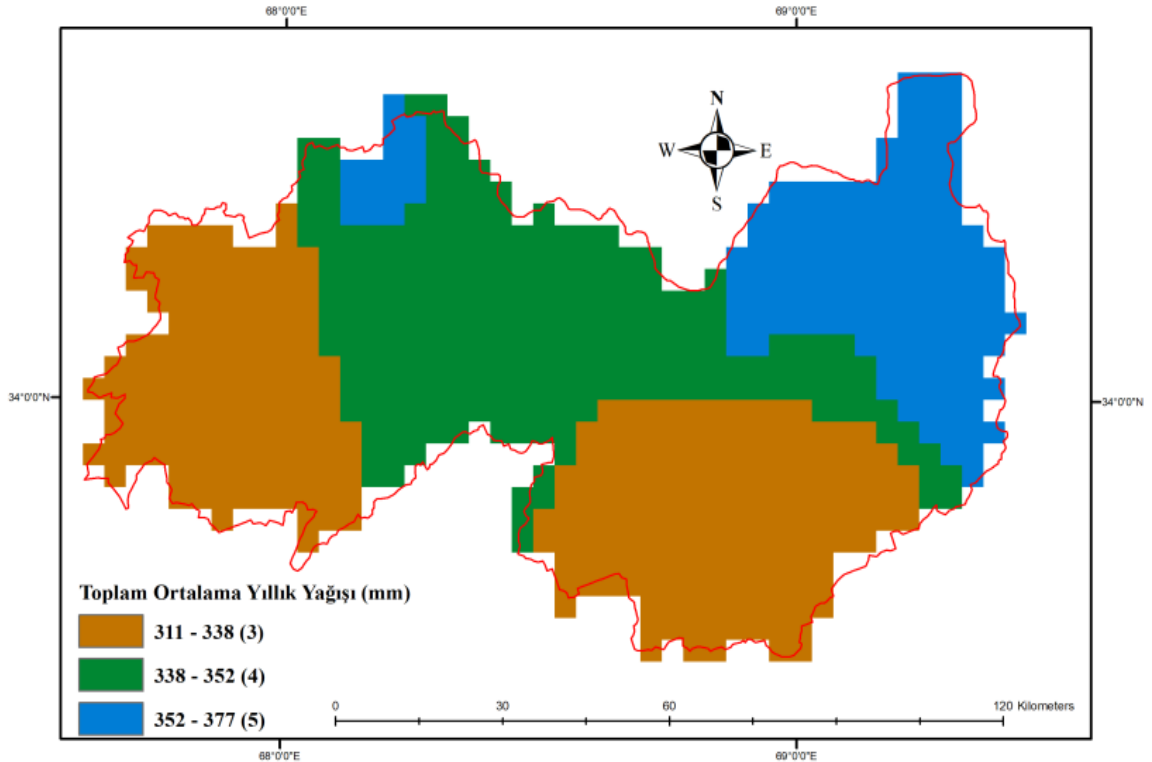
olup su hasadı için uygunluğu yüksek olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra bölgenin küçük bir kısmı; %4 ve %3 civarında sırasıyla ağaçlar, mahsuller, su ve yerleşim alanı tarafından kaplanmış olup su hasadı için uygunluğu sırasıyla düşük ve çok düşük olarak dikkate alınmıştır (Çizelge 4.6; Şekil 4.6).

4.7 Yağış

Yağış, su hasadı için birincil su kaynağıdır olup bu nedenle su hasadı sahası seçimi için önemli bir hidroklimatik faktördür. Yüzey suyu hasadı için yüksek ve orta yağış miktarları uygundur çünkü su hasadı yapılarında yeterli miktarda su depolayabilmek için yüzey akışından maksimum su elde edilebilir (Mahmoud ve Alazba, 2015).

Çizelge 4.7. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın toplam ortalama yıllık yağışının özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Yağış (mm)	311 - 338	3	Orta	4771140	4294,03	43,52
	338 - 352	4	Yüksek	3830971	3447,87	34,94
	352 - 377	5	Çok yüksek	2360994	2124,90	21,54



Şekil 4.7. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın toplam ortalama yıllık yağışı (mm)

Su döngüsünün önemli bir bileşeni ve yeraltı suyunun yeniden beslenmesinin önemli bir nedeni yağıştır. Bir bölgenin hidrolojik koşulları, öncelikle yağış miktarı ve zamansal-mekânsal dağılımından etkilenir (Patra ve diğ., 2018). Yağış yoğunluğu diğer olumlu faktörlerle birleşerek su hasadı potansiyeli olan bölgelerin sınıflandırılmasına yardımcı olur. Yüksek yağışların yüzey ve yeraltı sularını artırması muhtemeldir.

Su hasadı yer seçiminde yağış miktarı çok önemli bir yere sahiptir. Yağış miktarı fazla olan bölgelerde su hasadı uygunluğu yüksek olup yağış miktarı düşük olan bölgelerde ise su hasadının uygunluğu düşüktür. Çalışma alanında toplam yıllık yağış miktarı 311 mm ile 377 mm arasında değişmekte olup yağış miktarı üç sınıfa ayrılmıştır. Bölgenin yağış miktarı bakımından su hasadı için uygunluğu yüksek ve çok yüksek alanlar sırasıyla %27 ve %18 civarında belirlenmiştir. Buna ek olarak %21 olarak alan ise orta derecede su hasadı için uygun olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.7; Şekil 4.7).

4.8 Jeomorfoloji

Bir bölgenin jeomorfolojik özellikleri, yüzey akışını, sızma (infiltrasyon) oranını ve hidrolojik kontrolü doğrudan etkilemektedir (Bera ve Mukhopadhyay, 2023). Çalışma alanında jeomorfoloji dört türden üst bölüm, parçalanmamış birikintiler, orta bölüm ve alt bölümden oluşmuştur. Su hasadı uygunluğu bakımında parçalanmamış birikintiler ve orta bölüm sırasıyla çok yüksek ve yüksek uygun bölgeler olarak belirlenmiş olup sırasıyla çalışma alanının %27 ve %51 kısmını kaplamaktadır. Alt bölüm ise su hasadı için orta derecede uygun olarak dikkate alınmış olup çalışma alanının %12 kaplamıştır. Buna ek olarak üst bölüm ise su hasadı için düşük uygunluğa sahip olup çalışma alanının %10 kısmını kaplamıştır (Çizelge 4.8; Şekil 4.8).

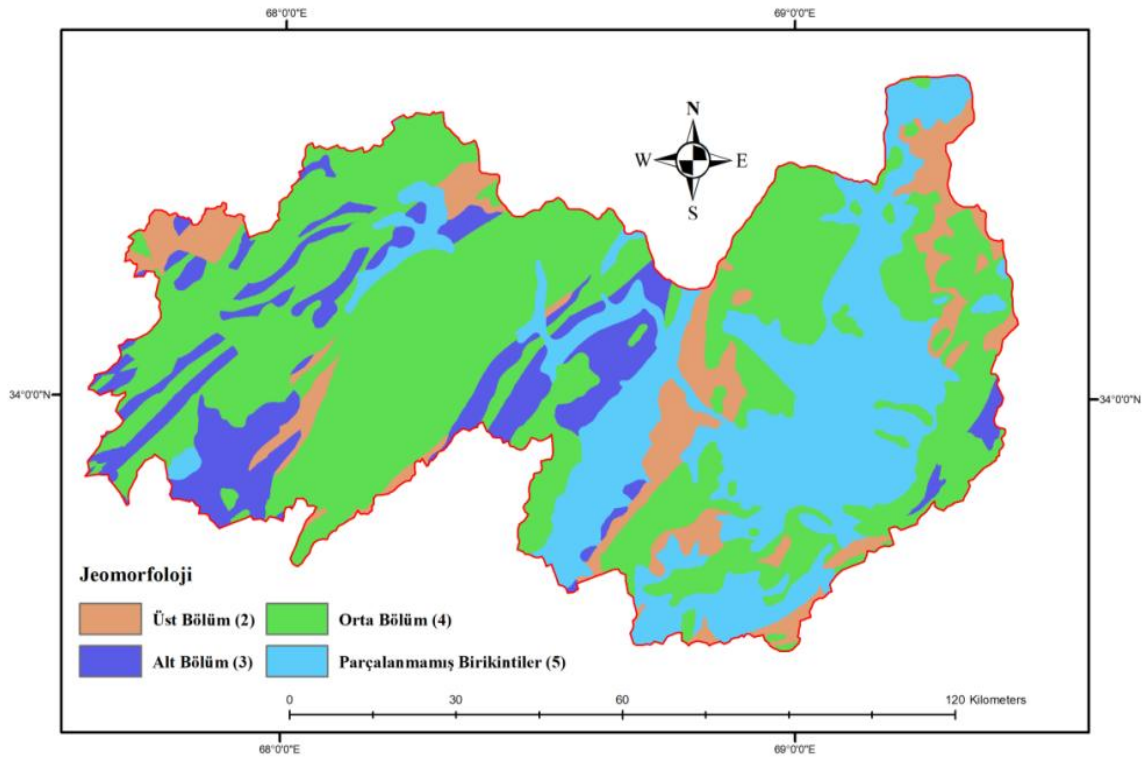
Çizelge 4.8. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın jeomorfolojisinin özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Jeomorfoloji	Üst bölüm	2	Düşük	1119347	1007,4	10,12
	Parçalanmamış birikintiler	5	Çok Yüksek	2941379	2647,2	26,58
	Orta bölüm	4	Yüksek	5701845	5131,7	51,53
	Alt bölüm	3	Orta	1302016	1171,8	11,77

Genel olarak, alt bölümler; ayrılmış malzemelerden oluşan, orta eğimli ve kalınlığı 0–5 metreye kadar ulaşan tabakalara sahip yer şekilleridir (Ghosh ve Jana, 2018).

Bu alanlar, su hasadı yapıları için uygun niteliktedir. Orta bölümler (middle division), hafif eğimli ve orta derecede ayrılmış jeolojik komplekslerden oluşmaktadır. Alt bölümlere kıyasla daha kalın yapıya sahiptirler. Bu alanlar, su hasadı yapıları için orta düzeyde uygunluk göstermektedir.

Parçalanmamış birikintiler akarsu vadisi boyunca uzanan, pekişmemiş alüvyal birikintilerden oluşmaktadır. Bu birikintiler düşük sızma kapasiteleri sayesinde su hasadı açısından elverişli alanlar olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.8. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın jeomorfolojisi

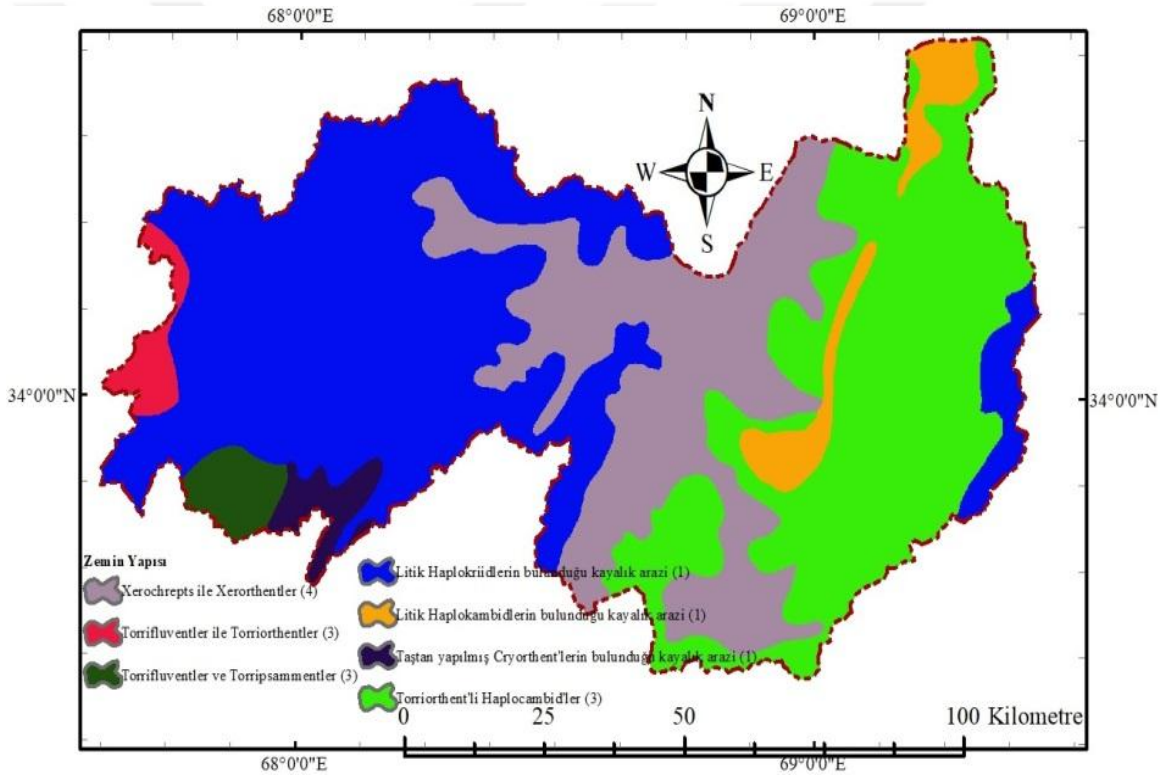
4.9 Zemin Yapısı

Çalışma alanının büyük bir kısmı %45 litik haplokrimidlere sahip kayalık arazi, litik haplokambidlere sahip kayalık arazi ve litik kriorthentlere sahip kayalık arazi tarafından kaplanmıştır. Bu araziler su hasadı bakımından çok düşük uygunluğuna sahiptir.

Torriorthentli haplocambidler ve torripsammentli torrifluventler su hasadı bakımından orta derecede uygunluğa sahip olup çalışma alanının %31 civarından bölgesi kaplamaktadır. Buna ek olarak xerochrepts ile xerorthentler ve torriorthentler ile torrifluventler su hasadı bakımından yüksek uygunluğuna sahip olup çalışma alanının %25 civarında kaplamaktadır (Çizelge 4.9; Şekil 4.9).

Çizelge 4.9. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın zemin yapısının özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Zemin Yapısı	Litik Haplokrimidlere sahip kayalık arazi/Litik Haplokambidlere sahip kayalık arazi/Litik Kriorthentlere sahip kayalık arazi	1	Çok düşük	4963782	4467,4	44,86
	Torriorthentli Haplocambidler/Torripsammentli Torrifluventler	3	Orta	3378647	3040,8	30,53
	Xerochrepts ile Xerorthentler/Torriorthentler ile Torrifluventler	4	Yüksek	2722420	2450,2	24,60

**Şekil 4.9.** Chak-Logar Akarsu Havzası'nın zemin yapısı

4.10 Toprak Dokusu

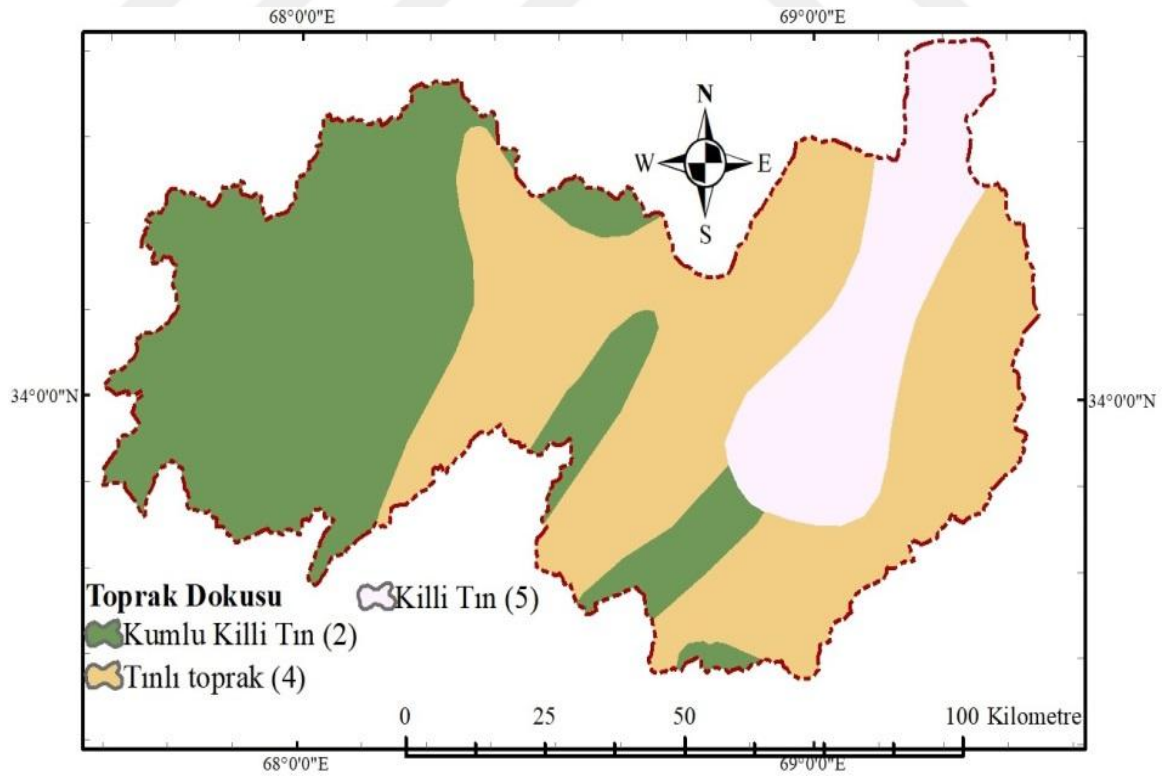
Kaba dokulu toprak daha geçirgendir, daha ince dokulu toprak ise daha düşük geçirgenliğe ve dolayısıyla daha düşük infiltrasyon oranına sahiptir, bu da suyun toprak yüzeyinde daha uzun süre tutulması kabiliyetinin daha yüksek olmasına yol açar (Cote ve diğ., 2003). İnce tınlı ve siltli kil toprak tipleri, sızma oranları düşük ve akış miktarları

daha yüksek olduğundan su hasadı için uygun kabul edilir (Hashim ve Sayl, 2021). Sonuç olarak bu alanlarda yağış sonrası yüksek akış derinlikleri görülebilmektedir. Böylece toprak yüzeyi yüksek miktarda suyu tutabilme yeteneğine sahip olur ve biriken su, ince tınlı ve siltli kil tipindeki bu topraklardan kolayca yeraltına sızamaz. Yüksek gözeneklilik ve geçirgenliğe sahip, yüksek infiltrasyon hızına sahip topraklar, bu tip toprakların bulunduğu bölgeler yeraltı suyu beslenmesi için uygundur çünkü su toprak örtüsünün altından kolayca drene olur (Singh ve diğ., 2013).

Çizelge 4.10. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın toprak dokusunun özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Toprak Dokusu	Kumlu Killi Tın	2	Düşük	4361470	3925,3	39,42
	Tınlı toprak	4	Yüksek	5026792	4524,1	45,43
	Killi Tın	5	Çok yüksek	1676326	1508,7	15,15

Yüzeysel ve yeraltı suyu beslenmesinin ve kalitesinin değerlendirilmesinde toprak tipi hayati bir rol oynar. Su tutma kapasitesi, infiltrasyon ve geçirgenlik, toprağın türüne bağlıdır (Mogaji ve diğ., 2015).



Şekil 4.10. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın toprak dokusu

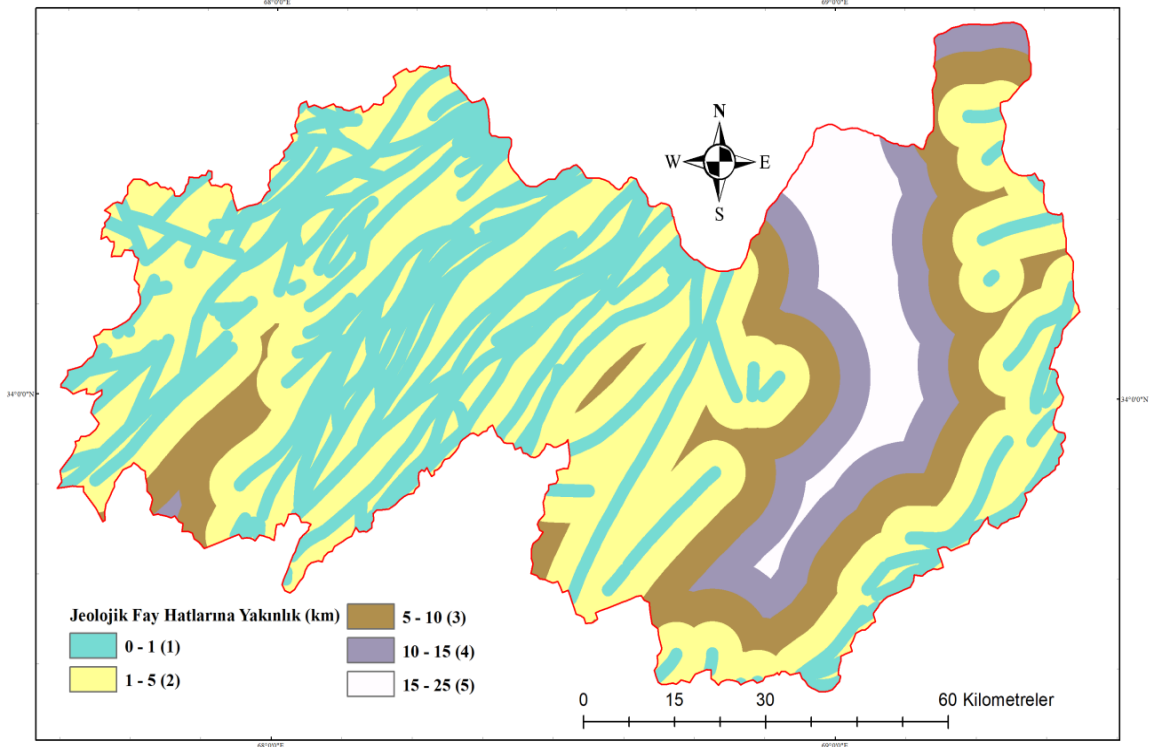
Çalışma alanının sırasıyla %45 ve %15 civarında tınlı toprak ve killi tın teşkil edilmiş olup su hasadı bakımından sırasıyla yüksek ve çok yüksek uygunluğa sahiptir. Kumlu killi tınlı topraklar ise çalışma alanının %39 civarında bir alan kaplamakta olup su hasadı bakımından düşük uygunluğa sahiptir (Çizelge 4.10; Şekil 4.10).

4.11 Sosyoekonomik Kriterler

Çalışmada sosyoekonomik faktörler olarak kareze, tarım alanlara, yerleşimlere, yollara, jeolojik fay hatlarına yakınlık ve çeşmelere olan yakınlık dikkate alınmıştır. Bunlar çalışma alanındaki başlıca sosyoekonomik kriterlerdir.

Çizelge 4.11. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın jeolojik fay hatlarına yakınlık tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Jeolojik fay hatlarına yakınlık (km) (PGf)	0 - 1	1	Çok düşük	3591349	3232,21	32,46
	1 - 5	2	Düşük	4199324	3779,39	37,95
	5 - 10	3	Orta	1576833	1419,15	14,25
	10 - 15	4	Yüksek	1006392	905,75	9,10
	15 - 25	5	Çok yüksek	690702	621,63	6,24



Şekil 4.11. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın jeolojik fay hatlarına yakınlık haritası (km)

Jeolojik fay hatlarına yakınlık beş sınıfa ayrılmıştır. Su hasadının jeolojik fay hatlarına yakınlık 1 km'den daha yüksek olması tavsiye ediliyor (Al-Adamat ve diğ., 2010). Su hasadının jeolojik fay hatlarına yakınlık 0-1 km ve 1-5 km arasında sırasıyla çok düşük ve düşük uygunluğa sahip alanlar olarak dikkate alınmış olup çalışma alanının sırasıyla %33 ve %38 civarında bölge kaplamaktadır (Çizelge 4.11; Şekil 4.11). Jeolojik fay hatlarından uzaklığı 5-10 km arasındaki olan bölgeler su hasadı için orta derecede uygun alanlar olarak belirlenip çalışma alanının %14 civarında bölge içermektedir. Fay hatlarından uzaklığı 10 – 15 km ve 15-25 km bölgeler ise su hasadı için sırasıyla yüksek ve çok yüksek uygunluğa sahip alanlar olarak dikkate alınmış çalışma alanının sırasıyla %9 ve %6 civarında alanı kaplamaktadır.

Çizgiselliklere ve aktif faylara olan mesafe, potansiyel zayıflık bölgelerini temsil ettikleri için öngörücü faktörler olarak kullanılmıştır. Çok faylı alanlar su hasadı için uygun olmadığından (Forzieri ve diğ., 2008), su hasadı sahaları çizgiselliklerden ve aktif faylardan en az 1000 m uzakta bulunmalıdır (Jamali ve diğ., 2013; Al-Ruzouq ve diğ., 2017; Raaj ve diğ., 2022).

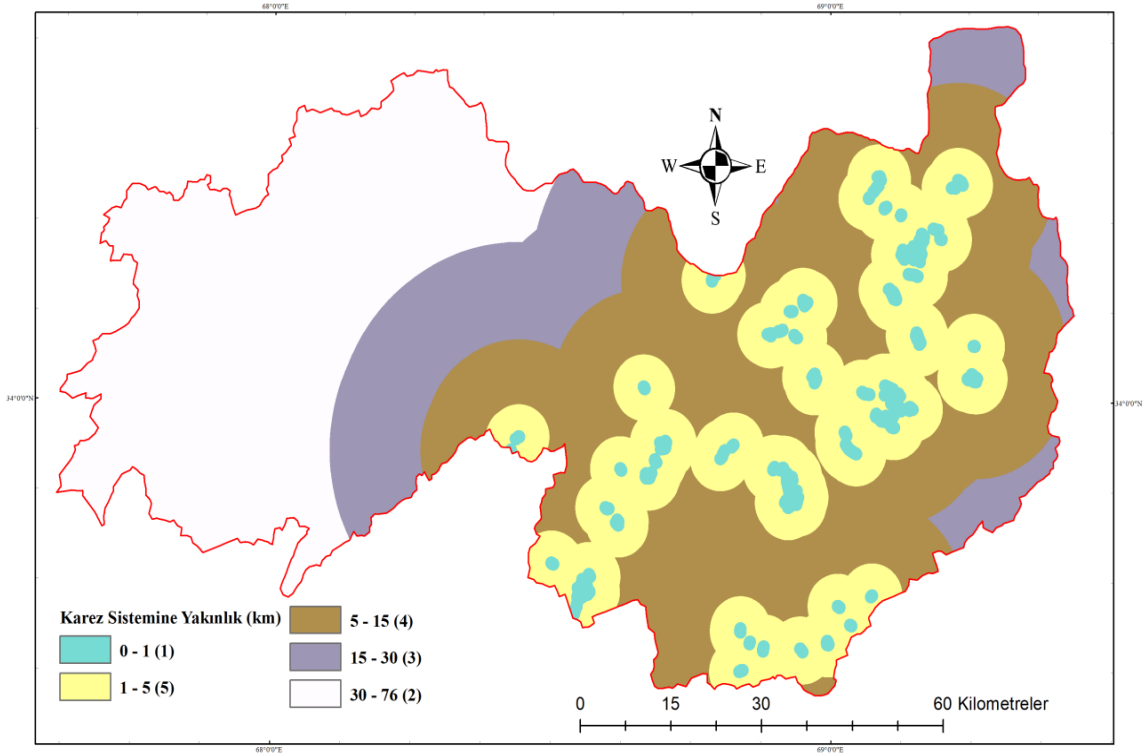
Faylar, su hasadı sistemine sahip olmaya karar verirken büyük bir engel teşkil eder. Su hasadı gövdesi için bir saha seçerken, fay alanını seçilen sahalardan hariç tutmak önemlidir (Shatnawi, 2006).

Karez sistemi Afganistan'da önemli su kaynakları arasında yer almaktadır. Çalışma alanında karez sisteminin çoğu iklim değişikliği, sık sık meydana gelen kuraklık ve düzensiz beçimde su kullanımı sebebiyle kurumuştur.

Karez sistemine 0-1 km olan yakınlık su hasadı bakımından çok düşük uygunluğa sahip alanlar olarak dikkate alınmış olup sırasıyla 1-5 km ve 5-15 km olan yakınlık ise su hasadı ile bu kurumuş karez sisteminin yeniden canlandırılması bakımından çok yüksek ve yüksek uygun alanlar olarak dikkate alınmıştır. Karez sistemine yakınlığı 30-76 km olan alanlar ise kurumuş su kaynağından uzakta olduğu için düşük uygun olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.12; Şekil 4.12).

Çizelge 4.12. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın karez sistemine yakınlık tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Karez sistemine yakınlık (km) (PK)	0 - 1	1	Çok düşük	357832	322,05	3,23
	1 - 5	5	Çok yüksek	2377280	2139,55	21,49
	5 - 15	4	Yüksek	3435438	3091,89	31,05
	15 - 30	3	Orta	1553454	1398,11	14,04
	30 - 76	2	Düşük	3340596	3006,54	30,19



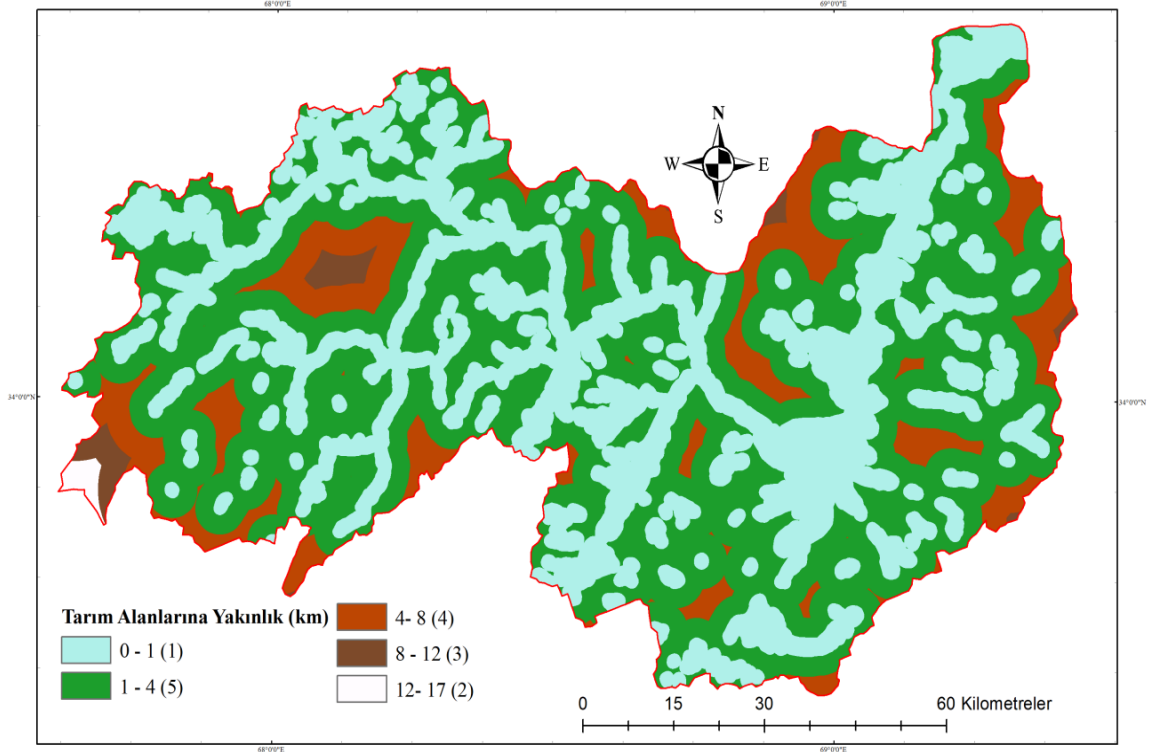
Şekil 4.12. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın karez sistemine yakınlık haritası (km)

Çalışma alanında sulanan tarım ve yağışla beslenen tarım yapılmaktadır. Buna göre tarım alanlarına yakınlık değerleri dikkate alınmıştır. Planlanan su hasadının tarım alanlara yakınlığı suyun ulaşım maliyetlerini etkilemektedir (Al-Adamat ve diğ., 2010; Al-shabeeb, 2016; Toosi ve diğ., 2020).

Çizelge 4.13. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın tarım alanlarına yakınlık tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Tarım alanlarına yakınlık (km) (PA)	0 - 1	1	Çok düşük	4376878	3939,19	39,56
	1 - 4	5	Çok yüksek	5307066	4776,36	47,96
	4- 8	4	Yüksek	1205359	1084,82	10,89
	8 - 12	3	Orta	138369	124,53	1,25
	12- 17	2	Düşük	36928	33,24	0,33

Tarım alanların 1-4 km ve 4-8 km yakınlıkta su hasadının uygunluğu sırasıyla çok yüksek ve yüksek olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.13; Şekil 4.13). Tarım arazileri değerli kaynaklar olmaları ve çevresel nedenlerden dolayı hariç tutulmalıdır (Baban ve Wan-Yusof, 2003).



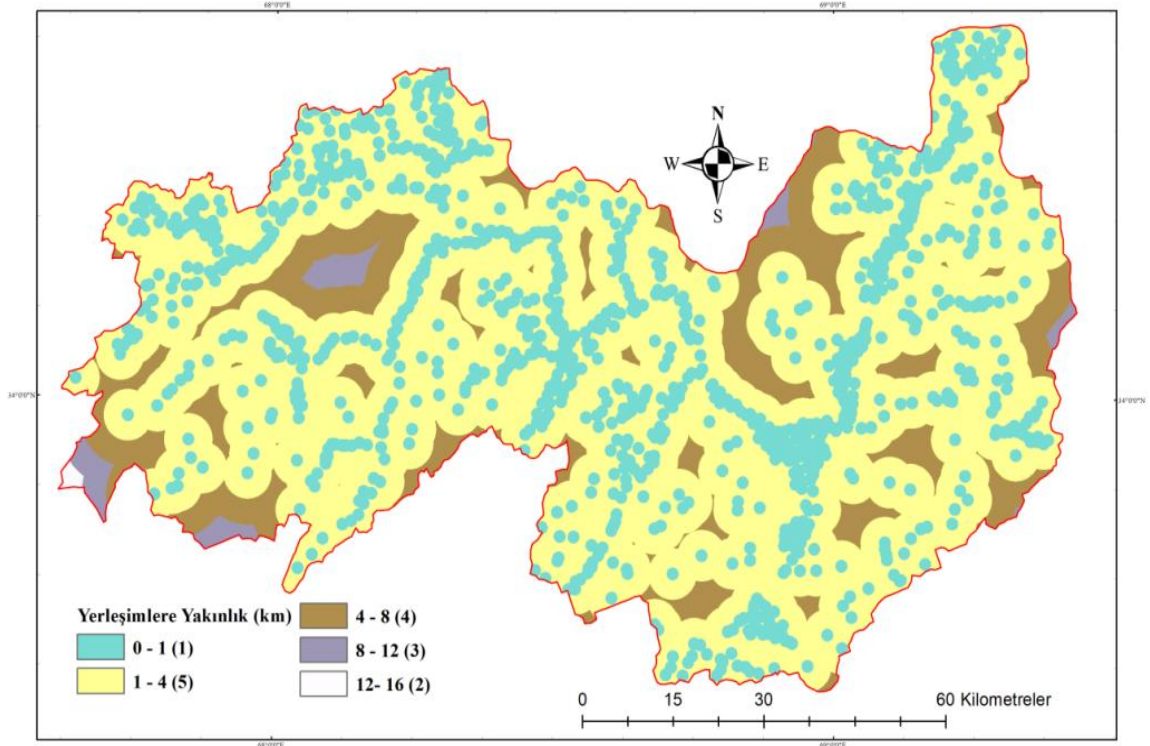
Şekil 4.13. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın tarım alanlara yakınlık haritası (km)

Su hasadı yer seçimi için yerleşimlere yakınlık su kullanıcıların suya kolay bir şekilde erişimi bakımından önemli olup 1-4 km ve 4-8 km yakınlık sırasıyla çok yüksek ve yüksek uygunluğa sahip alanlar olarak dikkate alınmıştır (Çizelge 4.14; Şekil 4.14).

Çizelge 4.14. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yerleşimlere yakınlık tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Yerleşimlere yakınlık (km) (PS)	0 - 1	1	Çok düşük	2746880	2472,19	24,83
	1 - 4	5	Çok yüksek	6796442	6116,80	61,43
	4 - 8	4	Yüksek	1341226	1207,10	12,12
	8 - 12	3	Orta	168012	151,21	1,52
	12 - 16	2	Düşük	12040	10,84	0,11

Yerleşimlere 0-1000 m yakınlıkta olan alanlar ise arazi mülkiyeti sorunlarının meydana gelmemesi için su hasadı için çok düşük uygunluğa sahip alanlar olarak değerlendirilmiştir (Karakuş ve Yıldız, 2022).

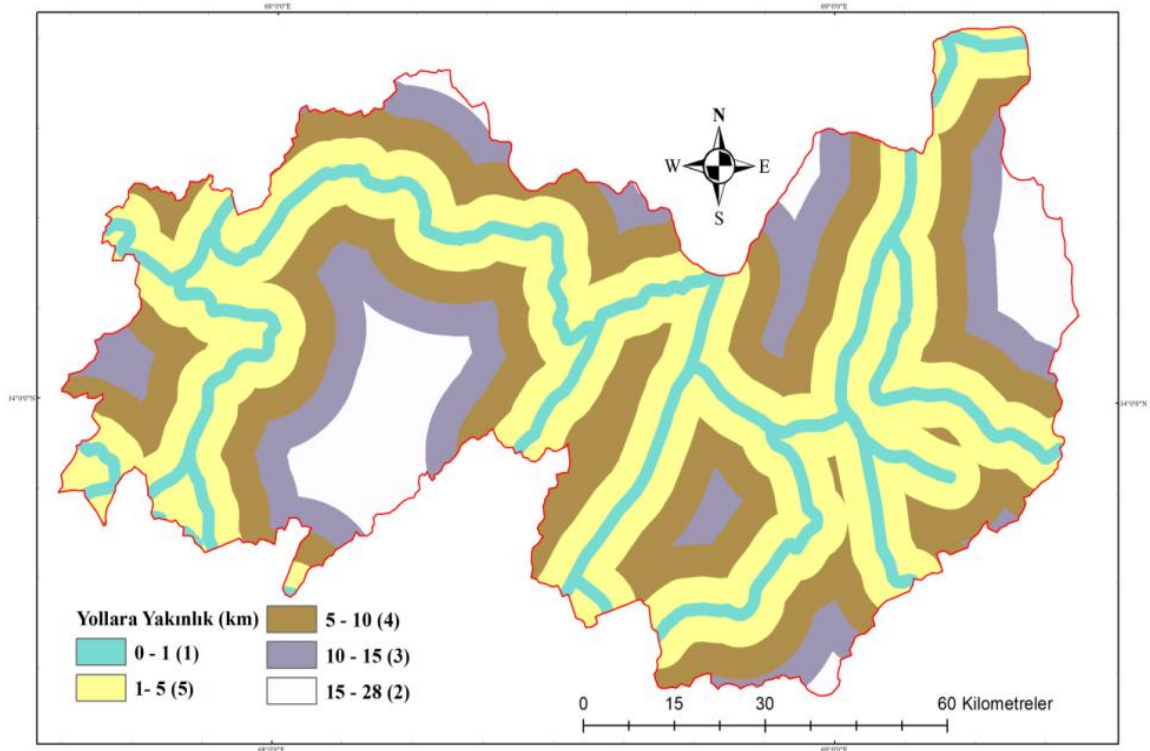


Şekil 4.14. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yerleşim yerlerine yakınlık haritası (km)

Yollara yakınlık su hasadı yer seçimi için ulaşım bakımından önemli olup 1-5 km ve 5-10 km yakınlıkta alanlar su hasadı bakımından sırasıyla çok yüksek ve yüksek uygunluğa sahip alanlar olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.15; Şekil 4.15). Çalışma alanının karmaşık topoğrafik yapısı dikkate alındığında su hasadının yollara yakın olması istenmektedir. Hâlbuki su hasadının yollara 1000 m'den yakın olması da tavsiye edilmez (Raaj ve diğ., 2022; Karakuş ve Yıldız, 2022). Buna göre yollara yakınlığı 0-1 km yakınlıkta olan alanlar su hasadı bakımından çok düşük uygunluğa sahip alanlar olarak dikkate alınmıştır. Buna ek olarak su hasadının inşaat aşamasında ve suya ulaşım bakımından uzak mesafeler önerilmez. Buna göre su hasadının yollara yakınlığı 15-28 km olan alanlar su hasadı bakımından düşük uygunluğa sahip alanlar olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.15. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yollara yakınlığın özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Yollara yakınlık (km) (PR)	0 - 1	1	Çok düşük	1302170	1171,95	11,77
	1- 5	5	Çok yüksek	4142949	3728,65	37,44
	5 - 10	4	Yüksek	3155500	2839,95	28,52
	10 - 15	3	Orta	1506642	1355,98	13,62
	15 - 28	2	Düşük	957339	861,61	8,65



Şekil 4.15. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yollara yakınlık haritası (km)

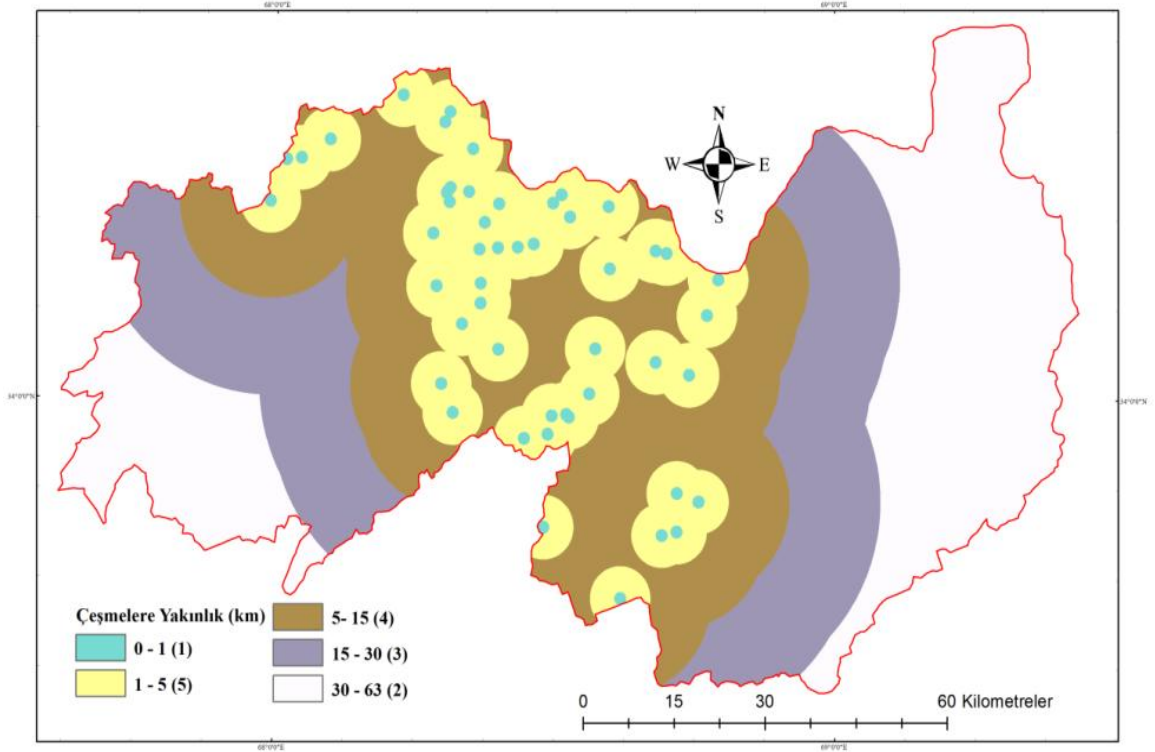
Yollara olan mesafenin su hasadı yeri uygunluğu üzerinde düşük bir etkisi olmasına rağmen, önerilen su hasadı yerlerinin yakınında yolların ve yerleşim yerlerinin varlığı ulaşım maliyetinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Noori ve diğ., 2019).

Al-Adamat' (2008) göre, yollar çalışma alanındaki yerel topluluk için büyük bir sosyo-ekonomik değere sahiptir. Bu yollar sayesinde, ot ve su arayan hayvanlarıyla birlikte hareket ederken kamyonlarını ve tankerlerini bir yerden başka bir yere taşıyabilirler.

Çeşmeler Afganistan'da önemli su kaynakları arasında yer almaktadır. Mevcut su kaynaklarında yeni planlanan su hasadının uygunluğu mesafesi artıktıkça artmaktadır. Su kaynaklarına su hasadı yerinin yakınlığı 1000 m'den fazla olmalıdır (Matomela ve Ikhumhen, 2020).

Çizelge 4.16. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın çeşmelere yakınlığın özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (Km ²)	Yüzde (%)
Çeşmelere yakınlık (km) (PSP)	0 - 1	1	Çok düşük	170125	153,11	1,54
	1 - 5	5	Çok yüksek	2188623	1969,76	19,78
	5 - 15	4	Yüksek	2840778	2556,70	25,67
	15 - 30	3	Orta	2669209	2402,29	24,12
	30 - 63	2	Düşük	3195865	2876,28	28,88



Şekil 4.16. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın çeşmelere yakınlık haritası (km)

Su kaynaklarından yeni planlanan su hasadının uzaklığı 5–15 km ve 1-5 km olan alanlar yüksek ve çok yüksek olan bölgeler olarak dikkate alınmıştır (Çizelge 4.16; Şekil 4.16).

Çalışmada kullanılan biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörler ile su hasadı uygunluk bölgeleri seçimi için önemin özet tablosu Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Çalışmada kullanılan biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörler ile su hasadı uygunluk bölgeleri seçimi için önemin özet tablosu

No.	Kriter	Su hasadı uygunluk için önemi
1	Yağış	Yağış, uygunluk alanlarını belirleyen en güçlü faktördür. Yüksek yağışlı bölgeler yüksek uygunluk gösterir.
2	Topoğrafik Islaklık İndeksi	Su birikimi yüksek alanlar potansiyel su depolama bölgeleridir.
3	Eğim	Çok dik eğimler uygun değildir; orta eğimler idealdir.
4	Drenaj Yoğunluğu	Yüksek drenaj yoğunluğu, yüzey akışını artırarak su hasadı verimliliğini yükseltir.
5	Toprak Dokusu	İnce tınlı topraklar yüzey akışını desteklediği için uygundur.
6	Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü	Çorak ve mera alanları su depolamaya daha uygundur.
7	Jeomorfoloji	Alüvyal düzlüklerde su tutulumu yüksektir.
8	Litoloji	Gevşek geçirgen litolojik birimler sızma ve depolamayı kolaylaştırır.
9	Zemin Yapısı	İnce zemin yapıları su sızma kapasitesini etkiler.
10	Topoğrafik Eğrilik	Mikro topoğrafik çanaklar su birikimine katkı sağlar.
11	Çeşmelere Yakınlık	Yakındaki su kaynaklarıyla etkileşim potansiyeli artar.
12	Tarım Alanlarına Yakınlık	Tarımsal alanlara yakın bölgeler ekonomik açıdan daha uygun kabul edilmiştir.
13	Karez Sistemine Yakınlık	Geleneksel sulama sistemleriyle entegrasyon kolaydır.
14	Yollara Yakınlık	Erişilebilirlik, inşaat ve bakım kolaylığı sağlar.
15	Yerleşim Yerlerine Yakınlık	İnsan kaynakları ve bakım potansiyeli açısından önemlidir.
16	Fay Hatlarına Yakınlık	Fay hatları inşaat güvenliği açısından risk oluşturmaktadır.

4.12 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Analizi

Öncelikler, alan odaklı özellikle çalışma alanı bağlamında belirlenmiştir. İklim, yüzey akışı, depolama uygunluğu ve pratik uygulanabilirliği vurgulanmıştır:

- Yüksek etkili olan faktörlerde yağış, topoğrafik ıslaklık indeksi, eğim ve drenaj yoğunluğu yer almaktadır.
- Toprak ve yüzey denetimlerinde toprak dokusu, arazi kullanımı/arazi örtüsü, jeomorfoloji ve litoloji yer almaktadır.
- Kullanım ve arz yakınlığı faktörlerinde çeşmelere yakınlık ve tarım alanlarına yakınlık yer almaktadır.
- Bağlamsal faktörlerde kurumuş karez'e yakınlık, yollara yakınlık ve yerleşimlere yakınlık yer almaktadır.
- Kısıtlar/ikincil etkenlerde ise jeolojik faylara yakınlık, toprak yapısı ve eğrilik yer almaktadır.

Her bir su hasadı yer seçimi faktörünün yeniden sınıflandırılmasından sonra ağırlıklı kaplamaya tabi su hasadı yer seçimi faktörlerinin göreceli ağırlığını veya etkisini atamak için AHP analizi gerçekleştirilmiştir. Saaty (1987) tarafından önerilen prosedürlere göre çiftler arası karşılaştırma matrisi geliştirilmiştir (Çizelge 4.18), çiftler arası karşılaştırmanın normalizasyonu ve faktörlerin ağırlıkları hesaplanmış (Çizelge 4.19) karşılaştırmanın tutarlılık kontrolü yapılmıştır (Çizelge 4.20). Çizelge 4.21 her bir su hasadı yer seçimi faktörü için nihai kriter ağırlığını göstermektedir; bu ağırlık, her bir faktörün çalışma alanındaki su hasadı yer seçimi üzerindeki tahmini göreceli etkisini yansıtmaktadır.

Tutarlılık İndeksi $CI = 0,06$ hesaplanmış ve tutarlılık oranı $CR = 0,03601$ olarak hesaplanmıştır. CI 'i hesaplamak için hesaplanan en yüksek öz değer ($\lambda_{max} = 16,86$) ve faktör sayısı ($n = 16$) kullanılmıştır. CR 'yi hesaplamak için rastgele indeks (RI) kullanılmıştır. Rastgele indeks (RI), faktör sayısına bağlı olarak değişir ve 16 faktör için 1,60'tır (Alonso ve Lamata, 2006).

Tutarlılık oranının (CR) hesaplanan değeri 0,03601 dir (%3,60), bu değer 0,1'den (%10) küçük olduğundan ağırlıklı katman için karşılaştırmanın kullanılması kabul edilebilir.

Çizelge 4.18. Seçilen su hasadı yer seçimi faktörleri için çiftler arası karşılaştırma matrisi

Kriterler	S	DD	Li	TWI	R	LULC	ST	GM	SS	Cu	PGf	PK	PA	PS	PR	PSp
Eğim (S)	1	1	3	1/2	1/2	2	2	2	7	9	7	4	4	5	4	3
Drenaj yoğunluğu (DD)	1	1	2	1/2	1/3	2	1	2	6	9	6	4	3	5	4	2
Litoloji (Li)	1/3	1/2	1	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	5	8	5	2	2	4	2	1
Topoğrafik Islaklık İndeksi (TWI)	2	2	4	1	1/2	3	2	3	8	9	8	5	4	6	5	4
Yağış (R)	2	3	4	2	1	4	3	4	8	9	8	6	5	7	6	4
Arazi kullanımı/örtüsü (LULC)	1/2	1/2	2	1/3	1/4	1	1	1	6	8	6	3	2	4	3	2
Toprak Dokusu (ST)	1/2	1	2	1/2	1/3	1	1	1	6	9	6	4	3	5	4	2
Jeomorfoloji (GM)	1/2	1/2	2	1/3	1/4	1	1	1	6	8	6	3	2	4	3	2
Zemin Yapısı (SS)	1/7	1/6	1/5	1/8	1/8	1/6	1/6	1/6	1	4	1	1/4	1/4	1/2	1/4	1/5
Topoğrafik Eğrilik (Cu)	1/9	1/9	1/8	1/9	1/9	1/8	1/9	1/8	1/4	1	1/4	1/6	1/7	1/5	1/6	1/8
Fay hatlarına yakınlık (PGf)	1/7	1/6	1/5	1/8	1/8	1/6	1/6	1/6	1	4	1	1/4	1/4	1/2	1/4	1/5
Kareze yakınlık (PK)	1/4	1/4	1/2	1/5	1/6	1/3	1/4	1/3	4	6	4	1	1/2	2	1	1/2
Tarıma yakınlık (PA)	1/4	1/3	1/2	1/4	1/5	1/2	1/3	1/2	4	7	4	2	1	3	2	1/2
Yerleşimlere yakınlık (PS)	1/5	1/5	1/4	1/6	1/7	1/4	1/5	1/4	2	5	2	1/2	1/3	1	1/2	1/4
Yollara yakınlık (PR)	1/4	1/4	1/2	1/5	1/6	1/3	1/4	1/3	4	6	4	1	1/2	2	1	1/2
Çeşmelere yakınlık (PSp)	1/3	1/2	1	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	5	8	5	2	2	4	2	1

Çizelge 4.19. Normalleştirilmiş çiftler arası karşılaştırma matrisi ve her faktör için hesaplanan kriter ağırlığı

Kriterler	S	DD	Li	TWI	R	LULC	ST	GM	SS	Cu	PGf	PK	PA	PS	PR	PSp	Toplam	Kriter Ağırlıkları
S	0.11	0.09	0.13	0.07	0.11	0.12	0.15	0.12	0.10	0.08	0.10	0.11	0.13	0.09	0.11	0.13	1,725	10,8
DD	0.11	0.09	0.09	0.07	0.07	0.12	0.07	0.12	0.08	0.08	0.08	0.11	0.10	0.09	0.11	0.09	1,469	9,2
Li	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.07	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.05	0.04	0,807	5,0
TWI	0.21	0.17	0.17	0.15	0.11	0.18	0.15	0.18	0.11	0.08	0.11	0.13	0.13	0.11	0.13	0.17	2,293	14,3
R	0.21	0.26	0.17	0.29	0.21	0.24	0.22	0.24	0.11	0.08	0.11	0.16	0.17	0.13	0.16	0.17	2,930	18,3
LULC	0.05	0.04	0.09	0.05	0.05	0.06	0.07	0.06	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	1,098	6,9
ST	0.05	0.09	0.09	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.08	0.08	0.11	0.10	0.09	0.11	0.09	1,297	8,1
GM	0.05	0.04	0.09	0.05	0.05	0.06	0.07	0.06	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	1,098	6,9
SS	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0,218	1,4
Cu	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0,128	0,8
PGf	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0,218	1,4
PK	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0,484	3,0
PA	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06	0.06	0.05	0.03	0.06	0.05	0.02	0,629	3,9
PS	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0,315	2,0
PR	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0,484	3,0
PSp	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.07	0.07	0.07	0.05	0.07	0.08	0.05	0.04	0,807	5,0

Çizelge 4.20. Çiftler arası karşılaştırmanın tutarlılığının hesaplanması (CR = 0,03601)

Kriterler	S	DD	Li	TWI	R	LULC	ST	GM	SS	Cu	PGf	PK	PA	PS	PR	PSp	Ağır. topl. değer	Kriter Ağırlığı	WSV/CW
S	0.11	0.09	0.15	0.07	0.09	0.14	0.16	0.14	0.10	0.07	0.10	0.12	0.16	0.10	0.12	0.15	18628	0.11	17,28
DD	0.11	0.09	0.10	0.07	0.06	0.14	0.08	0.14	0.08	0.07	0.08	0.12	0.12	0.10	0.12	0.10	15838	0.09	17,26
Li	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.08	0.06	0.05	0.852	0.05	16,91
TWI	0.22	0.18	0.20	0.14	0.09	0.21	0.16	0.21	0.11	0.07	0.11	0.15	0.16	0.12	0.15	0.20	24796	0.14	17,30
R	0.22	0.28	0.20	0.29	0.18	0.27	0.24	0.27	0.11	0.07	0.11	0.18	0.20	0.14	0.18	0.20	31442	0.18	17,17
LULC	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	11800	0.07	17,19
ST	0.05	0.09	0.10	0.07	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.12	0.12	0.10	0.12	0.10	13926	0.08	17,17
GM	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	11800	0.07	17,19
SS	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.22	0.01	16,29
Cu	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.13	0.01	16,44
PGf	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.22	0.01	16,29
PK	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.50	0.03	16,60
PA	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06	0.05	0.06	0.04	0.06	0.06	0.03	0.66	0.04	16,81
PS	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.32	0.02	16,41
PR	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.50	0.03	16,60
PSp	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.08	0.06	0.05	0.85	0.05	16,91

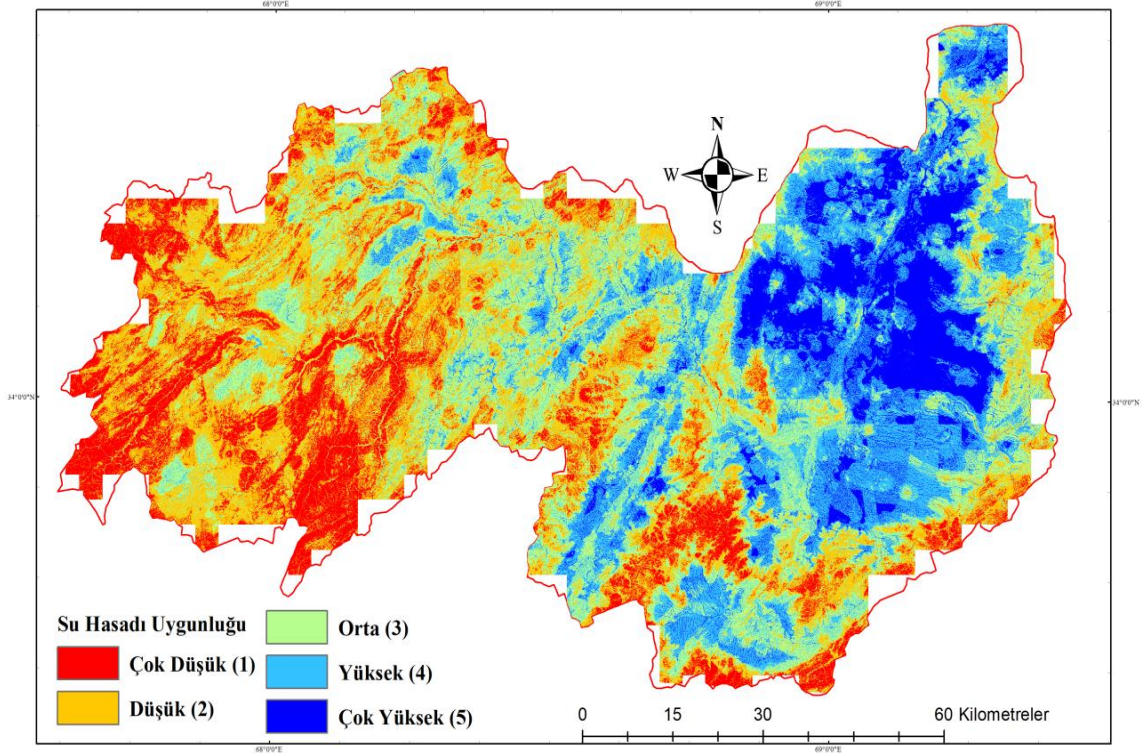
4.13 Chak-Logar Akarsu Havzası'nın Su Hasadı Uygunluk Alanları

Su hasadı için uygunluk alanlarının belirlenmesi için CBS ortamında ağırlıklandırılmış üst bindirme analizi (Weighted Overlay Analysis) Çizelge 4.21'de verilen 16 kriterlerin 30m*30m çözünürlüğe sahip raster haritalar kullanılmıştır. Haritalar 5 sınıfa yeniden sınıflandırılmış faktörlerin su hasadı için literatürde yapılan çalışmaların ışığında önemlerini dikkate alarak derecelendirmiştir. Faktörlerin ağırlıkların hesaplanması için AHP yöntemi kullanılmıştır. Faktörlerin su hasadı için önemini dikkate alarak en yüksek ağırlıklar yağış, topoğrafik ıslaklık indeksi, eğim, drenaj yoğunluğu, toprak dokusu ve jeomorfoloji için sırasıyla %18,3, %14,3, %10,5, %10,8, %9,2, %8,1 ve %6,9 olarak elde edilmiştir. Geri kalan faktörler için ise daha düşük ağırlıklar elde edilmiştir.

Çizelge 4.21. Su hasadı yer seçimi için seçilen faktörler ve onlara AHP ile hesaplanmış ağırlıkları

Sayı	Biyofiziksel Faktörler	Ağırlıkları (%)
1	Yağış (R)	18,3
2	Topoğrafik Islaklık İndeksi (TWI)	14,3
3	Eğim (S)	10,8
4	Drenaj yoğunluğu (DD)	9,2
5	Toprak Dokusu (ST)	8,1
6	Arazi kullanımı/örtüsü (LULC)	6,9
7	Jeomorfoloji (GM)	6,9
8	Litoloji (Li)	5,0
9	Zemin Yapısı (SS)	1,4
10	Topoğrafik Eğrilik (Cu)	0,8
Sayı	Sosyoekonomik Faktörler	Ağırlıkları (%)
1	Çeşmelere yakınlık (PSP)	5,0
2	Tarıma yakınlık (PA)	3,9
3	Kareze yakınlık (PK)	3,0
4	Yollara yakınlık (PR)	3,0
5	Yerleşimlere yakınlık (PS)	2,0
6	Fay hatlarına yakınlık (PGf)	1,4

Su hasadı uygunluk bölgelerin haritası sırasıyla 5, 3 ve 2 farklı sınıflara ayrılmıştır. Beş sınıf uygunluk haritası çok düşük (1), düşük (2), orta (3), yüksek (4) ve çok yüksek (5) uygun alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının sırasıyla %12, %21, %26, %27 ve %14 çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük uygun olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.22; Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanlarının beş sınıfı

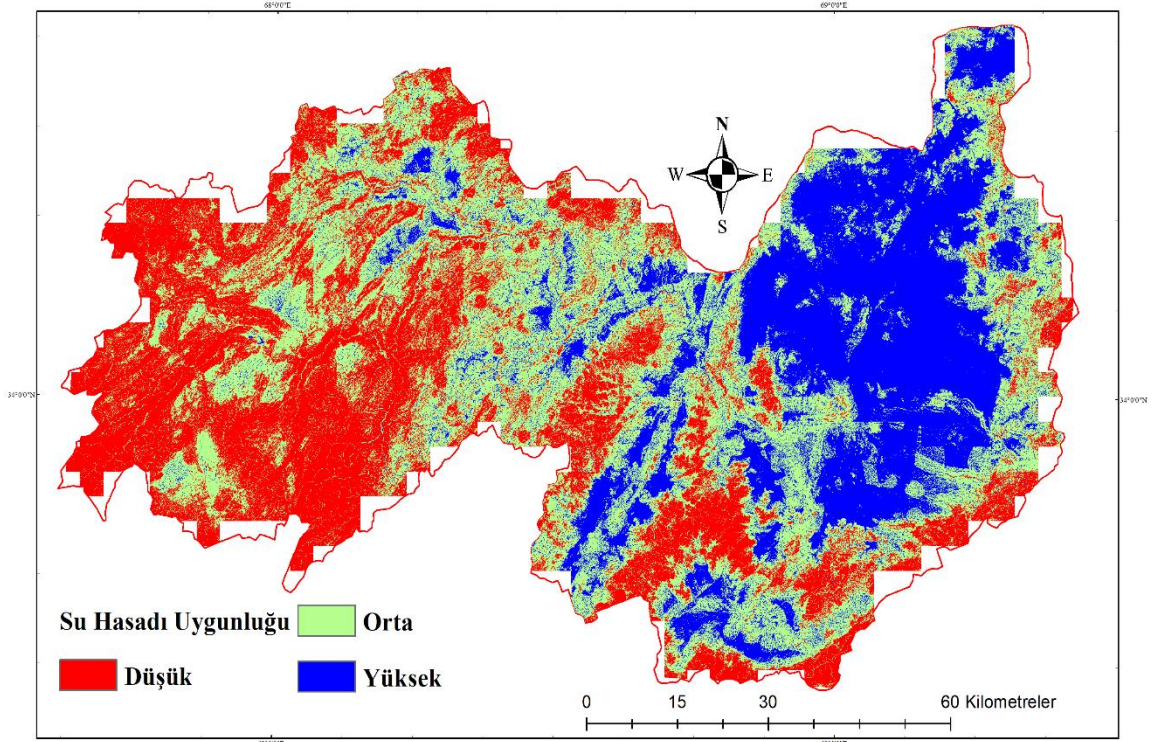
Çizelge 4.22. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda uygunluk sınıflarına göre su hasadı alan ve yüzdeleri

Uygunluk	Piksel Sayısı	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Çok Düşük (1)	1505872	1355,29	14
Düşük (2)	2829916	2546,92	27
Orta (3)	2727214	2454,49	26
Yüksek (4)	2200534	1980,48	21
Çok Yüksek (5)	1224202	1101,78	12

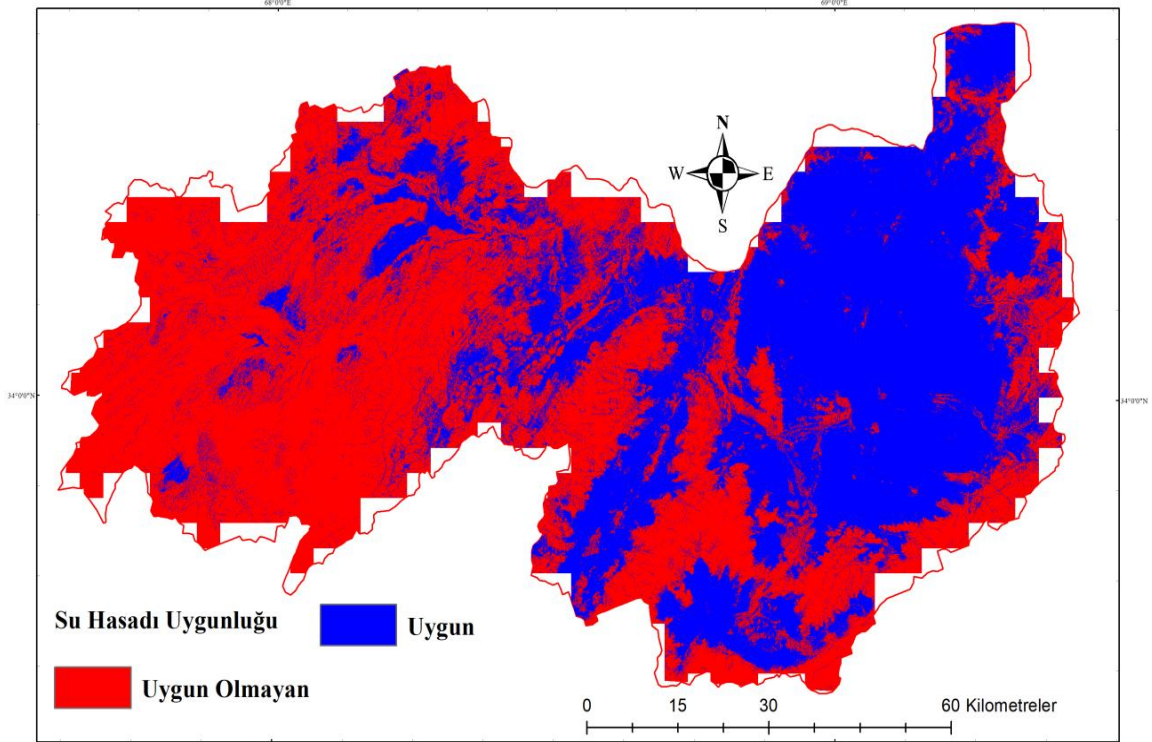
Üç sınıf uygunluk haritası düşük, orta ve yüksek uygun alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Üç sınıf uygunluk haritası düşük, orta ve yüksek uygun alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının sırasıyla %27, %41 ve %22 yüksek, orta ve düşük uygun olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.23; Şekil 4.18).

Çizelge 4.23. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanları ve yüzdesi (üç sınıf)

Uygunluk	Piksel Sayısı	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Düşük	3366977	3030,28	32
Orta	4263743	3837,37	41
Yüksek	2857018	2571,32	27



Şekil 4.18. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanlarının üç sınıfı



Şekil 4.19. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanlarının iki sınıfı

İki sınıf uygunluk haritası ise uygun olmayan ve uygun alanlar olarak sınıflandırılmıştır. İki sınıf uygunluk haritası ise uygun olmayan ve uygun alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanının sırasıyla %45 ve %55 uygun ve uygun olmayan alanlar olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.24; Şekil 4.19). Havza alanının su hasadı için uygun bölgeleri olarak büyük çapta Logar ili kaplamaktadır. Bu bölgeler çoğunlukla düşük ila orta eğimi, yüksek akış, yüksek drenaj yoğunluğu, yüksek TII ve nehir veya ilgili nehir kıyısı alanlarıdır.

Çizelge 4.24. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı uygunluk alanları ve yüzdesi (iki sınıf)

Uygunluk	Piksel Sayısı	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Uygun Olmayan	5738382	5164,54	55
Uygun	4749356	4274,42	45

4.14 Biyofiziksel ve Sosyoekonomik Faktörler ile Uygunluk Alanları Arasındaki İlişki Analizi

Su hasadı uygunluk haritaları ile belirlenen 16 kriter arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Biyofiziksel faktörler toplam ağırlığın %82'sini, sosyoekonomik faktörler ise %18'ini oluşturmaktadır (Çizelge 4.21).

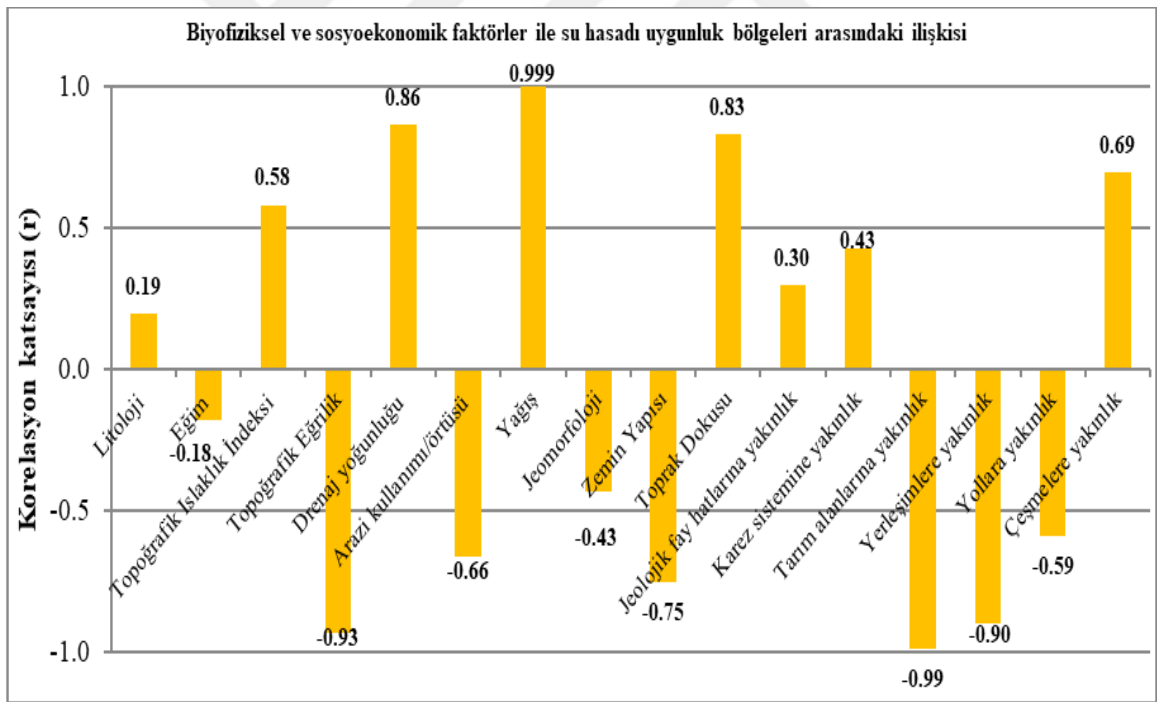
Her kriter için hesaplanan korelasyon katsayıları, kriter sınıflarının derecelendirilmesi ile bu sınıfların mekânsal dağılımları arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü göstermektedir. Korelasyon, +1 ile -1 arasında değer alır; +1'e yaklaşması pozitif ve güçlü bir ilişkiyi, -1'e yaklaşması ise negatif ve güçlü bir ilişkiyi temsil eder. Mutlak değeri yüksek olan katsayılar, kriterin uygunluk haritasına daha belirgin bir şekilde yansıdığını göstermektedir. Çizelge 4.25'te su hasadı uygunluk alanları için kullanılan kriterlerin uygunluk sınıfları arasındaki korelasyon ilişkisi ve açıklaması verilmiştir.

Su hasadı uygunluk haritasıyla ilgili 16 faktörün ilişkisi çubuk grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 4.20). Çalışmada biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörler ile su hasadı uygunluk bölgeleri arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile incelenmiştir. Korelasyon analizine göre en güçlü pozitif ilişkiler yağış, drenaj yoğunluğu, toprak dokusu ve çeşme yakınlığı arasında bulunmaktadır. En güçlü negatif ilişkiler ise tarım yakınlığı, topoğrafik eğrilik, yerleşim yakınlığı, zemin yapısı yer almaktadır. Litoloji, eğim, fay yakınlığı arasında zayıf ilişkiler mevcuttur.

Çizelge 4.25. Su hasadı uygunluk alanları için kullanılan kriterlerin uygunluk sınıfları arasındaki korelasyon ilişkisi

Kriterler	Korelasyon (r)	İlişki Türü	Açıklama
Litoloji	0,19	Zayıf Pozitif	Litolojik sınıfların derecelendirmesi ile mekânsal uygunluk dağılımı arasında belirgin bir eğilim bulunmamaktadır. Bu durum, litolojinin uygunluk üzerinde sınırlı bir belirleyici role sahip olduğunu göstermektedir.
Eğim	-0,18	Zayıf Negatif	Eğim arttıkça uygunluk yüzdesinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Eğim tek başına güçlü bir mekânsal belirleyici değildir.
Topoğrafik Islaklık İndeksi	0,58	Orta Düzey Pozitif	Topoğrafik ıslaklık indeksi yükseldikçe uygunluk oranı artma eğilimindedir.
Topoğrafik Eğrilik	-0,93	Çok Güçlü Negatif	Eğrilik değeri arttıkça uygunluk hızlı şekilde azalmaktadır. Bu kriter, mekânsal dağılım üzerinde belirgin etkiye sahiptir ve yüksek eğrilik değerleri uygunluğu olumsuz etkilemektedir.
Drenaj yoğunluğu	0,86	Güçlü Pozitif	Drenaj yoğunluğu derecesi arttıkça uygunluk yüzdesi de artmaktadır. Bu kriterin uygunluk üzerinde güçlü ve doğrudan bir etkisi bulunmaktadır.
Arazi kullanımı / Arazi örtüsü	-0,66	Orta Negatif	Bazı arazi kullanım türleri uygunluğu yüksek derecede azaltmaktadır. Özellikle tarım veya yerleşim dışı alanların dağılımı uygunluk üzerinde olumsuz yönde etkilidir.
Yağış	0,999	Çok Güçlü Pozitif	Yağış artışı ile uygunluk oranı arasında neredeyse doğrusal bir artış ilişkisi vardır. Yağış kriteri uygunluk modelinde en baskın unsurlardan biridir.
Jeomorfoloji	-0,43	Orta Negatif	Jeomorfolojik birimler ile uygunluk arasında zıt yönlü ve belirgin bir ilişki bulunmaktadır. Bazı jeomorfolojik bölgeler uygunluğu ciddi şekilde azaltmaktadır.
Zemin Yapısı	-0,75	Güçlü Negatif	Zemin özellikleri uygunluk ile güçlü bir ters ilişki göstermektedir. Elverişsiz zemin türleri büyük oranda uygunluğu düşürmektedir.
Toprak Dokusu	0,83	Güçlü Pozitif	Daha iyi toprak özellikle tınlı ve killi tın dokusu sınıfları daha yüksek uygunluk oranlarıyla güçlü bir şekilde ilişkilidir. Toprak dokusu uygunluk modelinin önemli belirleyicilerindendir.
Jeolojik fay hatlarına yakınlık	0,30	Zayıf Pozitif	Faylara yakınlık kriterinin uygunluk üzerinde düşük düzeyde etkili olduğu görülmektedir. Özellikle uzak mesafeler daha çok yüksek uygunluk göstermektedir.
Karez sistemine yakınlık	0,43	Zayıf / Orta Pozitif	Karez sistemlerine yakınlık uygunluğu artırmaktadır. Bu kriter su erişimi ile ilişkili bir mekânsal avantaj sağlamaktadır.
Tarım alanlarına yakınlık	-0,99	Çok Güçlü Negatif	Tarım alanlarına 1000 m yakınlık uygunluğu belirgin bir biçimde düşürmektedir. Bu kriter mekânsal etkisi en yüksek olan unsurlardandır
Yerleşimlere yakınlık	-0,90	Güçlü Negatif	Yerleşim alanlarına 1000 m yakınlık uygunluğu ciddi biçimde azaltmaktadır. İnsan etkisinin baskın olduğu bölgeler uygunluk açısından olumsuzdur.
Yollara yakınlık	-0,59	Orta Negatif	Yollara 1000 m'den mesafe arttıkça uygunluk genel olarak artmaktadır. Bu kriter orta düzeyde etkili bir mekânsal belirleyicidir.
Çeşmelere yakınlık	0,69	Orta–Güçlü Pozitif	Çeşmelere yakın alanların uygunluk değeri daha yüksektir ve ilişki belirgindir. Bu kriter su erişimi ile ilişkili bir mekânsal avantaj sağlamaktadır.

Eğim ve su hasadı uygunluk bölgeleri arasında zayıf bir negatif korelasyon ($r = -0,18$) kaydedilmiştir. Hafif eğimli araziler su hasadı yapılarının inşası için daha uygundur. Önceki çalışmalar, belirli bir alanın eğiminin, su hasadı yapılarının inşası için uygun sahaların belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını belirtmiştir (Mahmoud ve Tang, 2015; Balkhair ve Ur Rahman, 2021; Khan ve diğ., 2022; Bera ve Mukhopadhyay, 2023). Drenaj yoğunluğu ve TWI, su hasadı uygunluk alanları ile güçlü ve orta pozitif korelasyonlar göstermektedir; korelasyon değerleri sırasıyla 0,86 ve 0,58'dir. Bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarıyla tutarlı olduğunu ortaya çıkarmıştır (Gómez-Plaza ve diğ., 2001; Odiji ve diğ., 2021; Ettazarini, 2021; Bera ve Mukhopadhyay, 2023). Korelasyon, su hasadı yapılarının tarım arazileri ve ekilmemiş arazileri için daha uygun olduğunu göstermektedir (Tariqul Islam ve diğ., 2017; Tiwari ve diğ., 2018; Bera ve Mukhopadhyay, 2023). Ayrıca, siltli kil ve ince tınlı toprağın su hasadı yapıları için uygunluğu, önceki araştırmaların sonuçlarıyla tutarlıdır (Kahinda ve diğ., 2008; Ibrahim ve diğ., 2019; Bera ve Mukhopadhyay, 2023).



Şekil 4.20. Biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörler ile su hasadı uygunluk sınıfları arasındaki ilişkisi

4.15 Su Hasadı Uygunluk Alanlarının Doğrulaması

Modelin tahmin doğruluğunu doğrulamak için Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi analizi kullanılmıştır. Çalışma alanında var olan 12 kontrol barajı modelin

tahmin doğruluğu tahmin etmek için kullanılmıştır. EK-3'te Chak-Logar Akarsu Havzası'nda mevcut olan su hasadı yapıları verilmiştir. AOK-EAA analizinde CBS'nin bir uzantısı olan *Spatial Data Modeller (ArcSDM 5)* kullanılmıştır. Mevcut kontrol barajları ile su hasadı uygunluk haritası arasında bir karşılaştırma yapılarak yüksek ila orta derecede uygun bölgelerde, mevcut kontrol barajları “1” olarak gösterilirken, daha az uygun ve uygun olmayan bölgeler “0” olarak dikkate alınmıştır. Değer “1” ise, koşul kabul edilmiştir; değer “0” ise, koşullar reddedilmiştir. AOK eğrisi, birçok araştırmacının çok kriterli karar destek modelini doğruladığı çok popüler ve bilimsel olarak kabul edilebilir bir yöntemdir (Rahmati ve diğ., 2019; Ettazarini, 2021; Manaouch ve diğ., 2021). Çizelge 4.26'da su hasadı uygunluk haritalarının doğrulamada en çok kullanılan yöntemlerinin özet tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.26. Su hasadı uygunluk haritalarının doğrulamada en çok kullanılan yöntemlerinin özet tablosu

No	Doğrulama yöntemi	Kullanım amacı	Kaynakça
1	Uygunluk haritasının mevcut su hasadı yapıları / Küresel Konumlama Sistemi (GPS) / saha araştırmasıyla karşılaştırılarak doğrulanması	En yaygın olarak kullanılan GPS/sahada araştırılmış mevcut su hasadı yapılarının üst üste yüksek uygunluk bölgelerindeki mevcut yapıların yüzdesini hesaplar	Ahmad ve diğ. (2024); Tewabe ve Fentahun (2020); Beredde ve diğ. (2025); Desalegn ve Sintayehu Angualie (2025); Ibrahim ve diğ. (2019); Ahmad ve diğ. (2024); Aghad ve diğ. (2021); Rahmati ve diğ. (2019); Ettazarini (2021); Manaouch ve diğ. (2021)
2	ROC- AUC veya başarı oranı istatistiksel yöntemler ile doğrulama	Bir ÇKKA uygunluk haritasının tahmin gücünü ölçmek için ROC-AUC eğrisi kullanılır	
3	Uzman bilgisi/yerel anketler / paydaş çapraz kontrolleri ile doğrulama	Uzman doğrulaması/yerel paydaş kontrolleri, özellikle veri yetersizliği olan veya yerel sistemlerde faydalıdır	Aklan ve diğ. (2023); Adham ve diğ. (2022);
4	Zemin doğrulama/arazi örtüsü doğruluğu/zemin kontrol noktaları (uygunluğu destekleyen uzaktan algılama doğruluğu) ile doğrulama	Uzaktan algılama doğruluğu (zemin kontrol noktaları / LULC doğruluğu), uygunluk haritanın güvenilirliğini güçlendirmek için kullanılır	Desalegn ve Sintayehu Angualie (2025); Ibrahim ve diğ. (2019);
5	Hidrolojik/model tabanlı kontrollerle doğrulama	Hidrolojik model çapraz kontrolleri, havza ölçeğinde veya baraj seçimi sorunları için kullanılır	Doulabian ve diğ. (2021); Abebe ve Kassa (2025)
6	İstatistiksel çapraz doğrulama / makine öğrenimi doğruluğu ile doğrulama	İstatistiksel çapraz doğrulama/makine öğrenimi, veri noktalarının (bilinen yapılar) eğitim/test örnekleri olarak ele alındığı için kullanılır	Rana ve diğ. (2025)
7	Bölgesel/vaka çalışmaları / karma doğrulama yöntemler	Model sonuçlarının doğrulanması için birden daha fazla yöntemlerin kullanılması	Ammar ve diğ. (2016); Bera ve Mukhopadhyay (2023); Patrick (1997); Ibrahim ve diğ. (2019); Amihere-Ackah ve diğ. (2025)

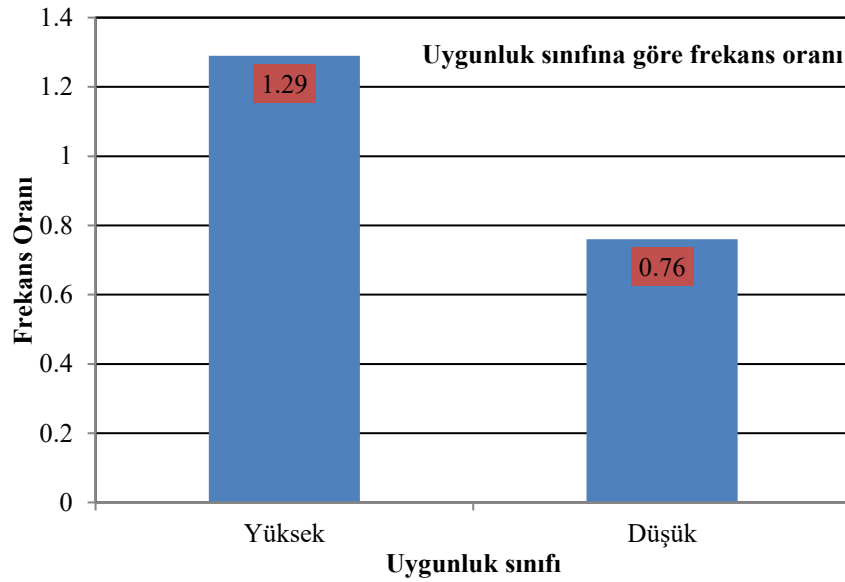
ROC-AUC analizine ek olarak, modelin güvenilirliğini artırmak amacıyla karışıklık matrisi-kappa, başarı oranı eğrisi ve frekans oranı yöntemleri ile ek doğrulamalar yapılmıştır. Bu yöntemler, uygunluk haritalarının mevcut kontrol barajı

konumlarıyla mekânsal uyumunu göstermiş ve ROC-AUC sonucuyla tutarlı şekilde modelin orta düzeyde güvenilir olduğunu desteklemiştir.

Karışıklık Matrisi-Kappa ≈ 0.63 , rastlantısal uyumdan belirgin bir fark olduğunu ve makul güvenilirlik olduğunu destekliyor.

Frekans Oranı Analizi: Her uygunluk sınıfı için alan yüzdesi, baraj sayısı ve frekans oranı hesaplanmıştır. $FR > 1$ olan sınıflar barajların yoğunlaştığı ve modelin başarılı olduğu sınıflardır. Şekil 4.21’de uygunluk sınıfına göre frekans oranı gösterilmiştir.

Başarı Oranı Eğrisi: Kümülatif alan yüzdesine karşılık gelen kümülatif baraj yüzdeleri hesaplanmıştır. Eğri, modelin en uygun alanlarda barajları ne kadar yakaladığını gösterir. Şekil 4.22’de başarı oranı eğrisi gösterilmiştir.

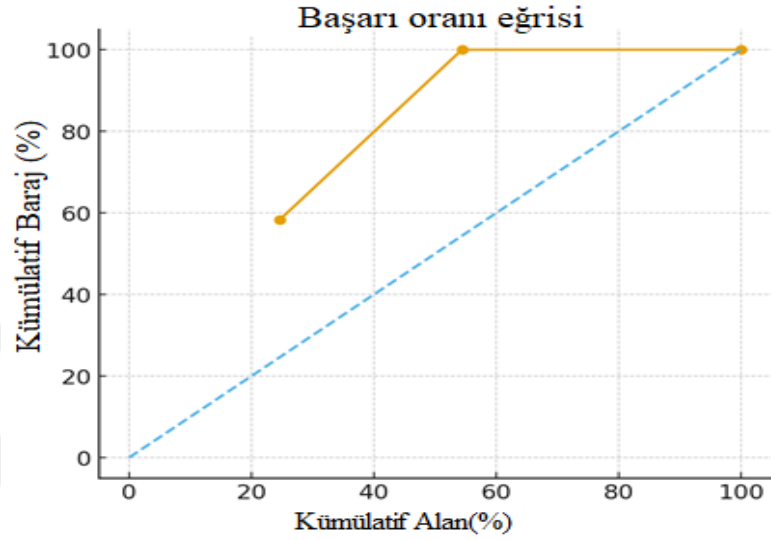


Şekil 4.21. Uygunluk sınıfına göre frekans oranı

Bu doğrulama yöntemleri birbirini tamamlayıcı niteliktedir. AOK–EAA ve başarı oranı analizleri modelin istatistiksel ve mekânsal doğruluğunu değerlendirmektedir. Kappa analizi modelin sınıflandırma güvenilirliğini değerlendirmektedir. Frekans oranı yöntemi ise modelde kullanılan kriterlerin gerçek saha koşullarıyla tutarlılığını değerlendirmektedir. Bu doğrulama metodoloji, CBS ve AHP tabanlı su hasadı uygunluk modelinin hem bilimsel olarak geçerli hem de sahaya uygulanabilir bir yapıda olmasını sağlamaktadır.

ROC-AUC sonucu = 0.626 (orta doğruluk) olarak elde edilmiştir. Yaptığımız ek analizler bu sonucu desteklemektedir. Frekans oranı (FO) analizi, barajların çoğunun

yüksek ve çok yüksek sınıflarında yoğunlaştığını gösteriyor ($FO > 1$). Başarı oranı eğrisi, uygunluk haritasının ilk %40'lık alanında barajların önemli bir kısmını yakaladığını gösteriyor. Bunun sebepleri tartışıldığı gibi veri kısıtları, sosyo-ekonomik kararlar ve saha uygulama tercihleri olabilir.



Şekil 4.22. Başarı oranı eğrisi

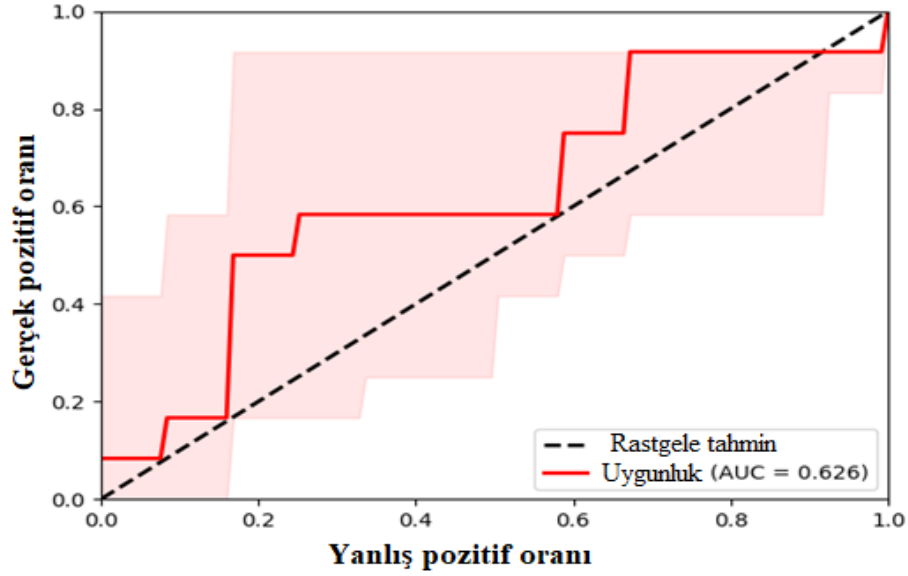
AOK, deterministlik ve olasılıksal tahmin sistemi olarak bilinir. AUC (Eğrinin Altındaki Alan) 0,5 ile 1 arasında değişmekte olup 1'e yakın bir değer daha yüksek düzeyde tahmin doğruluğu olduğunu gösterirken 0,5 ten düşük değerler düşük düzeyde tahmin doğruluğu olduğunu göstermektedir. Doğruluk değerinin tahmin doğruluk oranı 5 aralık bölgesine ayrılır: 0,5-0,6 (düşükten zayıf); 0,6-0,7 (orta/orta); 0,7-0,8 (iyi); 0,8-0,9 (çok iyi); 0,9-1 (mükemmel). Genel olarak, AUC tahmin değerinin yüzdesini gösterir. Bu çalışma için AOK-EAA sonucu %62,6'tür (0,626) elde edilmiştir (Şekil 4.23). Bu model için AOK-EAA değeri orta derecede bir tahmin doğruluğu oranını gösterir. Buna göre Chak-Logar akarsu havzası için önerilen modelin orta derecede uygunluğa sahiptir. AOK-EAA değerinin orta aralıkta çıkması nedenlerinden bazıları şunlar olabilir; Afganistan'da su hasadı uzmanlarının eksikliği, çok sınırlı faktörlerin su hasadı yer seçiminde dikkate alınması ve çoğu zaman sahaların uygunluğuna bakılmaksızın toplumun liderlerinden gelen istek üzerine su hasadı yapılarının inşası için karar verilmesi (Çizelge 4.27).

Havzada mevcut 12 adet kontrol barajları ile önerilen 45 adet mezo/mikro havza ölçekli su hasadı yapıları arasındaki mekânsal uyumu proximity (mesafe) doğrulaması ile

yapılmıştır. 12 mevcut kontrol barajlarının koordinatlarını, önerilen 45 su hasadı yapılarının koordinatlarıyla karşılaştırılmıştır. Her mevcut kontrol baraj için en yakın önerilen su hasadı yapısı haversine (km) mesafesi hesaplanmış olup uygunluk haritası modelinin var olan altyapıyla ne kadar örtüştüğüne dair bir mesafe doğrulaması yapılmıştır. Sonuç olarak mevcut kontrol barajların $3/12 \approx \%25$ 'i önerilen/uygun noktalara ≤ 5 km, $2/12 \approx \%17$ 'i ≤ 10 km, $4/12 \approx \%33$ 'i ≤ 15 km ve $3/12 \approx \%25$ 'i ≤ 20 km uzaklıkta yer almaktadır. Bu hızlı mesafe analizi çıktılarına göre mevcut altyapı ile modelin önerdiği uygun noktalar arasında orta düzeyde bir yakınlık/örtüşme olduğunu ortaya çıkmıştır.

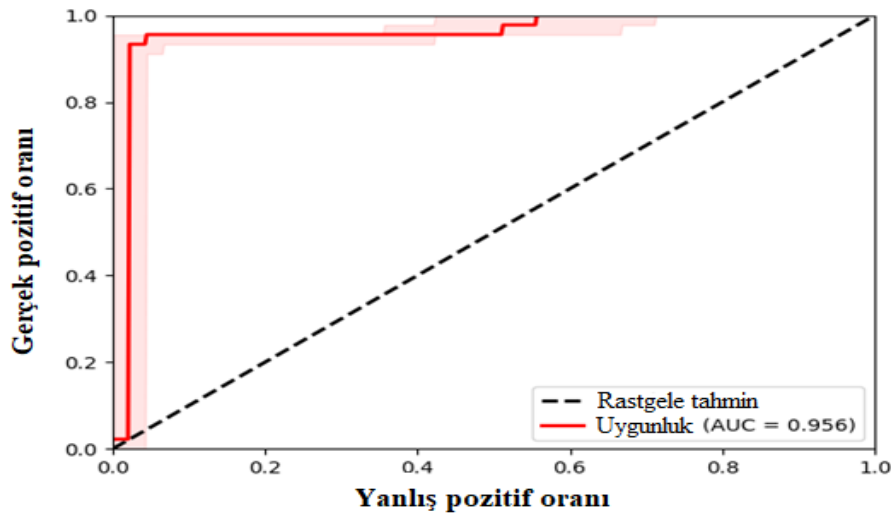
Çizelge 4.27. Afganistan'da su hasadı sahasının seçimi için dikkate alınan kriterler (Afganistan Su ve Enerji Bakanlığı)

Sayı	Kriterler	Açıklama
1	Topografya	Sahanın eğiminin su hasadı yapılar için uygun olup olmadığını araştırılması
2	Jeoloji	Zemin tipinin su hasadı için uygunluğunun araştırılması
3	Havza alanı	Su hasadı projelerinin büyük havza alanına göre önceliklendirilmesinin değerlendirilmesi
4	Deprem riski değerlendirmesi	Aktif fay hattın olup olmadığının araştırılması
5	Sosyoekonomik faktörler olarak su hasadı yapılarından etkilenen alanlar	Memba ve mansapta etkilenecek tarım ve yerleşim yerlerinin değerlendirilmesi
6	İnşaat malzemesinin bulunabilirliği ve erişimi	Su hasadı yapısının inşaat yerinde gerekli malzemenin mevcut olup olmadığını ve ulaşım yollarının değerlendirilmesi
7	Toplumların liderlerinden gelen talep	Çoğu zaman sahaların uygunluğuna bakılmaksızın toplumun liderlerinden gelen istek üzerine su hasadı yapıların inşası için karar veriler



Şekil 4.23. Su hasadı uygunluk alanlarının doğrulaması için Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi

Var olan kontrol barajlarının doğruluğunu incelemenin yanı sıra önerilen 45 mikro ve mezo havza ölçekli su hasadı yapılarının doğruluğunu incelenmiştir. Önerilen su hasadı yapıları için AOK-EAA sonucu %95,6 (0,956) elde edilmiştir (Şekil 4.24). Önerilen kontrol barajlar için AOK-EAA değeri çok iyi bir tahmin doğruluğu oranını gösterir. Tahmin edilen uygun su hasadı alanlarının uygulanabilirliği ve önerilen su hasadı yapıları CBS ortamında *Basemap Imagery* haritaları kullanılarak önerilerin kontrol barajlarının uygunluğunu incelenmiştir.



Şekil 4.24. Önerilen su hasadı yapılarının doğrulaması için Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi

4.16 Chak-Logar Akarsu Havzası'nın Hidrolojik Analizleri

Hidrolojik toprak grupları, kurak ve yarı kurak iklim koşulları dikkate alınarak kabuller yapılmıştır. Ona göre yağış-akış ilişkisi incelenmiştir. Chak-Logar akarsu havzası ile ilgili hidrolojik toprak gruplarının detayları Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Chak-Logar akarsu havzası ile ilgili hidrolojik toprak gruplarının detayları USDA (2009); Ross ve diğ. (2018) den uyarlanmıştır

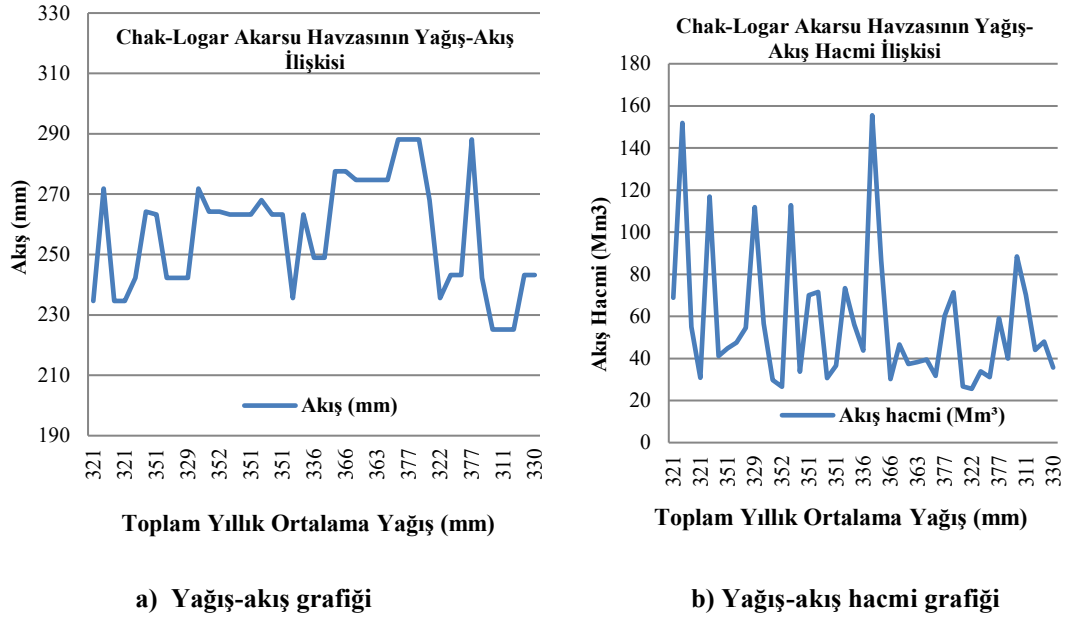
Hidrolojik toprak grubu	Toprak dokusu sınıfı	Akış potansiyeli	CN	Açıklama
B	Kumlu tın, tınlı kum	Orta derecede düşük	62	Orta derecede düşük akış potansiyeli (%50-90 kum ve %10-20 kil)
B/D	Kumlu tın, tınlı kum	Yüksek	73.5	Drenaj yapılmadığı takdirde yüksek akış potansiyeli (kum %50-90 ve kil %10-20)
C	Killi tın, Siltli kil tın, Kumlu kil tın, Tın, Siltli tın, Silt	Orta derecede yüksek	74	Orta derecede yüksek akış potansiyeli (<%50 kum ve %20-40 kil)
C/D	Killi tın, Siltli kil tın, Kumlu kil tın, Tın, Siltli tın, Silt	Yüksek	79.5	Drenaj yapılmadığı takdirde yüksek akış potansiyeli (<%50 kum ve %20-40 kil)
D	Kil, Siltli kil, Kumlu kil	Yüksek	85	Yüksek akış potansiyeli (<%50 kum ve >%40 kil)

Çalışma alanının arazi örtüsü % 87 mera olduğu için hidrolojik koşul olarak iyi koşul ele alınmıştır. Buna göre çalışma alanında hidrolojik toprak grupları için CN değerleri B, C ve D için sırasıyla 62, 74 ve 85 elde edilmiştir (Çizelge 4.29). Geri kalan B/D ve C/D kompozit hidrolojik toprak gruplarının CN değerleri ilgili sınıfların ortalaması ile elde edilmiştir. %97 civarında hidrolojik toprak grubu C den oluşmaktadır. Havza için ağırlıklı ortalama CN değeri 74,12 elde edilmiştir (Çizelge 4.29).

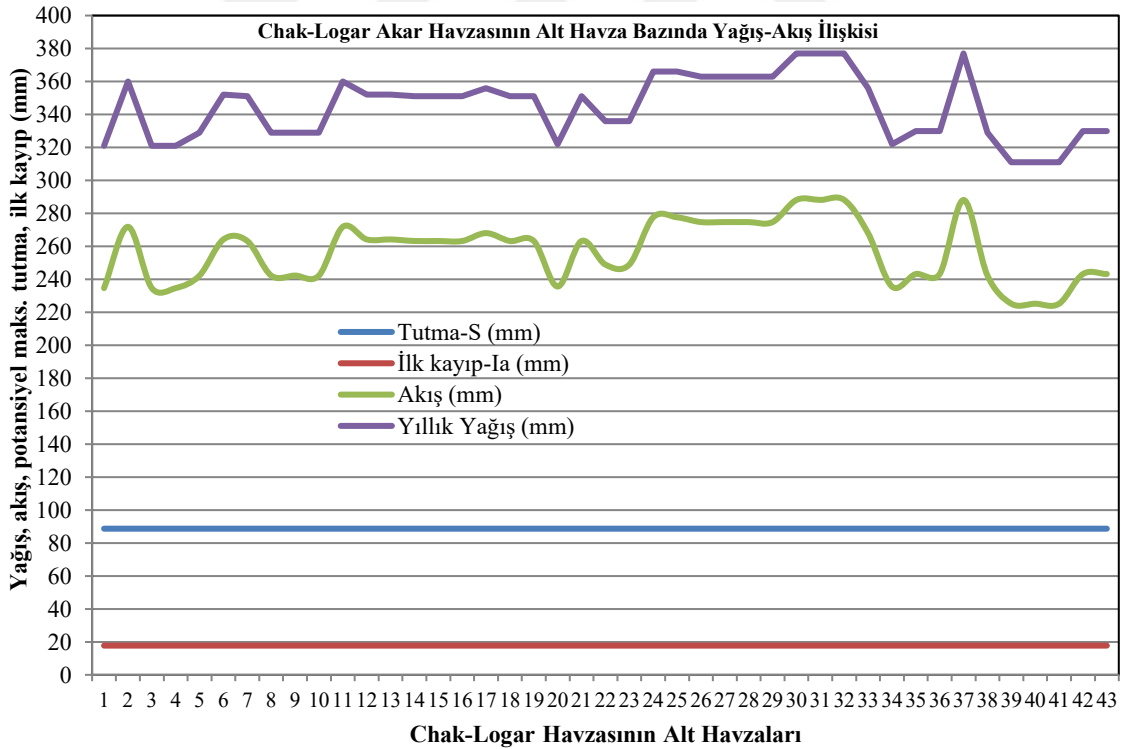
Çizelge 4.29. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın hidrolojik toprak gruplarının özet tablosu

Hidrolojik Toprak Grubu	CN	Alan (km ²)	Yüzde (%)	Ağırlıklı ortalama CN
C	74	9660,11	97,0450	74,12
C/D	79,5	269,731	2,7097	
B	62	23,5208	0,2363	
D	85	0,84061	0,0085	
B/D	73,5	0,051514	0,0005	

Havzanın hidrolojik karakteristiği için 2000-2023 arasında toplam yıllık ortalama yağış verisi kullanılmıştır. Chak-Logar Akarsu havza için ortalama akış (Q), potansiyel maksimum su tutma (S) ve ilk kayıp (Ia) için sırasıyla %74, %22 ve %4 değerler elde edilmiştir (Çizelge 4.30; Şekil 4.25).



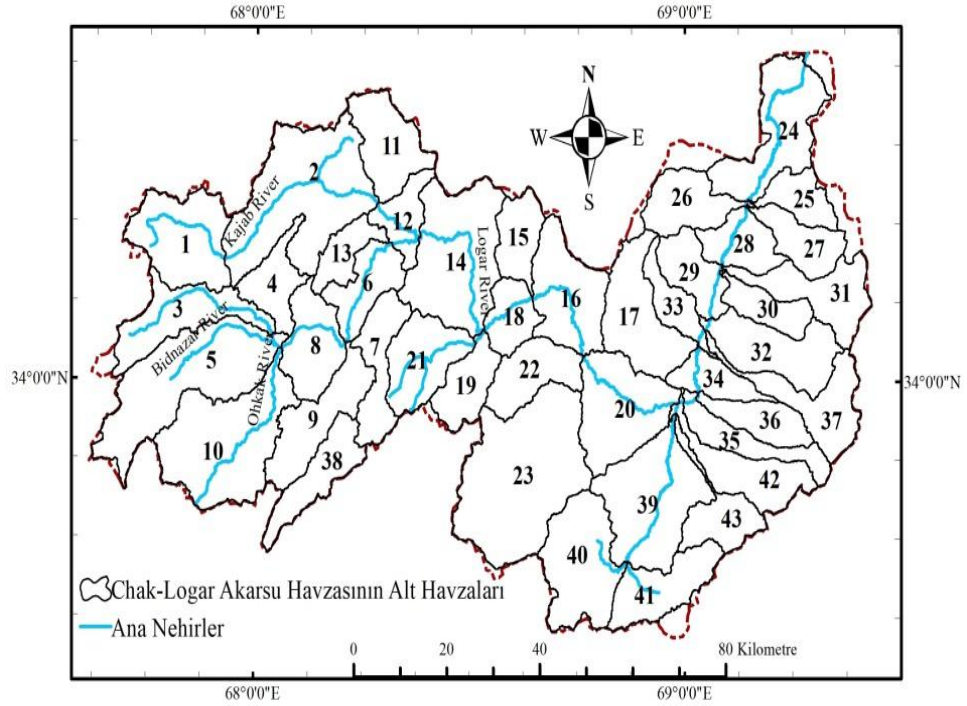
Şekil 4.25. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın yağış-akış yüksekliği ve yağış-akış hacim grafiği



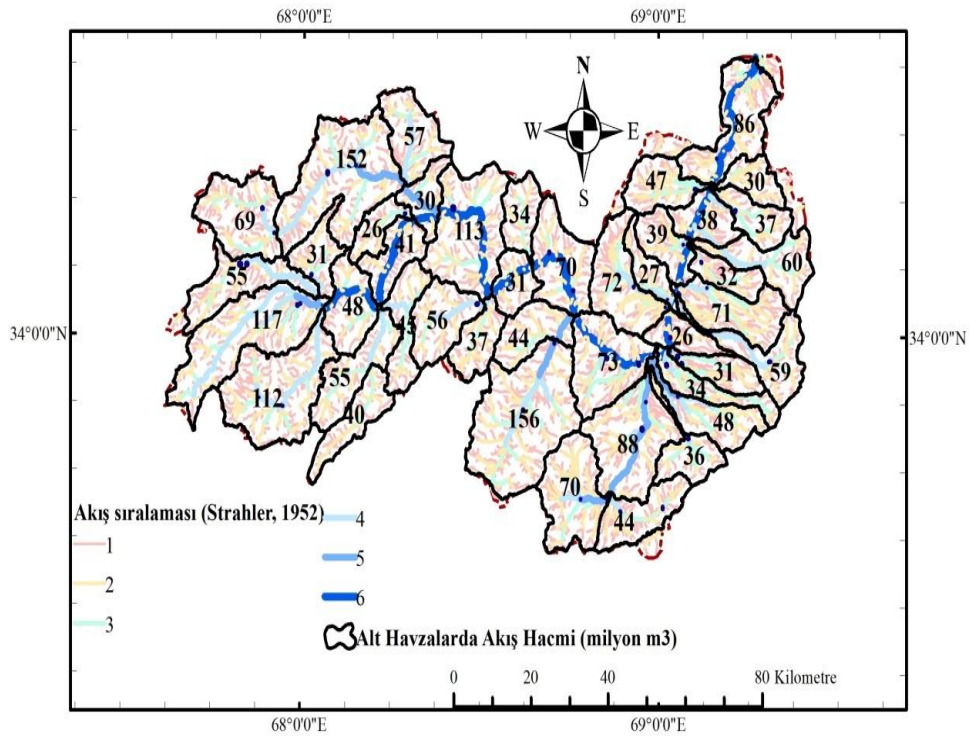
Şekil 4.26. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın alt havzalar bazında yağış-akış ilişkisi

Havzada 2463 milyon m^3 su akışı oluşmaktadır. Bunun yanı sıra havzada potansiyel su tutma kapasitesinin hacmi 857 milyon m^3 ve ilk kayıplar ise 171 milyon m^3

olarak elde edilmiştir (Şekil 4.27). Chak-Logar Akarsu Havzası'nda tarımsal alanların yoğun olduğu bölgelerde alt havzaların alanı da yüksek olup ona göre daha çok su toplama potansiyeli tarım alanlarının yoğun olduğu (23, 39 ve 20 nolu alt havzalarda) bulunmaktadır.



a) Alt havzaların numaraları



b) Yıllık akış hacmi (milyon m³)

Şekil 4.27. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın a) alt havzaların numaraları ve b) yıllık akış hacmi (Mm³)

Çizelge 4.30. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın hidrolojik karakterizasyonun özet tablosu

#	P (mm)	CN	Alan (km ²)	S (mm)	S (Mm ³)	Ia (mm)	Ia (Mm ³)	Q (mm)	Q (Mm ³)	S (%)	Ia (%)	Q (%)
1	321	74.12	293	89	26	18	5	235	69	28	6	73
2	360	74.12	559	89	50	18	10	272	152	25	5	76
3	321	74.12	235	89	21	18	4	235	55	28	6	73
4	321	74.12	132	89	12	18	2	235	31	28	6	73
5	329	74.12	483	89	43	18	9	242	117	27	5	74
6	352	74.12	156	89	14	18	3	264	41	25	5	75
7	351	74.12	170	89	15	18	3	263	45	25	5	75
8	329	74.12	196	89	17	18	3	242	48	27	5	74
9	329	74.12	225	89	20	18	4	242	55	27	5	74
10	329	74.12	462	89	41	18	8	242	112	27	5	74
11	360	74.12	208	89	18	18	4	272	57	25	5	76
12	352	74.12	112	89	10	18	2	264	30	25	5	75
13	352	74.12	100	89	9	18	2	264	26	25	5	75
14	351	74.12	428	89	38	18	8	263	113	25	5	75
15	351	74.12	128	89	11	18	2	263	34	25	5	75
16	351	74.12	266	89	24	18	5	263	70	25	5	75
17	356	74.12	267	89	24	18	5	268	72	25	5	75
18	351	74.12	116	89	10	18	2	263	31	25	5	75
19	351	74.12	139	89	12	18	2	263	37	25	5	75
20	322	74.12	311	89	28	18	6	236	73	28	6	73
21	351	74.12	213	89	19	18	4	263	56	25	5	75
22	336	74.12	176	89	16	18	3	249	44	26	5	74
23	336	74.12	625	89	55	18	11	249	156	26	5	74
24	366	74.12	311	89	28	18	6	278	86	24	5	76
25	366	74.12	109	89	10	18	2	278	30	24	5	76
26	363	74.12	170	89	15	18	3	275	47	24	5	76
27	363	74.12	136	89	12	18	2	275	37	24	5	76
28	363	74.12	139	89	12	18	2	275	38	24	5	76
29	363	74.12	144	89	13	18	3	275	39	24	5	76
30	377	74.12	110	89	10	18	2	288	32	24	5	76
31	377	74.12	209	89	19	18	4	288	60	24	5	76
32	377	74.12	248	89	22	18	4	288	71	24	5	76
33	356	74.12	100	89	9	18	2	268	27	25	5	75
34	322	74.12	108	89	10	18	2	236	26	28	6	73
35	330	74.12	139	89	12	18	2	243	34	27	5	74
36	330	74.12	128	89	11	18	2	243	31	27	5	74
37	377	74.12	205	89	18	18	4	288	59	24	5	76
38	329	74.12	165	89	15	18	3	242	40	27	5	74
39	311	74.12	393	89	35	18	7	225	88	29	6	72
40	311	74.12	312	89	28	18	6	225	70	29	6	72
41	311	74.12	196	89	17	18	3	225	44	29	6	72
42	330	74.12	197	89	18	18	4	243	48	27	5	74
43	330	74.12	147	89	13	18	3	243	36	27	5	74

4.17 Chak-Logar Akarsu Havzası için Önerilen Su Hasadı Yapıları

Çalışma kapsamında önerilen 45 su hasadı yapısı CBS ve AHP tabanlı ÇKKA çıktılarının sistematik değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Sayının belirlenmesinde jeofiziksel uygunluk, hidrolojik denge, sosyoekonomik erişilebilirlik ve yatırım ölçeği gibi birden fazla faktör birlikte dikkate alınmıştır.

Öncelikle 16 biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörün (yağış, drenaj yoğunluğu, toprak dokusu, eğim, yerleşim ve tarım alanına uzaklık, yollar, çeşmeler vb. ağırlıklandırılmasıyla oluşturulan su hasadı uygunluk haritalarında, en yüksek uygunluk sınıfına giren alanlar CBS ortamında mekânsal istatistiksel analizle kümelenmiştir. Her bir kümelenmiş bölge, hidrolojik olarak birbirinden bağımsız olacak biçimde sınırlandırılmış ve yalnızca orta, yüksek ve çok yüksek uygunluk seviyesindeki sahalar değerlendirmeye alınmıştır. Bu analiz sonucunda hidrolojik ve mekânsal açıdan birbirinden bağımsız 45 potansiyel yapı alanı belirlenmiştir. EK-4'te Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının özet tablosu verilmiştir.

Bu sayı hem mekânsal temsiliyet hem de hidrolojik denge açısından optimum değeri ifade etmektedir. Daha az sayıda yapı seçilmesi durumunda, havzanın tüm yüksek uygunluk alanlarının kapsanması mümkün olmayacak; daha fazla yapı seçimi ise sahalar arasında mekânsal çakışmalara, yatırım tekrarına ve su toplama kapasitesinde dengesizliğe neden olabilir. Bu nedenle 45 adet yapı hem hidrolojik kapasite hem de uygulanabilirlik dengesi gözetilerek en uygun sayı olarak belirlenmiştir.

Chak-Logar Akarsu Havzası'nda toplamda 12 adet kontrol barajları su hasadı, taşkın kontrolü ve yeraltı suyu reşarj amaçlı inşa edilmiştir. Bunlardan 8 adet kontrol barajları Logar ilinde ve geri kalan 4 adet ise Wardak ilinde yer almaktadır. Bunun yanı sıra havzanın Wardak ilinde Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı tarafından toplamda 8 adet barajlar planlanmıştır. EK-8'de Chak-Logar Akarsu Havzası'nın il ve ilçe bazında kapladığı alan verilmiştir.

Bu çalışma sonucunda Chak-Logar akarsu havzası için su hasadı uygunluk haritasını dikkate alarak toplamda 45 adet mezo ve mikro havza ölçekli su hasadı yapıları önerilmiştir (Şekil 4.28; Şekil 4.29; Çizelge 4.31). Mikro havza ölçekli su hasadı yapıları çiftlik düzeyinde kullanılır. Bunlarda kontur setleri, hendekler, kontrol barajlar, yarık tıkaçları, çiftlik göletleri ve yeraltı suyu reşarj çukurları yer almaktadır. Mezo havza su hasadı yapıları dağ vadisi düzeyinde kullanılır. Bunlarda perkolasyon havuzları, kontrol barajlar, küçük rezervuarlar, yeniden reşarj ve depolama havuzları yer almaktadır.

Çizelge 4.31. Chak-Logar Akarsu Havzası için bu çalışmada önerilen mikro havza ve mezo havza ölçekli su hasadı yapıları

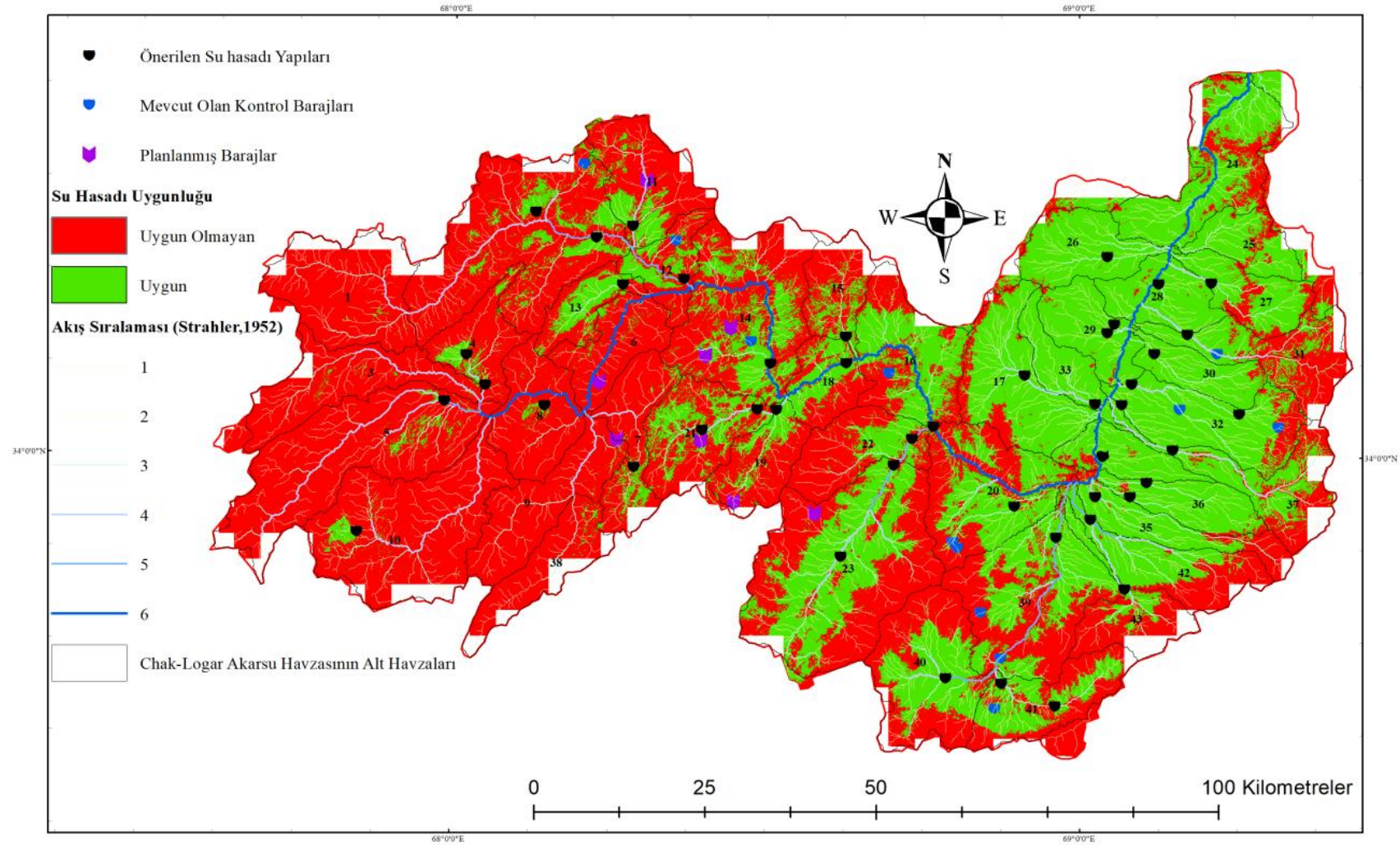
#	Toplama alanı (km ²)	Havza Türü	Su hasadı potansiyeli (Mm ³)	Boylam	Enlem	Uygunluk	Eğim (derece)	Akış Sırası
1	10,56	Mikro	2,87	68,23	34,30	Yüksek	0-5	2
2	12,11	Mikro	3,29	68,13	34,33	Orta	0-5	2
3	54,40	Mezo	12,82	68,02	34,14	Yüksek	0-5	3
4	46,44	Mikro	10,95	68,05	34,10	Yüksek	0-5	3
5	356,74	Mezo	86,46	67,99	34,07	Yüksek	0-5	4
6	61,14	Mezo	16,15	68,29	33,99	Yüksek	0-5	3
7	8,34	Mikro	2,04	68,15	34,07	Orta	15-20	3
8	7,01	Mikro	1,70	67,85	33,90	Yüksek	0-5	2
9	167,70	Mezo	45,95	68,29	34,31	Orta	0-5	4
10	64,01	Mezo	17,08	68,37	34,24	Orta	0-5	5
11	81,11	Mezo	21,03	68,27	34,23	Orta	5-15	3
12	350,96	Mezo	92,60	68,51	34,13	Yüksek	0-5	3
13	111,46	Mezo	29,63	68,63	34,16	Orta	5-15	3
14	266,19	Mezo	70,00	68,77	34,04	Yüksek	0-5	5
15	121,85	Mezo	32,84	68,91	34,11	Çok yüksek	0-5	3
16	92,88	Mezo	24,76	68,63	34,13	Çok yüksek	0-5	4
17	121,29	Mezo	32,33	68,52	34,07	Çok yüksek	0-5	4
18	26,35	Mikro	6,18	68,90	33,94	Orta	0-5	3
19	118,64	Mezo	31,24	68,40	34,04	Yüksek	5-15	4
20	68,00	Mezo	17,90	68,49	34,07	Orta	5-15	4
21	145,65	Mezo	36,47	68,73	34,03	Yüksek	0-5	5
22	289,10	Mezo	72,19	68,62	33,87	Yüksek	0-5	4
23	297,47	Mezo	74,28	68,70	33,99	Orta	5-15	5
24	85,21	Mezo	23,62	69,05	34,27	Orta	5-15	3
25	102,90	Mezo	28,02	69,21	34,24	Çok yüksek	5-15	4
26	53,10	Mezo	14,50	69,13	34,24	Çok yüksek	0-5	3
27	48,68	Mikro	13,23	69,05	34,17	Çok yüksek	0-5	3
28	26,01	Mikro	7,07	69,06	34,18	Çok yüksek	0-5	3
29	85,96	Mezo	24,98	69,12	34,14	Yüksek	0-5	3
30	171,82	Mezo	49,36	69,17	34,17	Çok yüksek	0-5	4
31	46,19	Mikro	13,22	69,26	34,06	Çok yüksek	0-5	3
32	123,28	Mezo	35,30	69,08	34,10	Yüksek	0-5	4
33	44,22	Mikro	12,66	69,07	34,07	Çok yüksek	0-5	3
34	82,15	Mezo	22,24	69,03	34,07	Yüksek	0-5	4
35	35,12	Mikro	8,42	69,04	34,00	Çok yüksek	0-5	2
36	110,35	Mezo	26,99	69,03	33,95	Yüksek	0-5	4
37	57,78	Mezo	13,99	69,11	33,97	Yüksek	0-5	3
38	36,54	Mikro	8,85	69,08	33,95	Çok yüksek	0-5	3
39	183,92	Mezo	52,90	69,15	34,01	Çok yüksek	0-5	4
40	277,66	Mezo	62,22	68,96	33,89	Yüksek	0-5	5
41	173,87	Mezo	39,05	68,79	33,70	Çok yüksek	0-5	5
42	84,21	Mezo	18,95	68,96	33,67	Orta	0-5	3
43	76,88	Mezo	17,30	68,88	33,70	Orta	0-5	4
44	176,53	Mezo	42,91	69,02	33,92	Çok yüksek	0-5	5
45	127,10	Mezo	31,20	69,07	33,82	Yüksek	0-5	4

Önerilen su hasadı yapılarından 33 mezo havza ölçeğinde ve 12 mikro havza ölçeğinde su hasadı yapılarıdır. Logar ilinde toplamda 24 su hasadı yapıları önerilmiş olup bunlarda 17 adet mezo havza ölçeğinde ve 7 adet mikro havza ölçeğinde su hasadı yapıları yer almaktadır. Wardak ilinde 27 adet su hasadı yapıları önerilmiş olup bunlarda 15 mezo havza ölçeğinde ve 4 mikro havza ölçeğinde su hasadı yer almaktadır. Gazni ilinde ise bir adet mezo havza ölçeğinde ve bir adet mikro havza ölçeğinde su hasadı yapıları yer almaktadır.

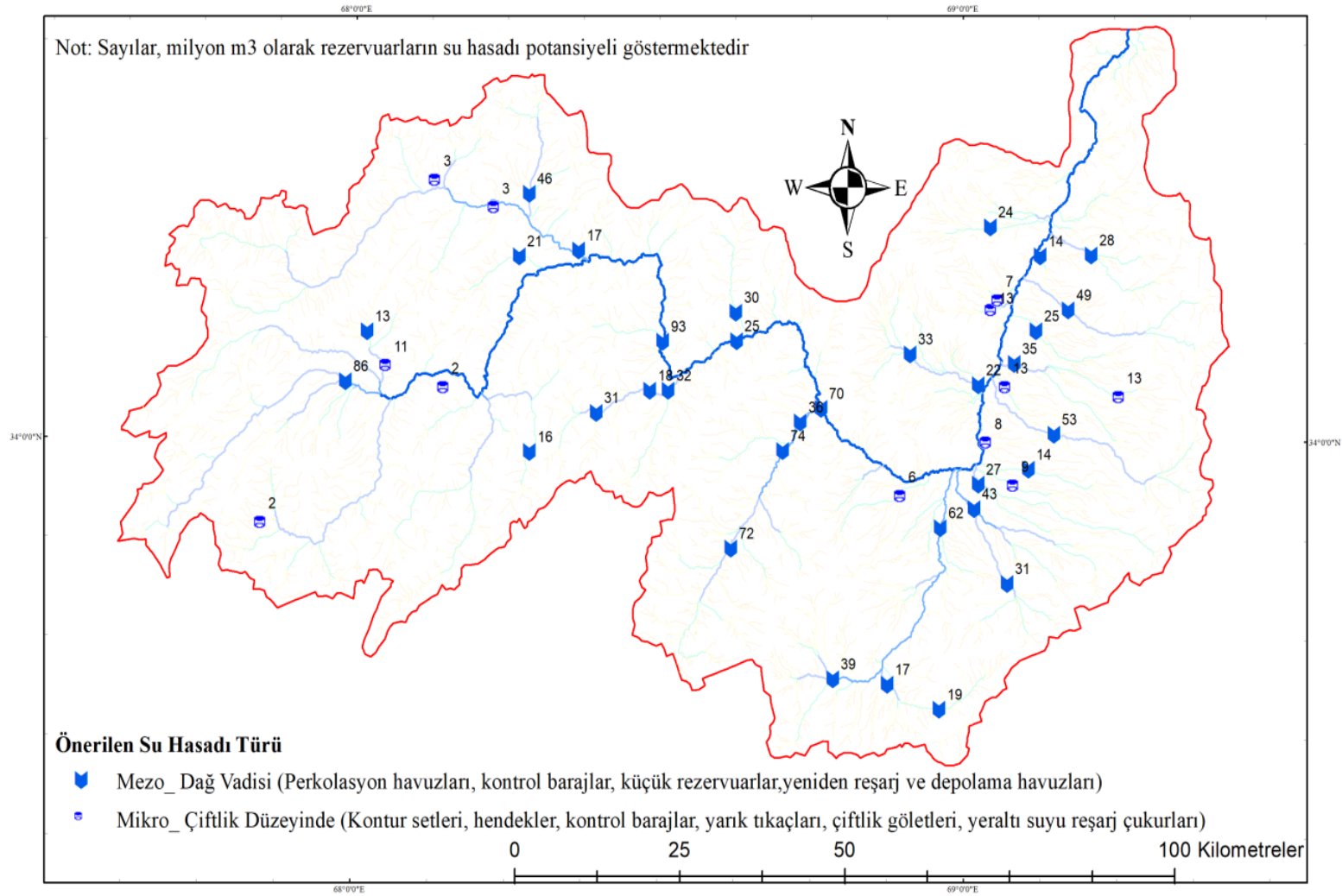
Önerilen su hasadı yapıları toplamda 1308 milyon m³ su hasadı potansiyeline (havzanın %53) sahiptir. Havzada tarımsal sulama, evsel ve hayvancılığın toplam su ihtiyacı ise 376 milyon m³/yıl civarındadır. Buna göre, hasat edilebilecek su ile tarımsal alanların ve sosyo-ekonomik geliştirme potansiyeli yatmaktadır.

Kabul Akarsu Havzasının kontrol barajlarının ortalama, minimum ve maksimum maliyeti sırasıyla 45714, 8889 ve 176548 Amerikan doları civarındadır. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın kontrol barajlarının ise ortalama, minimum ve maksimum maliyeti sırasıyla 51454, 12809 ve 130079 Amerikan doları civarındadır (Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı verisi: EK-2).

Dünyanın farklı bölgelerde su hasadı uygunluk haritaları dikkate alınarak birçok çalışma yürütülmüştür. Irak'ta potansiyel baraj yerleri, barajların arkasında depolanabilecek mevcut akış tahminlerine dayanarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda, CBS ile belirlenen uygun alanlarla uyumlu 39 potansiyel yer önerilmiştir (Adham ve diğ., 2018). Ürdün'de su hasadı yapı önerileri üzerine yapılan bir çalışmada, disiplinler arası bir ekip çalışma alanını ziyaret etti. Ekip, farklı su hasadı müdahaleleri için arazi uygunluk haritasını, potansiyel toprak barajların ve küçük göletler konumlarına ilişkin bilgileri, ayrı bir hidrolojik analizden elde edilen sonuçları, uydu görüntülerini, elde taşınan GPS cihazını ve kadastro haritalarını kullandı (Ziadat ve diğ., 2012). Hindistan'da uygunluk haritaları ve akarsu sırasına göre su hasadı yapılarının inşası için çeşitli alanlar önerilmiştir. Bunlar arasında 32 adet uygun kontrol barajı alanı, 17 adet toprak baraj alanı, 35 adet sızdırma tankı alanı, 24 adet çiftlik göleti alanı ve 19 adet oluk tıpası alanı bulunmaktadır (Bera ve Mukhopadhyay, 2023). Mısır'da yapılan bir çalışmada AHP kullanılarak kontrol barajları, çiftlik göletleri ve süzülme havuzlarının uygunluk haritaları oluşturulmuştur (Abdalla, 2025). Tanzanya'da, su hasadına uygun arazide 80 yerler, su tutma havzaları inşa etmek üzere belirlenmiştir. İlk on öncelikli yerler, kentsel alanın merkezinde yer almakta olup, su hasadının acilen uygulanması için önerilmektedir (Kansal ve diğ., 2026).



Şekil 4.28. Chak-Logar Akarsu Havzası'nın su hasadı için uygunluk haritası, havzada mevcut olan ve önerilen su hasadı yapıları



Şekil 4.29. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen mikro havza ve mezo havza ölçeğinde su hasadı türleri

4.18 Su Hasadı Yapılarının Seçimi ve Kullanım Amacına Göre Belirlenmesi

Chak-Logar akarsu havzası için geliştirilen model sonuçlarına dayanarak toplam 45 adet mezo ve mikro havza ölçekli su hasadı yapıları önerilmiştir. Bu yapıların seçiminde hem jeofiziksel hem de sosyoekonomik kriterler dikkate alınmış; modelin sonuçları AOK-EAA (ROC-AUC) yöntemi ile doğrulanmıştır. Bu doğrulama, mevcut 12 kontrol barajının konumları üzerinden yapılmış modelin tahmin doğruluğu %62,6 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, önerilen su hasadı sahalarının orta düzeyde güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Önerilen su hasadı yapılarının belirlenmesinde kullanılan jeofiziksel kriterler; eğim, toprak dokusu, drenaj yoğunluğu, hidrolojik toprak grubu, arazi kullanımı/örtüsü, yağış miktarı ve jeomorfoloji gibi faktörleri kapsamaktadır. Sosyoekonomik kriterler ise tarım alanlarına yakınlık, yerleşim merkezlerine yakınlık, ulaşım altyapısına erişim ve arazinin kullanım potansiyeli gibi kriterlerden oluşmaktadır.

Model sonuçlarıyla belirlenen uygun alanlar çapraz doğrulama yöntemiyle yeniden değerlendirilmiş; her bir önerilen sahada jeofiziksel uygunluk ve sosyoekonomik erişilebilirlik birlikte analiz edilmiştir. Böylece, yalnızca doğal koşullar açısından değil, aynı zamanda insan kullanımı açısından da rasyonel ve uygulanabilir alanların belirlenmesi hedeflenmiştir.

Su hasadı yapılarının kullanım amacı, konumları ve çevresel bağlamları dikkate alınarak üç ana grupta sınıflandırılmıştır:

1.Tarımsal Kullanım Amaçlı Su Hasadı Yapıları: Tarımsal alanlara yakın bölgelerde önerilen bu yapılar, doğrudan yağış sularının depolanması ve yüzey akışının yönlendirilmesi yoluyla tarımsal üretimi desteklemektedir. Bu kapsamdaki yapılar genellikle mikro havza ölçekli olup; kontur setleri, hendekler, yarık tıkaçları, küçük göletler ve yeraltı suyu besleme çukurları şeklindedir. Bu tür yapılar, toprak neminin korunması ve bitki su stresinin azaltılmasında etkin rol oynamaktadır.

2.Evsel ve Yerleşim Amaçlı Su Hasadı Yapıları: Yerleşim merkezlerine ve kırsal yerleşim alanlarına yakın bölgelerde önerilen su hasadı yapıları, evsel su temini, hayvancılık faaliyetleri ve küçük ölçekli sulama ihtiyaçlarını karşılamaya yöneliktir. Bu tür yapılar genellikle küçük barajlar, göletler ve su toplama tankları şeklindedir. Suyun

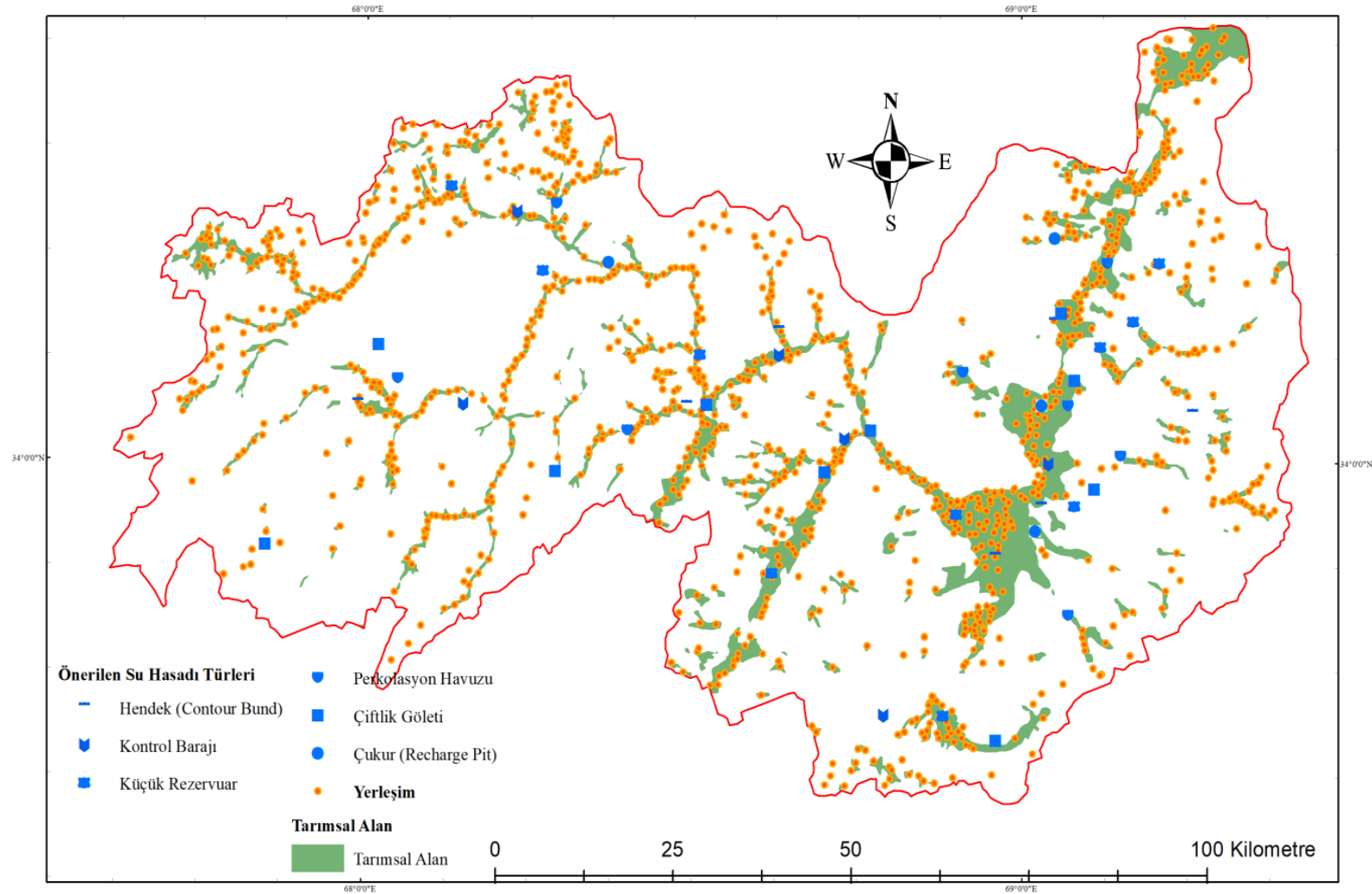
yerel ölçekte depolanarak kullanılabilir hale getirilmesi, özellikle kurak dönemlerde su güvenliğine katkı sağlamaktadır.

3. Taşkın Kontrolü ve Kuraklıkla Mücadele Amaçlı Su Hasadı Yapıları: Tarım ve yerleşim alanlarından uzakta, geniş alt havza toplama alanlarına sahip bölgelerde önerilen yapılar mezo havza ölçeklidir. Bu yapılar arasında perkolasyon havuzları, küçük rezervuarlar, taşkın dengeleme yapıları ve yeraltı suyu besleme havuzları yer almaktadır. Bu tür yapılar hem taşkın riskini azaltma hem de kurak dönemlerde yeraltı suyu reşarj amacı taşımaktadır. Bu kapsamda, Chak-Logar akarsu havzası için önerilen toplam 45 adet su hasadı yapısı; 33 adet mezo havza ölçekli ve 12 adet mikro havza ölçekli olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Bu yapılar, toplamda yaklaşık 1308 milyon m³ su hasadı potansiyeline sahip olup, bölgenin tarımsal, evsel ve çevresel su güvenliği açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Ayrıca, bu planlama yaklaşımı ile önerilen su hasadı yapılarının hem bilimsel model sonuçlarıyla hem de sosyoekonomik gereksinimlerle uyumlu olduğu ortaya konmuştur.

Önerilen su hasadı yapıların kullanım amacı, tarım alanına ve yerleşim merkezine uzaklık analizleriyle belirlenmiştir. Mikro havza ölçekli yapılar (12 adet), çiftlik düzeyinde, doğrudan tarımsal üretim ve yeraltı suyu beslemesi için önerilmiştir. Mezo havza ölçekli yapılar (33 adet), alt havza düzeyinde, taşkın kontrolü, su depolama ve çok amaçlı kullanım için önerilmiştir. Tüm yapılar, modelin uygunluk haritası ve ROC doğrulaması sonuçlarına dayalıdır. CBS’de mekânsal istatistik aracının komşudan uzaklık bandının hesaplamasıyla önerilen su hasadı yapıları arasında minimum, ortalama ve maksimum uzaklıklar sırasıyla 1673 m, 6764 ve 23411 m civarında elde edilmiştir.

Kontrol barajların yer seçimi için genellikle 5–15° eğim dikkate alınmakta 2., 3. ve 4. derece akış üzerine yerleri seçilmektedir (Pandey ve diğ., 2011; Ettazarini, 2021). Havzada kontrol barajlarının inşası için 6 potansiyel yerler önerilmiştir (Şekil 4.30). Küçük rezervuar için önerilen yerler 2., 3. ve 4. dereceden akış üzerine seçilmiştir (Hashim ve Sayl, 2021). Toplam 10 adet küçük rezervuar yerleri önerilmiştir (Şekil 4.30). Perkolasyon havuzların alanları 1. ve 2. dereceden akış üzerine seçilmiştir (Jha ve diğ., 2014; Rais ve Javed, 2014). Önerilen alanlar çoğunlukla orta derecede dik yamaçlara sahip tarım arazileri ve boş alanlardır. Perkolasyon havuzları için 8 potansiyel yerler önerilmiştir (Şekil 4.30). Çiftlik göleti, su hasadı için önemli ve sürdürülebilir bir yapıdır. Çiftlik göletinin yer seçimi için 1. derece akış ve çevresindeki bölgeler seçilmiştir (Kadam ve diğ., 2012; Singh ve diğ., 2017). Çiftlik göletlerinin inşası için 10 potansiyel yer önerilmiştir.



Şekil 4.30. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı türleri, tarımsal alan ve yerleşim yerleri

Çizelge 4.32. Chak-Logar Akarsu Havzası için önerilen mikro ve mezo havza su hasadı yapıları, türleri ve kullanım amaçları

No	Havza Ölçeği	Yapı Türü	Konum Özelliği	Temel Kullanım Amacı	Boylam	Enlem
1	Mezo	Kontrol Barajı	Tarım alanına yakın	Tarımsal sulama ve yeraltı suyu beslemesi	68,23	34,30
2	Mezo	Küçük Rezervuar	Tarım + yerleşim	Tarım ve evsel kullanım	68,13	34,33
3	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Tarımsal sulama	68,02	34,14
4	Mezo	Perkolasyon Havuzu	Tarım alanı yakınında	Yeraltı suyu beslenmesi, sulama desteği	68,05	34,10
5	Mikro	Hendek (Contour Bund)	Tarım alanı yakınında	Toprak nemini koruma, yüzey akışı azaltma	67,99	34,07
6	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarım alanı yakınında	Tarımsal destek	68,29	33,99
7	Mezo	Kontrol Barajı	Yerleşime yakın	Evsel ve hayvancılık	68,15	34,07
8	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Tarımsal su temini	67,85	33,90
9	Mezo	Perkolasyon Havuzu	Tarımsal ve yerleşim alanlarından uzak	Kuraklıkla mücadele ve taşkın kontrolü	68,29	34,31
10	Mikro	Çukur (Recharge Pit)	Tarımsal alan içinde	Yeraltı suyu beslemesi	68,37	34,24
11	Mezo	Küçük Rezervuar	Tarım alanı yakınında	Sulama, su depolama	68,27	34,23
12	Mezo	Küçük Rezervuar	Yerleşim yakınında	Evsel ve hayvancılık	68,51	34,13
13	Mikro	Hendek (Contour Bund)	Tarımsal alan içinde	Tarım ve toprak koruma	68,63	34,16
14	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Tarımsal üretim desteği	68,77	34,04
15	Mezo	Perkolasyon Havuzu	Tarım alanından uzak	Yeraltı suyu beslemesi, taşkın kontrolü	68,91	34,11
16	Mezo	Kontrol Barajı	Tarım alanına yakın	Tarımsal kullanım	68,63	34,13
17	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Toprak nemi ve sulama	68,52	34,07
18	Mezo	Küçük Rezervuar	Yerleşim yakınında	Evsel kullanım	68,90	33,94
19	Mezo	Perkolasyon Havuzu	Tarımsal ve yerleşim alanlarından uzak	Taşkın kontrolü	68,40	34,04
20	Mikro	Hendek (Contour Bund)	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	68,49	34,07
21	Mezo	Kontrol Barajı	Tarım ve mera alanı kesişimi	Sulama ve hayvancılık	68,73	34,03
22	Mezo	Küçük Rezervuar	Tarım alanına yakın	Tarımsal kullanım	68,62	33,87
23	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	68,70	33,99
24	Mikro	Çukur (Recharge Pit)	Tarımsal alan içinde	Yeraltı suyu takviyesi	69,05	34,27
25	Mezo	Küçük Rezervuar	Yerleşime yakın	Evsel su temini	69,21	34,24
26	Mezo	Perkolasyon Havuzu	Tarımsal ve yerleşim alanlarından uzak	Kuraklık ile mücadele	69,13	34,24
27	Mikro	Hendek (Contour Bund)	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	69,05	34,17
28	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	69,06	34,18
29	Mezo	Küçük Rezervuar	Yerleşim + tarım	Karma kullanım	69,12	34,14
30	Mezo	Küçük Rezervuar	Tarım alandan uzak	Taşkın kontrolü	69,17	34,17
31	Mikro	Hendek (Contour Bund)	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	69,26	34,06
32	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	69,08	34,10
33	Mezo	Perkolasyon Havuzu	Tarım alandan uzak	Yeraltı suyu beslemesi	69,07	34,07
34	Mikro	Çukur (Recharge Pit)	Tarımsal alan içinde	Tarımsal ve yeraltı suyu	69,03	34,07
35	Mezo	Kontrol Barajı	Tarım alanına yakın	Tarımsal kullanım	69,04	34,00
36	Mikro	Hendek (Contour Bund)	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	69,03	33,95
37	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	69,11	33,97
38	Mezo	Küçük Rezervuar	Tarım alanından uzak	Taşkın kontrolü	69,08	33,95
39	Mezo	Perkolasyon Havuzu	Tarım alanından uzak	Kuraklıkla mücadele	69,15	34,01
40	Mikro	Hendek (Contour Bund)	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	68,96	33,89
41	Mezo	Kontrol Barajı	Yerleşime yakın	Evsel kullanım	68,79	33,70
42	Mikro	Çiftlik Göleti	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	68,96	33,67
43	Mezo	Küçük Rezervuar	Tarım alanından uzak	Taşkın ve kuraklık	68,88	33,70
44	Mikro	Çukur (Recharge Pit)	Tarımsal alan içinde	Tarımsal kullanım	69,02	33,92
45	Mezo	Perkolasyon Havuzu	Tarım ve yerleşimden uzak	Taşkın kontrolü ve yeraltı suyu beslemesi	69,07	33,82

Önerilen su hasadı yapılarından 7 adet hendek (contour bund) ve 10 adet çiftlik göleti tarımsal kullanım için dikkate alınmıştır. 4 adet çukur (recharge pit) ise yeraltı suyu beslenmesi ve tarımsal kullanım için dikkate alınmıştır. Buna ek olarak 10 adet küçük rezervuar, 6 adet kontrol barajı ve 8 adet perkolasyon havuzu karma kullanım için önerilmiştir. Karma kullanım olarak tarımsal sulama ve yeraltı suyu beslemesi, evsel su temini ve hayvancılık su temini, taşkın ve kuraklıkla mücadele amaçlı önerilmiştir (Şekil 4.30; Çizelge 4.32).

Önerilen her bir yapı için alan genelinde teorik su toplama potansiyeli milyon m³ düzeyine ulaşsa da yatırım kısıtları ve arazi kullanım sınırlamaları nedeniyle çalışmada düşük ve orta kapasiteli su hasadı yapıları tercih edilmiştir. Bu yapıların etkin depolama hacmi ve yakalama verimi, büyük ölçekli rezervuarlara kıyasla daha düşüktür. Ayrıca küçük yapıların yüzey alanı-hacim oranı yüksek olduğundan, buharlaşma kayıpları ve infiltrasyon kaçakları toplam depolanabilir suyu sınırlamaktadır. Bunun sonucunda, önerilen sistemlerin gerçekleştirilebilir yıllık su hasadı, alanın maksimum hidrolojik potansiyelinin altında kalmaktadır. Maksimum su hasadı elde edebilmek için, saha genelinde daha yüksek etkin depolama ve yakalama verimine sahip ardışık küçük ölçekli önerilen sayıdan daha fazla su hasadı yapılarının inşası gerekmektedir. Önerilen yapıların sayısı ve kapasitesi yatırım, arazi ve bakım kısıtları nedeniyle sınırlı tutulduğundan, toplam gerçekleştirilebilir su hasadı, alanın teorik maksimum potansiyelinin altında kalmaktadır. Bu durum, saha koşullarına göre mühendislik ve işletme fizibilitesi yüksek doğal çözümlerin öncelenmesinde kaynaklanmaktadır.

4.19 Su Hasadında Yapım Maliyetine Göre Alternatif Senaryolarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde önerilen 45 adet su hasadı yapısı açısından değerlendirilmiş farklı bütçe düzeylerine uygun alternatif yatırım senaryoları geliştirilmiştir. Analiz, yapım maliyetine dayalı dört sınıfta yürütülmüştür. Analizde kullanılan veriler, CBS ortamında elde edilen su hasadı aday noktalarına ait hasat potansiyeli, yapım maliyeti milyon ve havza tipi mikro/mezo içermektedir.

Su hasadı yapım maliyet verileri, çalışma alanında proje benzerliği ve birim yapı hacmi başına ortalama inşaat maliyeti 0,8 Amerikan doları/m³ esas alınarak hesaplanmıştır. Düşük maliyetli yapılar yüksek öncelik, yüksek maliyetli yapılar ise düşük öncelik olarak değerlendirilmiştir. Her maliyet grubu CBS ortamında farklı

sınıfları ile haritalandırılmıştır. Böylece, düşük maliyetli ve yüksek potansiyelli yapıların mekânsal dağılımı kolaylıkla analiz edilmiştir.

Elde edilen sınıflara göre dört senaryo geliştirilmiştir (Çizelge 4.33). Senaryo değerlendirmesinde yapım maliyeti, su hasadı potansiyeli, uygulama ölçeği ve bölgesel öncelikle yerleşim ve tarımsal alan yakınlığı dikkate alınmıştır.

Senaryo 1 (1–10 milyon Amerikan doları): Bu grupta çoğunlukla mikro havza tipinde küçük ölçekli yapılar yer almaktadır. Ortalama yapım maliyeti 4,5 milyon Amerikan doları olup toplam yaklaşık 51 milyon m³ su hasadı potansiyeline sahiptir. Bu yapılar düşük yatırım gerektirdiği, yerel malzemelerle kolay inşa edilebildiği ve bakım maliyetlerinin düşük olduğu için ilk uygulanması gereken öncelikli grup olarak değerlendirilmektedir. Yerel halkın katılımı ve topluluk bazlı yönetim açısından da uygundur.

Senaryo 2 (10–20 milyon Amerikan doları): Bu kategoride hem mikro hem mezo ölçekli karma yapılar yer almaktadır. Ortalama maliyet 14 milyon Amerikan doları civarındadır. Yaklaşık 285 milyon m³ su hasadı potansiyeline sahiptir. Bu yapıların çoğu mevcut ulaşım altyapısına yakın alanlarda yer almakta olup, ikinci öncelik olarak önerilmektedir. Orta ölçekli pilot uygulamalar için idealdir.

Senaryo 3 (20–40 milyon Amerikan doları): Bu gruptaki yapılar genellikle mezo ölçekli baraj ve perkolasyon havuzlarıdır. Ortalama maliyet 28 milyon Amerikan doları civarında olup toplam su hasadı potansiyeli yaklaşık 461 milyon m³'tür. Bu yapılar, bölgesel su depolama kapasitesini artırmada stratejik rol oynasa da arazi hazırlığı ve mühendislik giderleri nedeniyle maliyet yüksektir. Üçüncü aşama uygulama olarak planlanması önerilir.

Senaryo 4 (40–75 milyon Amerikan doları): Bu grupta 7 büyük mezo havza yapısı bulunmaktadır. Ortalama maliyet 58 milyon Amerikan doları olup toplam su hasadı potansiyeli yaklaşık 511 milyon m³'tür. Stratejik öneme sahip bu yapılar, geniş tarımsal alanlara hizmet edecek şekilde planlanabilir. Ancak yüksek yatırım maliyeti, uzun inşaat süresi ve bakım ihtiyacı nedeniyle son aşama (4. öncelik) olarak değerlendirilmiştir.

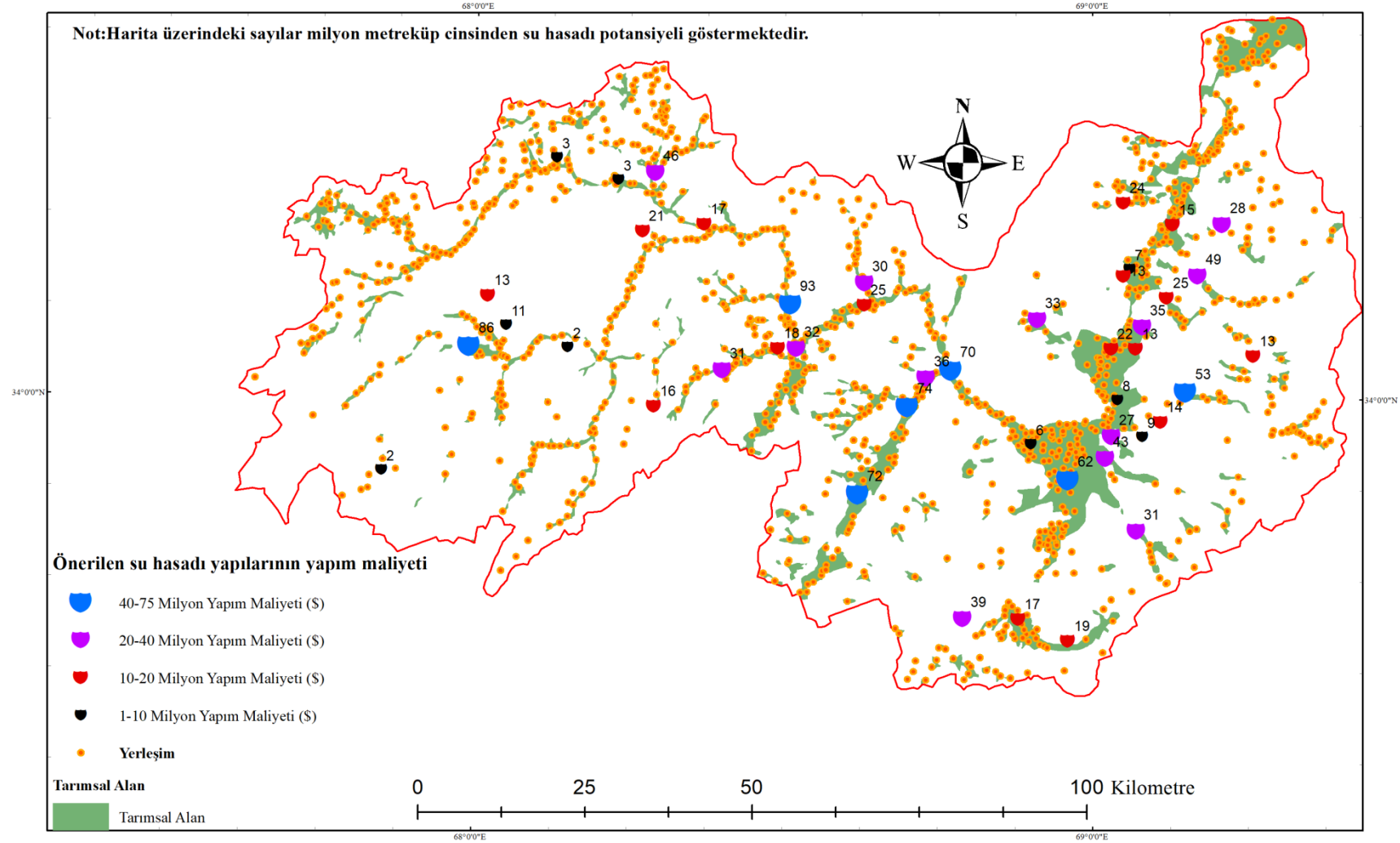
Analiz sonucunda düşük maliyetli mikro yapılar (1–10 milyon Amerikan doları) ülkedeki siyasi istikrarsızlık, ulusal ve uluslararası destek olmadığı için su hasadı programının ilk aşamasında bu az maliyeti gerektiren yapılar önceliklendirilmelidir. Ardından 10–20 ve 20–40 milyon Amerikan doları aralığındaki orta ölçekli projelere geçilmelidir. Yüksek maliyetli yapılar (40–75 milyon Amerikan doları) ise en son faz veya uzun dönemli stratejik yatırımlar kapsamında planlanmalıdır. Önerilen su hasadı

yapılarının yapım maliyeti Şekil 4.31’de gösterilmiştir. Harita üzerindeki sayılar milyon metreküp cinsinden önerilen yapıların su hasadı potansiyeli göstermektedir. EK-5’te Chak-Logar Akarsu Havzası’nda önerilen su hasadı yapılarının su hasadı potansiyeli ve maliyeti verilmiştir.

Kademeli yatırım planlaması yapılmasına olanak tanımakta ve karar vericilere bütçe esnekliği sağlamaktadır. Bu yaklaşım hem finansal sürdürülebilirliği hem de uygulama esnekliğini artırmaktadır. Özellikle düşük maliyetli yapıların önceliklendirilmesinin, yerel toplulukların katılımını teşvik ederek su yönetimi kapasitesinin güçlendirilmesine katkı sağlar.

Çizelge 4.33. Su hasadında yapım maliyetine göre alternatif senaryolar

Yapım Maliyet Aralığı (milyon \$)	Yapı Sayısı	Toplam Hasat Potansiyeli (Mm³)	Toplam Maliyet (Milyon \$)	Havza Türü	Öncelik Düzeyi
1–10	9	51	41	Mikro	1. Öncelik (Yüksek)
10–20	16	285	228	Mezo/ Mikro karışık (Mezo ağırlıklı)	2. Öncelik (Orta-Yüksek)
20–40	13	461	369	Mezo	3. Öncelik (Orta)
40–75	7	511	409	Mezo	4. Öncelik (Düşük)



Şekil 4.31. Önerilen su hasadı yapılarının yapım maliyeti (harita üzerindeki sayılar milyon metreküp cinsinden su hasadı potansiyelini göstermektedir)

4.20 TOPSIS ve VIKOR Yöntemleri ile Önerilen Su Hasadı Yapılarının Sıralanması

ÇKKA yöntemi ile ağırlık kazanan su hasadı uygunluk haritasının hazırlanmasının ardından, mekânsal sorgulama uygulanarak 45 sayıda uygun yer belirlenmiştir, ancak her bir yerin öneminin anlaşılması, su hasadı yapıları hakkında gelecekteki planlamalarda daha da önemlidir. Bu nedenle, su hasadı sahalarının inşası için uygun olduğu düşünülen yerler için sıralama yapılmıştır. Bu sürecin arkasında birden daha fazla önemli kriter bulunduğundan, bu durumu çözmek için ÇKKA teknikleri uygulanmıştır. Tekil bir sıralama yönteminin sonuçlarda önyargı yaratabileceği fark edilmiş, bu nedenle TOPSIS ve VIKOR olmak üzere iki farklı sıralama yöntemi uygulanmıştır. TOPSIS, alternatifleri ideal çözüme yakınlık ve nadir (en kötü) çözümden uzaklığa göre sıralar ve ideal çözüme yakınlığa göre sıralamalar oluşturur (Chakraborty, 2022). VIKOR, grup faydasını (çoğunluk kriteri) ve en çok çelişen kriter en aza indirerek ve uzlaşma puanlarına dayalı sıralamalar oluşturarak uzlaşma çözümlerine odaklanır (Sayadi ve diğ., 2009). Bu sıralama yöntemleri mühendislik, çevre, politika, çatışma çözümü, tedarik zinciri ve altyapı ile ilgili konularda yaygın olarak kullanılmaktadır. TOPSIS ve VIKOR teknikleri için, verimli bir Python dil tabanlı olan pydecision paketi kullanılmıştır (Pereira ve diğ., 2024). TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile su hasadı yapılarının sıralanması çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Kansal ve diğ., 2025).

Chak-Logar akarsu havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının ÇKKA yaklaşımlarıyla sıralaması amacıyla TOPSIS ve VIKOR yöntemleri uygulanmıştır. Analiz, farklı topoğrafik, hidrolojik ve çevresel faktörleri içeren 45 alternatif yapıya ait veri kümesi üzerinden yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan kriterler; su hasadı potansiyeli, uygunluk sınıfı, toprak dokusu, toplama alanı, eğim, akış sırası, yerleşim alanlarına uzaklık ve tarım alanlarına uzaklık şeklinde belirlenmiştir. Bu kriterler hem hidrolik performansı hem de uygulanabilirliği etkileyen temel unsurlar olarak değerlendirilmiştir. EK-6'da Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile sıralanması için kullanılan faktörlerin özet tablosu verilmiştir.

Kriter ağırlıkları literatür ve uzman görüşü dikkate alınarak belirlenmiş ve potansiyel kriterine daha yüksek ağırlık verilmiştir. Ağırlıklandırma, toplamı 1'e eşit olacak şekilde normalize edilmiştir. Sayısal olmayan kategorik veriler (örneğin eğim ve uzaklık sınıfları) analiz öncesinde aralık ortalamaları kullanılarak sayısallaştırılmıştır.

Bu işlem, ÇKKA yöntemlerinin gerektirdiği matematiksel işlem ve normalizasyon adımlarının tutarlı bir biçimde uygulanabilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

TOPSIS yöntemi kapsamında kriterler önce vektör normalizasyonu ile ölçeklenmiş, ardından ağırlıklı karar matrisi oluşturulmuştur. Fayda kriterleri için maksimum, maliyet kriterleri için minimum değerler ideal çözüm olarak tanımlanmıştır. Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanarak göreceli yakınlık katsayısı (C^*) elde edilmiş ve alternatifler en yüksek C^* değerinden en düşüğüne doğru sıralanmıştır.

VIKOR yönteminde ise her bir kriter için en iyi (f^*) ve en kötü (f^-) değerler belirlenmiş, ardından her alternatif için toplam uyumsuzluk indeksi (S), maksimum bireysel uyumsuzluk indeksi (R) ve kompromis sıralamasını belirleyen VIKOR indeksi (Q) hesaplanmıştır. Parametre $v=0.5$ alınarak karar verici eğilimi “eşit ağırlıklı uzlaşma” yaklaşımına göre modellenmiştir. Q değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatiflerin VIKOR sıralaması oluşturulmuştur.

Her iki yöntemin sonuçları karşılaştırılarak ortak yüksek sıralama alan yapılar belirlenmiş ve öncelikli yatırım alanları tespit edilmiştir. TOPSIS ve VIKOR sonuçlarının büyük ölçüde tutarlı olması, önerilen yapıların istatistiksel olarak sağlam ve kararlı bir önceliklendirme sunduğunu göstermektedir.

Analizde aşağıdaki kriterler kullanılmıştır:

- Su hasadı potansiyeli, ağırlık %30
- Uygunluk, ağırlık %20
- Toprak dokusu, ağırlık %15
- Toplama alanı, ağırlık %10
- Eğim, ağırlık %10
- Akış sırası, ağırlık % 5
- Yerleşime yakınlık, ağırlık %5
- Tarıma yakınlık, ağırlık %5

Bu ağırlıklar, su hasadı potansiyelinin önceliğini yansıtmak üzere daha önceki bölümlerde gerekçelendirilmiştir.

Çizelge 4.34. TOPSIS ile belirlenen en iyi 15 (yukarıdan aşağıya, en iyi en üstte) ve VIKOR ile belirlenen en iyi 15 (Q göre, küçük Q daha iyi)

TOPSIS skoru	TOPSIS Sıra	Yapı	VIKOR_Q	VIKOR sıra	Yapı
0,880	1	12	0,009	1	12
0,826	2	5	0,018	2	40
0,770	3	22	0,052	3	14
0,750	4	14	0,054	4	22
0,703	5	40	0,078	5	39
0,697	6	23	0,127	6	30
0,628	7	39	0,182	7	44
0,595	8	30	0,185	8	5
0,550	9	44	0,306	9	41
0,517	10	9	0,350	10	32
0,511	11	41	0,355	11	17
0,478	12	21	0,362	12	21
0,470	13	32	0,370	13	15
0,465	14	17	0,386	14	25
0,463	15	15	0,387	15	23

Chak-Logar havzası için önerilen 45 su hasadı yapısı ÇKKA yöntemleri TOPSIS ve VIKOR ile karşılaştırılmıştır. Her iki yöntem de alternatifleri sıralamış olup, sonuçlar yüksek düzeyde örtüşme göstermiştir. Her iki yöntemin ilk on-beş listesinde ortak olan 14 yapı (ID: 12, 5, 22, 14, 40, 23, 39, 30, 44, 41, 21, 32, 17, 15) saha uygulaması için öncelikli adaylar olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.34). EK-7’de Chak-Logar Akarsu Havzası’nda önerilen su hasadı yapılarının TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile sıralanmasının özet tablosu verilmiştir. TOPSIS ile sıralamada 9. numaralı su hasadı yapısı 10. sırada yer alırken VIKOR ile 15 sıralama içinde yer almamaktadır. VIKOR ile 25. nolu su hasadı yapısı 14. sırada yer alırken TOPSIS ile ilk 15 sıralamada yer almamaktadır. Eğer kaynak kısıtı varsa, ilk aşamada her iki yöntemde de en yüksek sıralamaya sahip her iki yöntemde de ilk 5 içinde yapıların saha doğrulaması, maliyet-fayda değerlendirmesi ve uygulama-öncesi jeoteknik incelemeleri yapılması önerilir.

Önerilen 45 su hasadı yapıların toplama maliyeti 1046 milyon Amerikan doları olarak tahmin edilmiştir. Önerilen su hasadı yapıları 1308 milyon m³ su hasası potansiyeline sahiptir. İlk 15 sırada yer alan su hasadı yapıları ile toplam maliyetinin %64 yatırımıyla 825 milyon m³ su hasadı potansiyeli mevcuttur. İlk 10 sırada yer alan su hasadı yapıları ile toplam maliyetinin %50 yatırımı ile 650 milyon m³ su hasadı mümkündür. İlk 5 sırada ise yer alan su hasadı yapıları ile toplam maliyetinin %30 (307 milyon Amerikan doları) ile 383 milyon m³ su hasadı edilebilir. Havzada toplam tarımsal, evsel ve hayvancılık su ihtiyacı 376 milyon m³ havzanın su ihtiyacı başlık altında tahmin

edilmiştir. Buna göre ilk 5 sırada su hasadı yapıları ile havzadaki su ihtiyacı %100 temin edilebilir. EK-5'te Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının su hasadı potansiyeli ve maliyeti verilmiştir.

4.21 Chak-Logar Akarsu Havzası'nda Su Hasadını Benimseme Konusunda Kamu Algısı ve İstekliliği: Zorluklar, Fırsatlar ve Politika Önerileri

Chak-Logar akarsu Havzası'nda su hasadını benimseme konusunda kamuoyunun algısını ve istekliliğini değerlendirilmiştir. Veri toplama için, olasılık, matris, kapalı uçlu ve açık uçlu sorular dâhil olmak üzere çeşitli soru tiplerini içeren sistematik bir anket tasarlanmıştır. Çalışmanın birincil amaçları, su kaynaklarının mevcut durumunu, kamuoyunun su hasadı konusundaki bilgisini, su hasadı uygulamalarını benimseme istekliliğini ve su hasadının kuraklık ve sel azaltma aracı olarak potansiyelini değerlendirmektir.

4.21.1 Veri Toplama ve Analizi

Kamuoyu yanıtlayanlarının demografik özellikleri Çizelge 4.35'te verilmiştir. Yanıtlayanların çoğu çalışma alanının yüksek eğitilmiş insanlarıdır. Afganistan'daki kadınlara yönelik kısıtlamalar nedeniyle bu ankete yalnızca %2 kadın katılmıştır. Anket çalışmasında çalışma alanındaki yaşayan 104 yüksek eğitilmiş kişiler katılmıştır. Katılımcılarda lise (%3), ön lisans (%11), lisans (%62), yüksek lisans (%21) ve doktora (%4) mezunları yer almaktadır. Çizelge 4.35'te katılımcıların eğitim seviyesi ve onların yüzdeleri verilmiştir. Anket, Ocak-2024 ile Haziran-2024 arasında Microsoft formları kullanılarak çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir.

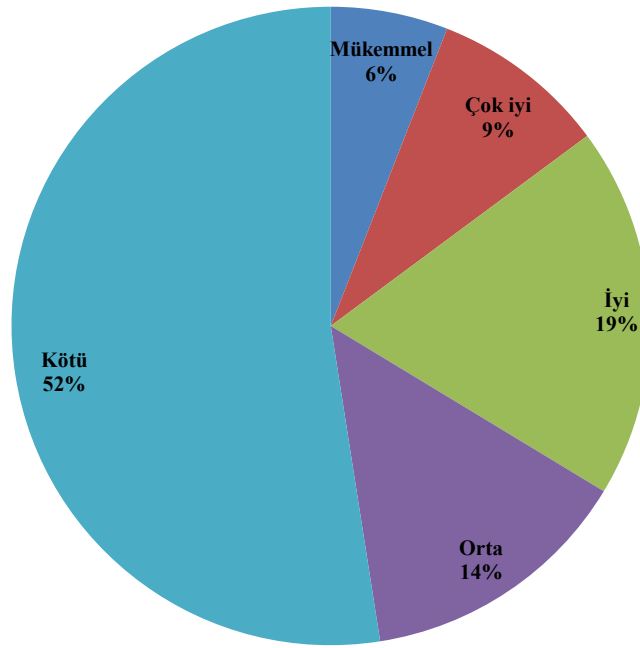
Çizelge 4.35. Kamuoyu yanıtlayıcılarının demografik özellikleri

Cinsiyet	Yüzde (%)	Yaş	Eğitim Seviyesi	Yüzde (%)
Erkek	98	< 18	Lise	3
Kadın	2	18-24	Ön lisans	11
		25-34	Lisans	62
		35-44	Yüksek Lisans	21
		45-54	Doktora	4

4.21.2 Su Kaynaklarının Mevcut Durumu

Su güvenilirliği ve yeterliliği anketine katılanlar Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Katılımcıların yarısından fazlası mevcut su kaynaklarından memnundur. Katılımcıların küçük bir kısmı (%6) mevcut su kaynaklarından memnun değildir. 1980'den bu yana ülkedeki toplam su kaynakları yaklaşık 6 milyar m³ (%8) azalmıştır. Akarsu havzalarındaki su kaynaklarının kapasitesindeki azalma miktarı havzadan havzaya değişmektedir. Kabil akarsu havzasında, 22,8 milyar m³ dan 21 milyar m³/yıl (%8) düşüş görülmektedir (Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı'ndan alınan veriler). Qureshi (2002), Afganistan'daki su kıtlığı, verimsiz sulama uygulamaları, altyapı ve yönetim sorunlarının eksikliğini çevreleyen karmaşık sorunlara dikkat çekmiştir.

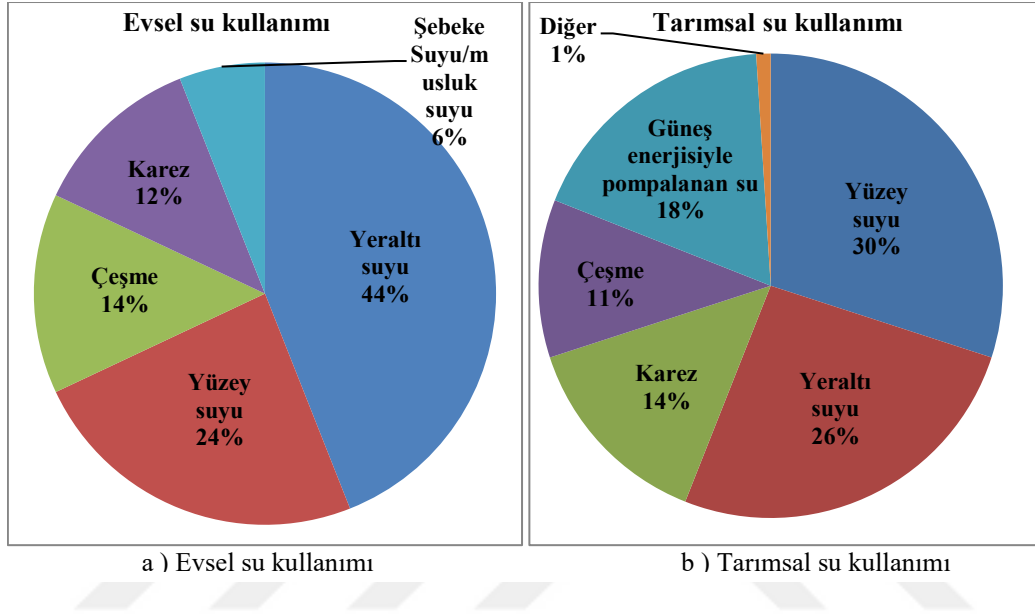
Suyun güvenilirliği ve yeterliliği



Şekil 4.32. Chak-Logar Akarsu Havzası'nda suyun güvenilirliği ve yeterliliği

Şekil 4.33a'da) evsel kullanım için içilebilir su kaynakları ve Şekil 4.33b) tarımda içilebilir su kullanımı gösterilmektedir. İnsanların çoğu yeraltı suyuna güvenmektedir (%44). Çalışma alanında güneş enerjisiyle çalışan su pompalama kullanımına doğru büyük bir eğilim vardır. Önümüzdeki yıllarda bölge sakinleri yeraltı suyuna daha fazla güvenebilir. Yeraltı suyunun aşırı çekilmesi, yapay besleme tesislerinin eksikliği ve iklimle ilgili tehlikeler nedeniyle yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için

büyük bir risk oluşturabilir. Tarımsal kullanımda yüzey (%30) ve yeraltı suyu (%26) büyük ölçüde kullanılmaktadır. Sulama için güneş enerjisiyle çalışan su pompalarının kullanımı popüler hale gelmektedir. Yeraltı suyu çekimine yönelik politikaların eksikliği, su dengesi açısından büyük bir risk oluşturmaktadır. İklim değişikliğinin etkisinin azaltılması ve uyum önlemlerinin eksikliği nedeniyle Karez ve çeşmeler kurumaya eğilimlidir.



Şekil 4.33. Evsel ve tarımsal su kullanım dağılımları

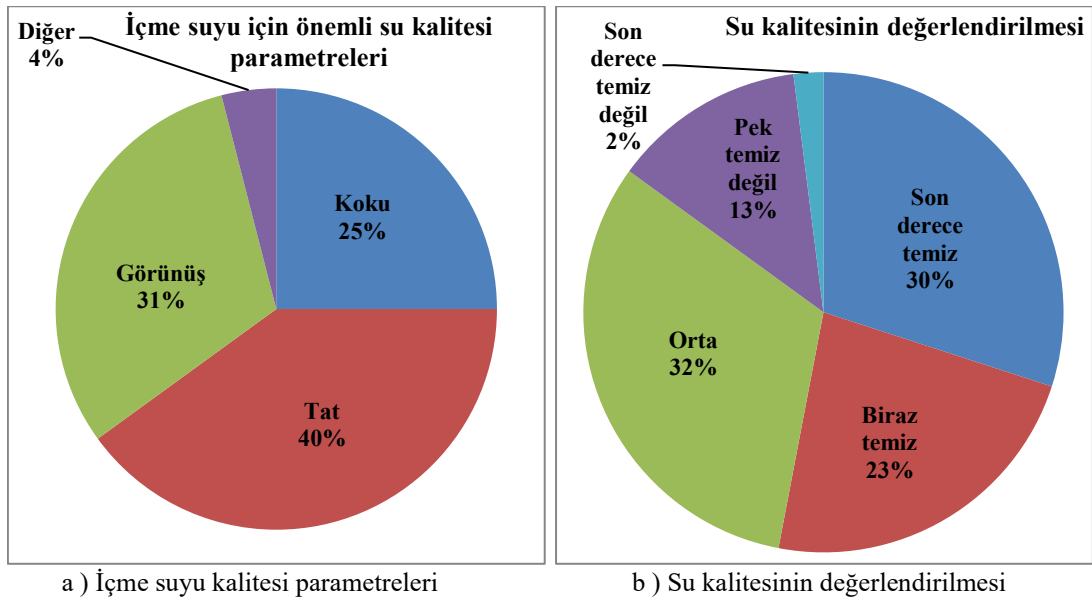
Kişi başına düşen evsel su kullanımı Çizelge 4.36’da gösterilmiştir. Çalışma alanındaki hanelerin kişi sayısı yüksektir. Çoğu hane 12 kişiden fazladır (%36’sı). Kişi başına düşen su kullanımı çoğu katılımcı için günde > 50 L’dir (%49).

Çizelge 4.36. Kişi başına düşen evsel su kullanımı

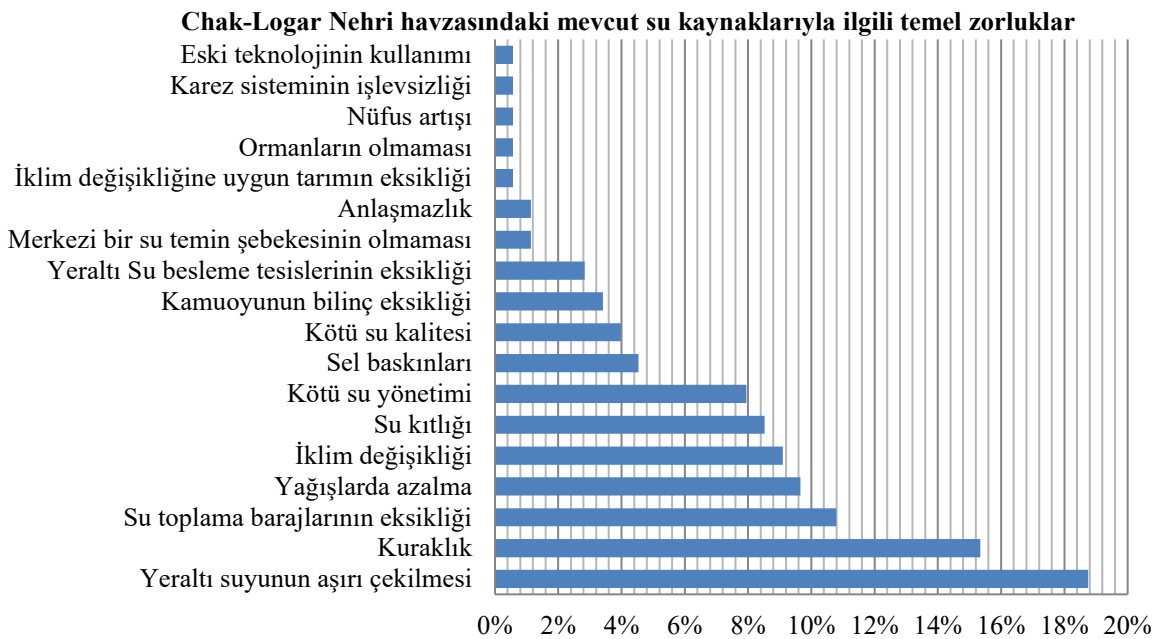
Hanede kişi sayısı	2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	>12
Yüzde (%)	0	5	12	17	14	16	36
Evlerde su kullanımı (L/gün.kişi)	10 L	20 L	30 L	40 L	50 L	> 50 L	
Yüzde (%)	4	15	8	11	13	49	

Şekil 4.34’te a) su kalitesi ve b) su kalitesi ana parametreleri gösterilmektedir. Katılımcıların yaklaşık %30’u su kalitelerinden memnundur, yaklaşık %15’i su kalitesinden memnun değildir. Fiziksel su kalitesi parametrelerine dayanarak, katılımcılar

su kullanmaya karar verirken en önemli parametrelerin tat (%40) ve görünüm (%31) olduğunu bulmaktadır. Wardak ilindeki yeraltı suyu kalitesi Afganistan Ulusal Standart Otoritesi (AUSO) ve uluslararası Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) standartlarına uygundur (Hamdard ve diğ., 2022). Hâlbuki başka bir çalışmada bu alanda yeraltı suyu arsenik, flüorür ve bor ile kirlenmiş olduğunu ortaya çıkmıştır (Hayat ve Baba, 2017). Kırsal alanlarda suyun kalitesi iyidir. Ancak kentsel alanlarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler önerilen standart sınırlarını aşmıştır (Hamdard, 2023).



Şekil 4.34. İçme suyu kalitesi parametreleri ve su kalitesinin değerlendirilmesi



Şekil 4.35. Yüksek eğitimli kişilerin bakış açlarına göre mevcut su kaynaklarının başlıca zorlukları

Yüksek eğitimli kişilerin bakış açılarına göre mevcut su kaynaklarının başlıca zorlukları Şekil 4.35'te verilmiştir. Diğerleri arasında aşırı yeraltı suyu çekimi, kuraklık, su hasadı yapan barajların eksikliği, yağışlarda azalma, iklim değişikliği, su kıtlığı ve kötü su yönetimi, mevcut su kaynaklarının başlıca zorluklarıdır.

4.21.3 Halkın Su Hasadı Hakkındaki Bilgisi

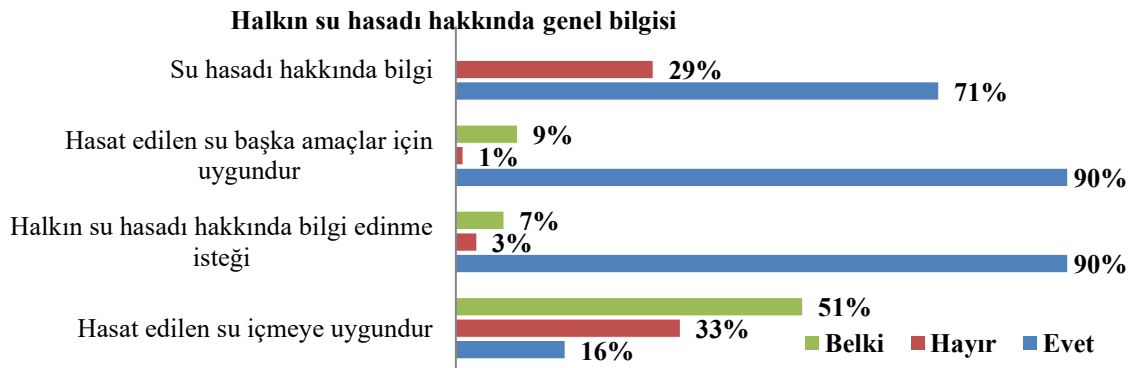
Halkın su hasadı konusunda genel bilgisi Çizelge 4.37’de, Şekil 4.36’da halkın su hasadı konusunda bilgi edinme tercihi ise Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Katılımcıların yaklaşık %90’ı su hasadının çok verimli olduğunu düşünüyor ve katılımcıların yaklaşık %95’i su hasadı kavramına katılıyor (Çizelge 4.37).

Çizelge 4.37. Halkın su hasadı hakkında genel bilgisi

Su hasadı verimliliği	Çok verimli	Biraz verimli	Ne verimli ne de verimsiz	Biraz verimsiz	Çok verimsiz
Yüzde (%)	90	8	0	1	1
Su hasadı konseptine katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum	Biraz katılıyorum	Ne katılıyorum ne de katılmıyorum	Katılmıyorum	Kesinlikle katılmıyorum
Yüzde (%)	95	4	0	1	0

Katılımcıların sadece %16’sı hasat edilen suyun içme suyu olarak uygun olduğunu düşünüyor. Ancak, %51’i içip içmeme konusunda emin değiller. Hasat edilen suyun kalitesi hakkında bilgi eksikliği vardır. Katılımcıların yaklaşık %71’i su hasadına aşına; yaklaşık %90’ı ise hasat edilen suyun başka amaçlar için uygun olduğunu düşünüyor. Halkın su hasadı hakkında bilgi edinmeye istekliliği oldukça yüksektir (%90) (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Halkın su hasadı hakkında genel bilgisi

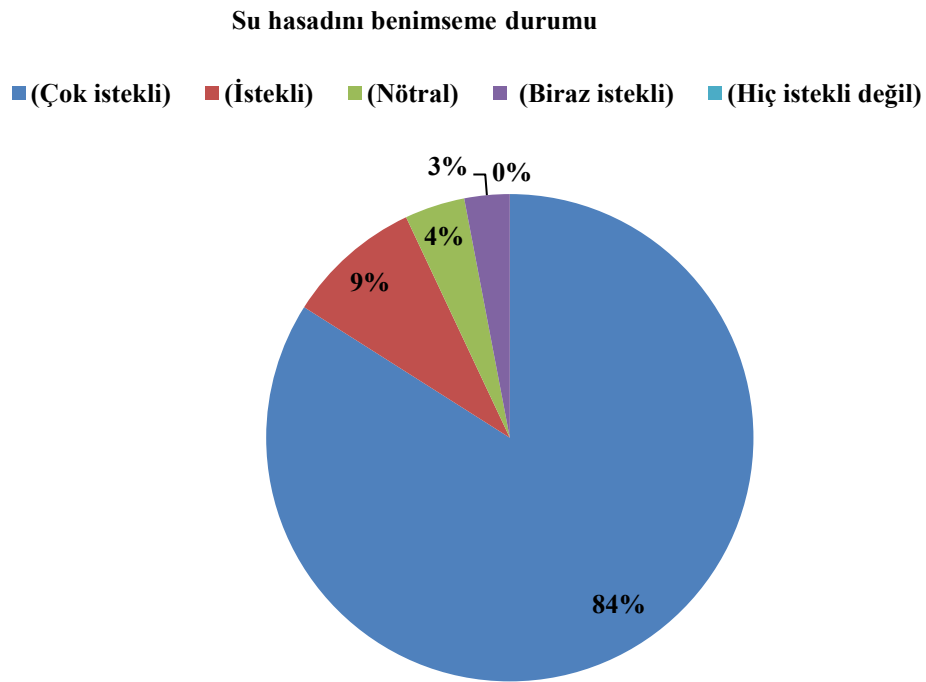
Yerel etkinlikler, atölyeler ve toplum toplantıları, halk tarafından su hasadı hakkında bilgi edinmek için en çok tercih edilen seçenekler arasında yer alıyor (Çizelge 4.38).

Çizelge 4.38. Halkın su hasadı hakkında bilgi edinme tercihi

Halkın su hasadı hakkında bilgi edinme tercihi	Toplum toplantıları	El ilanları veya broşürler	Yerel etkinlikler veya atölyeler	Sosyal medya	Telefon	E-posta
Yüzde (%)	24	19	26	20	7	4

4.21.4 Su Hasadını Benimseme Durumu

Katılımcıların %93'ünden fazlası su hasadını benimsemeye istekli olduğunu gösteriyor (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Su toplamayı benimseme istekliliği

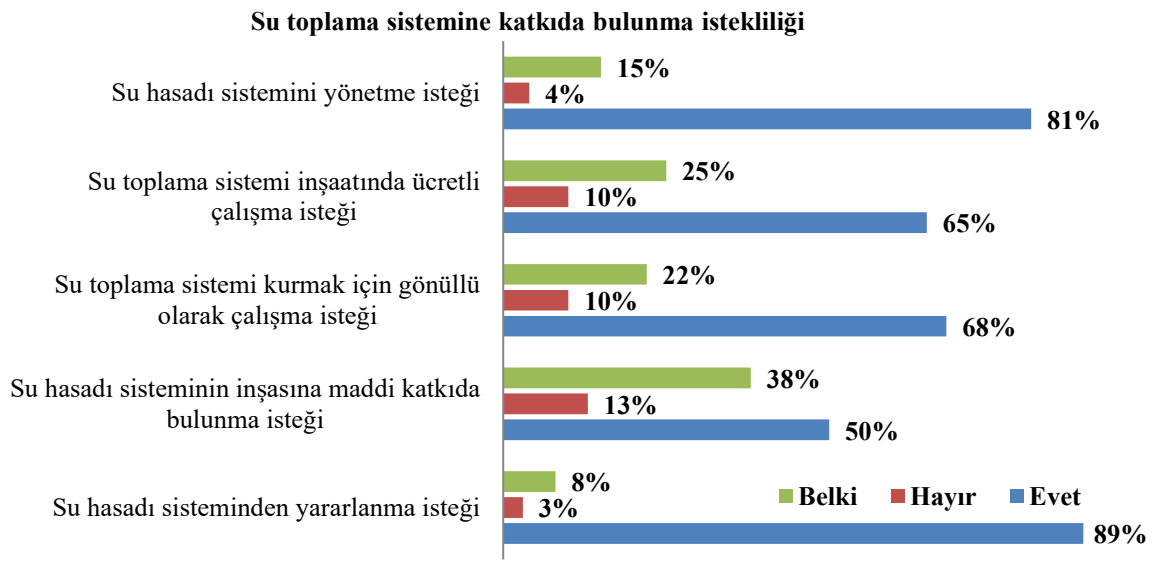
Su hasadını benimsemeye istekli olmayı etkileyen başlıca faktörler kuraklık ve sel azaltma, çevresel faydalar, hükümet desteği ve teşvikleri...vb. 'dir (Çizelge 4.39).

Ayrıca, su hasadı sistemine işgücü ve finansal olarak katkıda bulunma konusunda büyük bir istek vardır. Katılımcıların %80'inden fazlası, topluluklarında bir su hasadı sistemini yönetmeye istekli olduğunu göstermektedir. Katılımcıların yaklaşık %68'i, su

hasadı sistemi yapımında gönüllü olarak çalışmaya istekli olduğunu göstermektedir (Şekil 4.38).

Çizelge 4.39. Su hasadını benimseme isteğini etkileyen faktörler

Su hasadını benimseme isteğini etkileyen faktörler	Çevresel faydalar	Geliştirilmiş su kalitesi	Maliyet tasarrufu	Devlet desteği veya teşvikleri	Toplum bilinci ve eğitimi	Kuraklığın azaltılması	Taşkın azaltma
Yüzde (%)	15	11	13	15	14	19	13



Şekil 4.38. Su hasadı sistemine katkıda bulunma isteği

Su hasadını benimsemenin önündeki temel endişeler veya engeller şunlardır: hükümet ve uluslararası örgütlerden destek eksikliği, bilgi eksikliği ve destekleyici politikaların eksikliği yer almaktadır (Çizelge 4.40).

Çizelge 4.40. Su hasadını benimsemenin önündeki engeller

Su hasadını benimsemenin önündeki engeller	Destekleyici politikaların eksikliği	Hükümet ve uluslararası örgütlerden destek eksikliği	Bilgi eksikliği	Diğer
Yüzde (%)	28	41	29	2

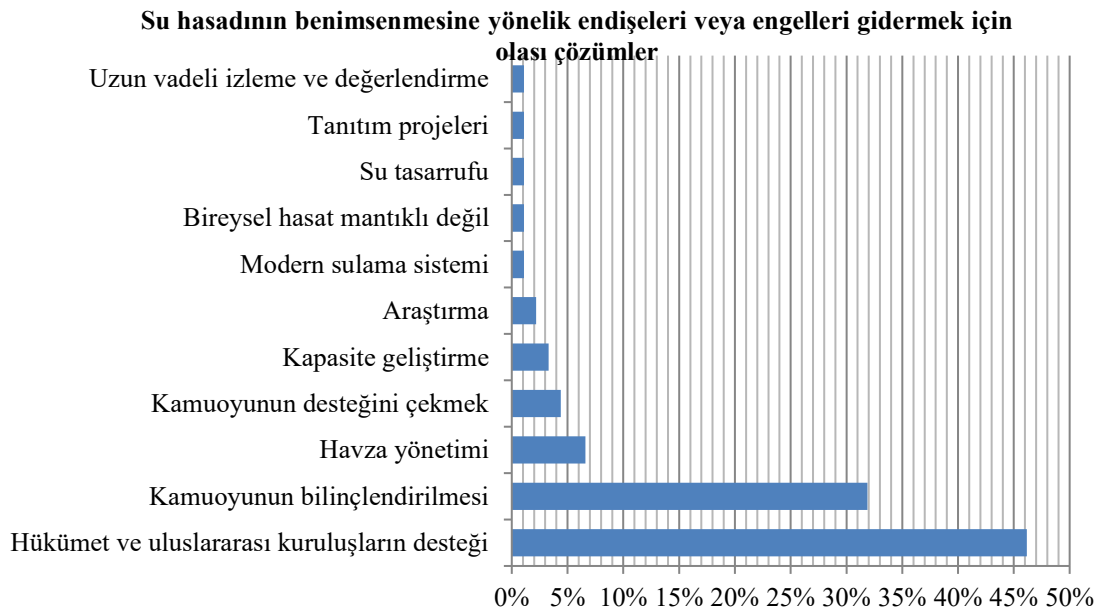
Ayrıca, yüksek eğitimli katılımcıların bakış açılarına göre su hasadını benimsemenin önündeki temel endişeler veya engeller şunlardır: finansal kaynak

eksikliği, kamuoyu farkındalığının eksikliği, hükümet desteğinin eksikliği ve teknik bilgi eksikliği (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Su hasadını benimsemeye yönelik endişeler veya engeller

Yüksek eğitilmiş katılımcılara göre su hasadının benimsenmesinin önündeki endişeleri veya engelleri ele almak için olası çözümler şunlardır: hükümet ve uluslararası örgütlerden destek, kamuoyunun farkındalığı, havza yönetimi, kamuoyunun desteğini çekme ve kapasite geliştirme yer almaktadır (Şekil 4.40).

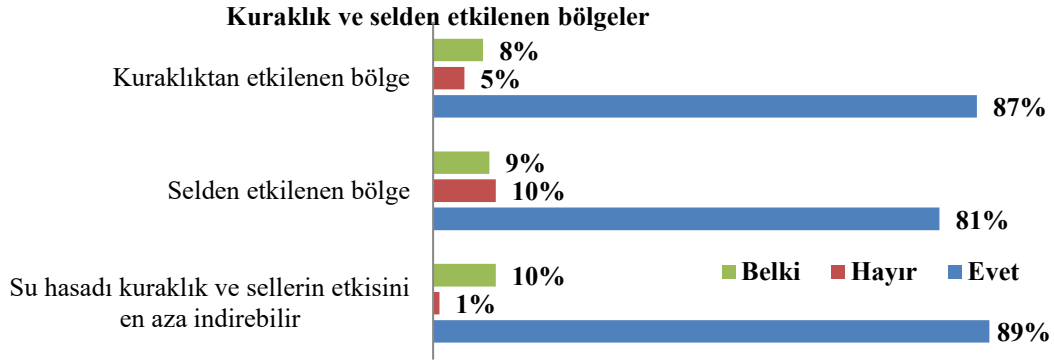


Şekil 4.40. Su hasadının benimsenmesine yönelik endişeleri veya engelleri ele almak için olası çözümler

4.21.5 Kuraklık ve Sel Azaltma Aracı Olarak Su Hasadı

Şekil 4.41 kuraklık ve sellerden etkilenen bölgeleri ve kuraklık ve sellerin azaltılması için bir araç olarak su hasadının potansiyelini göstermektedir. Çalışma

alanında, katılımcıların %87'si bölgelerinin kuraklıktan etkilendiğini bildirirken, %81'i sellere maruz kaldıklarını belirtmiştir. Ayrıca, katılımcıların %89'u su hasadının bölgedeki hem kuraklık hem de sel etkilerini azaltmak için etkili bir önlem olabileceğine inanmaktadır.



Şekil 4.41. Kuraklık ve selden etkilenen bölgeler kuraklık ve sel azaltma aracı olarak su hasadı

Afganistan'ın birincil su kaynağı olan doğal buzulların hızla erimesi, artan sıcaklıklar nedeniyle su yönetimi için önemli bir zorluk oluşturmaktadır (Shokory ve diğ., 2023). Buzullar tamamen ortadan kalkarsa, su kaynaklarını yönetmek giderek zorlaşacaktır. Bu nedenle, su hasadı ülkede uzun vadeli su yönetimi için sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.

Afganistan'daki çeşitli fiziksel ortamlar göz önüne alındığında, yerel adaptasyon stratejileri kuraklığın etkili bir şekilde hafifletilmesi için elzemdir (Aliyar ve diğ., 2022). Su hasadı, yerel çiftçiler tarafından kuraklığa karşı bir adaptasyon önlemi olarak hâlihazırda uygulanmaktadır (Iqbal ve diğ., 2016) ve sel öncesi yönetim stratejilerinde önemli bir rol oynamaktadır (Mushwani ve diğ., 2024).

Birkaç çalışma Kabil Akarsu Havzası'ndaki su yönetiminin zorluklarını incelemiştir. Taraky ve diğ. (2021), KAH'nın sınır ötesi bağlamında sel riski yönetiminin karmaşıklıklarını analiz ederek hem çatışma risklerini hem de iş birliği fırsatlarını incelemiştir. Taraki (2021) tarafından yapılan bir başka çalışma, büyük barajların işbirlikçi kuraklık yönetimindeki rolünü değerlendirmiş sınır ötesi bir çerçevede hem faydalarını hem de zorluklarını incelemiştir.

Su hasadı ve korunması, Afganistan'da su havzası yönetimi için en iyi uygulamalar olarak kabul edilmektedir (Reddy, 2019). Kuraklığa meyilli bölgelerde, su hasadı tekniklerinin büyük ölçekte uygulanması, kuraklık etkilerini azaltmak için stratejik bir araç görevi görebilir (Sharma ve Smakhtin, 2006).

4.22 Hipotezlerin Testi

H1: CBS ve AHP yöntemi ile entegre edilen çok kriterli karar analizi, Chak-Logar akarsu havzasında su hasadına uygun alanların belirlenmesinde etkili ve güvenilir bir yöntemdir.

Bu hipotez, 16 farklı jeofiziksel, hidrolojik ve sosyo-ekonomik faktörün AHP yöntemiyle ağırlıklandırılması ve bu ağırlıkların CBS ortamında Ağırlıklı Bindirme Analizi ile entegre edilmesi yoluyla test edilmiştir. Analiz sonucunda ortaya çıkan uygunluk haritaları, AOK eğrisi analizi ile mevcut kontrol baraj konumları üzerinden doğrulanmış modelin genel doğruluk oranı %62,6 (AUC=0,626) olarak hesaplanmıştır. Bu doğruluk seviyesi yöntemin orta derecede güvenilirliğini göstermektedir.

H2: Chak-Logar akarsu havzasındaki mevcut kontrol barajının büyük bir kısmı, geliştirilen modelin öngördüğü “yüksek uygunluk” bölgeleriyle örtüşmektedir.

Hipotez, CBS’de oluşturulan uygunluk haritaları ile mevcut 12 kontrol barajının mekânsal konumlarının karşılaştırılması yoluyla test edilmiştir. Bu karşılaştırma, AOK eğrisi analizi ile desteklenmiş ve barajların önemli bir kısmının “yüksek uygunluk” sınıfına düşen alanlarda yer aldığı gözlemlenmiştir. Böylece modelin mevcut yapılarla uyumluluğu ortaya konmuştur.

H3: ABDTB hidrolojik toprak grubu sınıflandırmasına göre Chak-Logar Akarsu Havzası’nın önemli bir bölümü orta ila yüksek yüzey akış potansiyeline sahiptir; bu da bölgenin su hasadı için elverişli olduğunu göstermektedir.

Bu hipotez, ABDTB hidrolojik toprak grubu sınıflandırmasına göre yapılan analizlerle test edilmiştir. CBS ortamında toprak sınıflarına göre yapılan haritalama çalışmasında, havzanın büyük kısmının C ve D tipi toprak gruplarına ait olduğu, bu grupların da yüksek yüzey akış potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu veriler, modelin su hasadı planlamasında fiziksel uygunluğu desteklemektedir.

H4: Yerel halk, su hasadı uygulamalarını faydalı görmekte, bu uygulamalara katılma konusunda istekli olup uygulamaların kuraklık ile taşkın gibi iklim temelli afetlerin etkilerini azaltmada etkili olduğunu düşünmektedir; ancak yetersiz kamu politikaları, teknik bilgi eksikliği ve sınırlı hükümet desteği yaygınlaşmayı engellemektedir.

Bu hipotez, yapılandırılmış bir anket aracılığıyla test edilmiştir. Anket verilerine göre katılımcıların %90’ı su hasadını faydalı bulduğunu, %95’i ise uygulamalara katılmaya istekli olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, %93’ten fazlası finansal veya fiziksel

katkı sağlamaya hazır olduğunu ifade etmiştir. Bulgular, hipotezi güçlü biçimde desteklemektedir.

Anketin açık uçlu ve matris tipi soruları aracılığıyla analiz edilmiştir. Katılımcıların büyük bir kısmı, temel engeller arasında “devlet desteğinin yetersizliği”, “bilgi eksikliği” ve “uygulama politikalarının olmayışını belirtmiştir. Özellikle eğitimli bireylerin verdiği cevaplar, politika eksikliklerinin yaygın bir farkındalık konusu olduğunu göstermektedir.

Anket sonuçları temelinde test edilmiştir. Katılımcıların %87’si yaşadıkları bölgelerin kuraklıktan, %81’i ise taşkınlardan etkilendiğini belirtmiştir. %89’u ise su hasadının bu afetlerle mücadelede etkili bir araç olduğunu düşünmektedir. Bu yüksek oranlar, su hasadının afet azaltım aracı olarak toplum tarafından benimsendiğini göstermektedir.

H5: CBS tabanlı çok kriterli karar analizinde kullanılan faktör ağırlıkları incelendiğinde, yağış (%18,3) ve eğim (%10,8) faktörleri toplam ağırlığın %29’inden fazlasını oluşturmuştur (Çizelge 4.20). Bu oran, her iki faktörün de su hasadı uygunluk alanlarının belirlenmesinde baskın etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yağış dağılımı haritaları ile uygunluk haritaları arasındaki mekânsal korelasyon 0,72 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, hipotezin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ve iklimsel/topoğrafik değişkenlerin su hasadı uygunluk modelinde en güçlü belirleyiciler arasında yer aldığını doğrulamaktadır.

H6: Model çıktılarının sosyoekonomik faktörlerle mekânsal olarak karşılaştırılması sonucunda, su hasadına yüksek derecede uygun olarak sınıflandırılan alanların %68’inin yerleşim yerlerine 3 km, yolların ise 2 km mesafesinde bulunduğu belirlenmiştir. Bu oran, teknik uygunluk alanlarının önemli bir kısmının aynı zamanda sosyoekonomik olarak erişilebilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yerel halkın su hasadı uygulamalarına katılım istekliliğini ölçen anket sonuçları da (%93 oranında katılım isteği) bu hipotezi desteklemektedir. Dolayısıyla, sosyoekonomik erişilebilirlik su hasadı planlamasında teknik faktörler kadar belirleyici bir bileşendir.

4.23 Çalışmanın Sınırlamaları

Bu çalışma, CBS tabanlı ÇKKA dayalı olarak Chak-Logar Akarsu Havzası'nda uygun su hasadı alanlarının belirlenmesine yönelik kapsamlı analizler sunulmuştur. Ancak, elde edilen sonuçların yorumlanmasında bazı sınırlamalar dikkate alınmalıdır. Afganistan'da hidrolojik, meteorolojik ve sosyoekonomik verilerin sınırlı ve düzensiz olması, modelin doğruluk düzeyini etkilemiştir. Özellikle yağış, akış ve yeraltı suyu seviyesine ilişkin uzun dönemli veri eksiklikleri, analizlerde tahmini ve ikincil kaynaklara başvurulmasını gerektirmiştir. Sosyoekonomik veriler olarak özellikle yerleşim ve tarım arazilerdeki değişimlerinden bu çalışmadan elde edilen sonuçlar etkilenmektedir. Çalışmada tarım arazilerin ve yerleşim verilerin 2003 yılına ait olup arazi kullanımındaki değişimleri dikkate alınmamıştır. Çalışma alanının hidrolojik karakterizasyonu hidrolojik toprak gruplarını ve kurak/yarı kurak bölgelerde arazi kullanımına göre hazır tablolardan faydalanarak eğri numarası seçilip ona göre yağış-akış ilişkisi değerlendirilmiştir. Buna göre elde edilen akış verisi gerçek akış verilerden farklılık gösterebilir. Çalışmada kullanılan kriterler, literatür ve uzman görüşlerine dayalı olarak belirlenmiştir. Ancak bölgesel koşullara özgü bazı yerel faktörler örneğin, toprak tuzluluğu, arazi mülkiyet yapısı. vs. kapsam dışında kalmıştır. AHP yöntemi ile yapılan ağırlıklandırma süreci de öznel yargılara bağlı olduğundan, farklı uzman gruplarıyla yapılan değerlendirmelerde farklı sonuçlar elde edilebilir. ROC-AUC analizine göre modelin doğruluk değeri %62,6 olarak bulunmuştur. Bu oran orta düzeyde bir tahmin başarısını göstermekte olup, doğrulamada kullanılan mevcut su yapılarının sayısının azlığı, yer seçimi ile ilgili sorunları ve saha verilerinin sınırlılığı model performansını etkilemiştir. Model sonuçlarına göre önerilen su hasadı yapılarının sahada uygulamadan önce saha araştırması gerekmektedir.

Anket çalışması yüksek eğitimli katılımcılar arasında yürütülmüş olup, kırsal kesimde yaşayan halkın görüşlerini tam olarak temsil etmemektedir. Bu durum, toplumsal farkındalık ve uygulama istekliliği değerlendirmelerinde bir yanıllığa yol açabilir. İklim değişikliğine bağlı aşırı hava olayları ve topoğrafik çeşitlilik, modelin uzun vadeli geçerliliğini sınırlayabilir. Su hasadı yapılarının etkinliği, gelecekteki yağış rejimi ve arazi kullanımı değişimlerinden doğrudan etkilenebilir. Bu sınırlamalara rağmen çalışma, bölgedeki su hasadı planlaması için önemli bir karar destek altyapısı sunmakta ve gelecekte yapılacak daha detaylı saha verisine dayalı çalışmalar için temel oluşturmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, Afganistan'ın merkezi doğusunda yer alan Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadı için uygunluk alanlarının belirlenmesi amacıyla CBS ortamında çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Ağırlıklı Bindirme Analizi (Weighted Overlay Analysis) yöntemiyle desteklenen çalışma, 30 m çözünürlüklü raster veriler üzerinden 16 farklı faktörün etkisini değerlendirmiştir. Faktör ağırlıkları AHP yöntemiyle hesaplanmış bu sayede her faktörün su hasadındaki göreceli önemi bilimsel olarak ortaya konmuştur. Faktörlerin su hasadı için önemini dikkate alarak en yüksek ağırlıklar yağış, topoğrafik ıslaklık indeksi, eğim, drenaj yoğunluğu, toprak dokusu ve jeomorfoloji için sırasıyla %18,3, %14,3, %10,5, %10,8, %9,2, %8,1 ve %6,9 olarak elde edilmiştir. Geri kalan faktörler için ise daha düşük ağırlıklar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, suyun yer yüzeyinde birikimi, akışı ve sızması üzerinde topoğrafik ve jeolojik değişkenlerin etkili olduğunu açıkça göstermektedir.

Su hasadı uygunluk haritaları üç ayrı sınıflandırma yöntemiyle değerlendirilmiştir. Beş sınıflı sınıflandırma uygunluk dereceleri çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak belirlenmiştir. Buna göre orta (%26) ve düşük (%27) uygunluk alanları havzanın önemli bir bölümünü kaplamakta, yüksek ve çok yüksek uygunluk alanları ise %21 ve %12 gibi anlamlı bir yüzdelik dilimi temsil etmektedir. Üç sınıflı sınıflandırma ise düşük (%32), orta (%41) ve yüksek (%27) uygunluk olarak gruplanmış, özellikle orta ve yüksek uygunluk alanlarının birlikte havzanın %68'ini oluşturması, bölgenin su hasadı açısından önemli potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. İki sınıflı sınıflandırma uygun ve uygun olmayan alanlar olarak sınıflandırılmış sonuç olarak havzanın %45'inin su hasadı için uygun ve %55 uygun olmayan olduğu tespit edilmiştir. Uygun olan alanlar çoğunlukla Logar ili sınırları içinde yer almakta düşük eğim, yüksek TWI, akış yoğunluğu gibi hidrolojik açıdan avantajlı özellikler taşımaktadır. Su hasadı uygunluk haritaları ile belirlenen 16 kriter arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Biyofiziksel faktörler toplam ağırlığın %82'sini, sosyoekonomik faktörler ise %18'ini oluşturmaktadır. Korelasyon analizine göre en güçlü pozitif ilişkiler yağış, drenaj yoğunluğu, toprak dokusu ve çeşme yakınlığı arasında bulunmaktadır. En güçlü negatif ilişkiler ise tarım yakınlığı, topoğrafik eğrilik, yerleşim yakınlığı ve zemin yapısı arasında yer almaktadır.

Modelin tahmin doğruluğunu doğrulamak için Alıcı Operatör Karakteristiği (AOK) eğrisi analizi kullanılmıştır. Çalışma alanında var olan 12 kontrol barajı modelin tahmin doğruluğu tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu çalışma için AOK-Eğrinin Altındaki Alan (EAA) sonucu %62,6 (0,626) elde edilmiştir. Bu model için AOK-EAA değeri orta derecede bir tahmin doğruluğu oranını gösterir. Buna göre Chak-Logar akarsu havzası için önerilen modelin orta derecede uygunluğa sahiptir. AOK-EAA değerinin orta aralıkta çıkması nedenlerinden bazıları şunlar olabilir; Afganistan'da su hasadı uzmanlarının eksikliği, çok sınırlı faktörlerin su hasadı yer seçiminde dikkate alınması ve çoğu zaman sahaların uygunluğuna bakılmaksızın toplumun liderlerinden gelen istek üzerine su hasadı yapılarının inşası için karar verilmesi yer almaktadır. AOK-EAA analizine ek olarak, modelin güvenilirliğini artırmak amacıyla karışıklık matrisi-kappa, başarı oranı eğrisi ve frekans oranı yöntemleri ile ek doğrulamalar yapılmıştır. Önerilen su hasadı yapıları için AOK-EAA sonucu %95,6 (0,956) elde edilmiştir. Önerilen kontrol barajlar için AOK-EAA değeri çok iyi bir tahmin doğruluğu oranını gösterir.

Su hasadı yapıların maliyetleri açısından Chak-Logar havzası için kontrol barajlarının ortalama maliyeti 51,454 Amerikan doları, minimum 12,809 Amerikan doları ve maksimum 130,079 Amerikan doları olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda Chak-Logar akarsu havzası için su hasadı uygunluk haritasını dikkate alarak toplamda 45 adet mezo ve mikro su hasadı yapıları önerilmiştir. Mikro su hasadı yapıları çiftlik düzeyinde kullanılır. Bunlarda kontur setleri, hendekler, kontrol barajlar, yarık tıkaçları, çiftlik göletleri ve yeraltı suyu reşarj çukurları yer almaktadır. Mezo su hasadı yapıları dağ vadisi düzeyinde kullanılır. Bunlarda perkolasyon havuzları, kontrol barajlar, küçük rezervuarlar, yeniden reşarj ve depolama havuzları yer almaktadır.

Önerilen su hasadı yapılarından 33 mezo ve 12 mikro su hasadı yapılarıdır. Logar ilinde toplamda 24 su hasadı yapıları önerilmiş olup bunlarda 17 adet mezo ve 7 adet mikro su hasadı yapıları yer almaktadır. Wardak ilinde 27 adet su hasadı yapıları önerilmiş olup bunlarda 15 mezo ve 4 mikro su hasadı yer almaktadır. Gazni ilinde ise 1 mezo ve bir mikro su hasadı yapıları yer almaktadır.

Yatırım imkânları sınırlı olduğunda, saha genelinde küçük ölçekli ardışık su hasadı yapıların inşası önerilmektedir. Bu nedenle, önerilen yapıların toplam su hasadı, alanın teorik maksimum potansiyelinin altında kalmaktadır. Küçük ölçekli su hasadı yapılarının kullanım amacı, konumları ve çevresel bağlamları dikkate alınarak üç ana grupta sınıflandırılmıştır. Bunlarda tarımsal kullanım amaçlı su hasadı yapıları, evsel ve

yerleşim amaçlı su hasadı yapıları ve taşkın kontrolü/kuraklıkla mücadele amaçlı su hasadı yapıları yer almaktadır. Önerilen su hasadı yapıların kullanım amacı, tarım alanına ve yerleşim merkezine uzaklık analizleriyle belirlenmiştir. Mikro havza ölçekli yapılar (12 adet), çiftlik düzeyinde, doğrudan tarımsal üretim ve yeraltı suyu beslemesi için önerilmiştir. Mezo havza ölçekli yapılar (33 adet), alt havza düzeyinde, taşkın kontrolü, su depolama ve çok amaçlı kullanım için önerilmiştir. Önerilen su hasadı yapılarından 7 adet hendek (contour bund) ve 10 adet çiftlik göleti tarımsal kullanım için dikkate alınmıştır. 4 adet çukur (recharge pit) ise yeraltı suyu beslenmesi ve tarımsal kullanım için dikkate alınmıştır. Buna ek olarak 10 adet küçük rezervuar, 6 adet kontrol barajı ve 8 adet perkolasyon havuzu karma kullanım için önerilmiştir. Karma kullanım olarak tarımsal sulama ve yeraltı suyu beslemesi, evsel su temini ve hayvancılık su temini, taşkın ve kuraklıkla mücadele amaçlı önerilmiştir.

Önerilen su hasadı yapıları toplamda 1308 milyon m³ su hasadı potansiyeline sahiptir. Havzada tarımsal sulama, evsel ve hayvancılığın toplam su ihtiyacı ise 376 milyon m³/yıl civarındadır. Buna göre, hasat edilebilecek su ile tarımsal alanların ve sosyo-ekonomik geliştirme potansiyeli yatmaktadır.

Çalışma alanının hidrolojik karakterizasyonu, 2000–2023 dönemi yağış verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arazi örtüsünün %87'si mera olduğundan iyi hidrolojik koşul kabul edilmiştir. ABDTB sistemine göre toprak grubu C (%97) çoğunluğu oluşturmakta olup bu sınıf 74 CN değeriyle orta-yüksek akış potansiyeline sahiptir. Çalışma alanı genelinde ağırlıklı ortalama CN değeri 74,12 olarak hesaplanmıştır.

Yağış-akış analizine göre ortalama yıllık akış miktarı 2463 milyon m³, potansiyel su tutma kapasitesi 857 milyon m³ ve ilk kayıplar 171 milyon m³ olarak elde edilmiştir. Bu durum, Chak-Logar havzasının toplam yağışın %74'ünü yüzey akışına dönüştürebildiğini, yalnızca %22'sinin yer altına süzüldüğünü ve %4'lük kısmının buharlaşma ve sızıntı gibi ilk kayıplar kapsamında olduğunu ortaya koymuştur.

Chak-Logar Akarsu Havzası'nın su hasadı açısından büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve özellikle Logar ili çevresinin bu amaçla öncelikli değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. CBS tabanlı analizler, karar vericilere su kaynaklarının sürdürülebilir planlanması için bilimsel ve görsel açıdan güçlü araçlar sunmaktadır. Su hasadı yapılarının stratejik olarak konumlandırılmasıyla birlikte taşkın kontrolü, su hasadı ve yeraltı suyu beslemesi gibi önemli hedeflere katkı sağlanabilir.

Chak-Logar Akarsu Havzası'nda su hasadını benimseme konusunda kamu algısı ve istekliliği sonuçları ise aşağıda verilmiştir.

Su hasadında yapım maliyetine göre alternatif senaryolarının değerlendirilmesinde ise su hasadı yapım maliyet verileri, çalışma alanında proje benzerliği ve birim yapı hacmi başına ortalama inşaat maliyeti 0,8 Amerikan doları/m³ esas alınarak hesaplanmıştır. Düşük maliyetli yapılar yüksek öncelik, yüksek maliyetli yapılar ise düşük öncelik olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda düşük maliyetli mikro yapılar (1–10 milyon Amerikan doları) ülkedeki siyasi istikrarsızlık, ulusal ve uluslararası destek olmadığı için su hasadı programının ilk aşamasında bu az maliyeti gerektiren yapılar önceliklendirilmelidir. Ardından 10–20 ve 20–40 milyon Amerikan doları aralığındaki orta ölçekli projelere geçilmelidir. Yüksek maliyetli yapılar (40–75 milyon Amerikan doları) ise en son faz veya uzun dönemli stratejik yatırımlar kapsamında planlanmalıdır. Kademeli yatırım planlaması yapılmasına olanak tanımakta ve karar vericilere bütçe esnekliği sağlamaktadır. Bu yaklaşım, hem finansal sürdürülebilirliği hem de uygulama esnekliğini artırmaktadır. Özellikle düşük maliyetli yapıların önceliklendirilmesinin, yerel toplulukların katılımını teşvik ederek su yönetimi kapasitesinin güçlendirilmesine katkı sağlar. Önerilen 45 su hasadı yapısının toplam yatırım maliyeti yaklaşık 1.046 milyar ABD doları olarak tahmin edilmiştir. Bu yapılar, toplamda 1.308 milyon m³ su hasadı potansiyeline sahiptir. TOPSIS ve VIKOR çok-kriterli karar verme yöntemleriyle yapılan sıralama sonucunda, ilk 15 sırada yer alan su hasadı yapıları için toplam maliyetin %64'ü düzeyinde bir yatırımla 825 milyon m³ suyun hasadı mümkündür. İlk 10 sıradaki yapılar değerlendirildiğinde ise toplam maliyetin %50'si ile 650 milyon m³ suyun hasadı sağlanabilmektedir. İlk 5 yapı için gerekli yatırım toplam maliyetin yalnızca %30'u (307 milyon ABD doları) olup, bu yatırımla 383 milyon m³ suyun hasadı gerçekleştirilebilmektedir. Havzada, tarımsal, evsel ve hayvancılık amaçlı toplam yıllık su ihtiyacı 376 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Bu çerçevede, ilk 5 öncelikli su hasadı yapısının inşa edilmesi durumunda, havzanın toplam su ihtiyacının %100'ünün karşılanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Chak-Logar akarsu Havzası'nda su hasadını benimseme konusunda kamuoyunun algısı ve istekliliği ile ilgili temel bulguları vurgulamaktadır. Katılımcıların yarısından fazlası mevcut su kaynaklarından memnunken, küçük bir kısmı (%6) memnuniyetsizlik ifade etmektedir. Çalışma, farklı akarsu havzalarında su kaynağı potansiyelinde keskin bir düşüş olduğunu, katılımcıların %44'ünün birincil kaynak olarak yeraltı suyunu kullandığını ortaya koymaktadır. Özellikle sulama amaçlı güneş enerjisiyle çalışan su pompalama tercihi artmaktadır; yüzey suyu (%30) ve yeraltı suyu (%26) tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yeraltı suyu çıkarımını düzenleyen politikaların yokluğu,

su dengesi için önemli bir risk oluşturmakta olup Karez ve çeşmeler gibi geleneksel kaynaklar, yetersiz iklim değişikliği azaltma ve uyum önlemleri nedeniyle giderek daha savunmasız hale gelmektedir. Kişi başına su kullanımı, katılımcıların neredeyse yarısı (%49) için günde 50 L'yi aşmaktadır.

Su kalitesiyle ilgili olarak, katılımcıların %30'u memnunken, %15'i memnuniyetsizlik ifade etmiştir. Tat (%40) ve görünüm (%31) su kullanım kararlarında en etkili faktörler arasında yer almaktadır. Su kaynaklarını etkileyen başlıca zorluklar arasında aşırı yeraltı suyu çekimi, kuraklık, su hasadı altyapısının eksikliği, azalan yağış, iklim değişikliği, su kıtlığı ve yetersiz su yönetimi uygulamaları yer almaktadır.

Katılımcıların yaklaşık %90'ı su hasadını oldukça verimli buluyorken %95'i uygulanmasını destekliyor. Ancak, sadece %16'sı hasat edilen suyun içilebilir olduğuna inanıyor, %51'i ise hasat edilen suyun kalitesi hakkında bilgi eksikliği olduğunu belirterek kararsız kalıyor. Katılımcıların yaklaşık %71'i su hasadına aşina ve %90'ı bunun içilebilir olmayan kullanımlar için uygun olduğuna inanıyor. Ek olarak, %90'ı konuyla ilgili daha fazla bilgi edinme konusunda güçlü bir istek ifade ediyor.

Katılımcıların %93'ünden fazlası, kuraklık ve sel azaltma, çevresel faydalar ve hükümet desteği gibi temel motivasyon faktörleriyle su hasadını benimsemeye isteklilerdir. Ayrıca, %80'den fazlası toplulukları içinde bir su hasadı sistemini yönetmeye istekli ve %68'i sistem inşasında gönüllü olarak çalışmaya isteklilerdir. Ancak, benimsemenin önündeki en büyük engeller arasında yetersiz hükümet ve uluslararası destek, bilgi eksikliği ve etkinleştirici politikaların olmaması yer almaktadır. Yüksek eğitimli katılımcılar tarafından, hükümet ve uluslararası desteğin artırılması, kamuoyu farkındalık kampanyaları, havza yönetimi, toplum katılımı ve kapasite geliştirme gibi çözümler önerilmiştir.

Çalışma ayrıca katılımcıların %87'sinin kuraklık ve %81'inin sel yaşadığını bildirdiğini doğruluyor. Dahası, %89'u su hasadının bölgedeki bu zorlukları hafifletmek için etkili bir araç olabileceğine inanıyor. Bu bulgular, sürdürülebilir su hasadı uygulamalarını teşvik etmek için hedefli politikalara ve girişimlere olan ihtiyacı vurguluyor.

Bu kapsamlı analiz, su kaynaklarının etkin kullanımı ve bölgesel su güvenliği stratejileri için önemli bilimsel ve uygulamalı katkılar sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu tez çalışması CBS ve AHP entegrasyonu ile su hasadı alanlarının belirlenmesine yönelik özgün bir yöntem sunmakta bölgede sürdürülebilir su kaynakları yönetimi için somut

öneriler geliştirmektedir. Analiz sonuçları, bölgesel su güvenliğini artıracak, araştırmacılar, politika ve yatırımlar için önemli bir temel oluşturur.

5.2 Öneriler

- CBS ve AHP yöntemleri ile belirlenen potansiyel su hasadı ve set yeri alanlarının doğruluğunu test etmek amacıyla detaylı saha çalışmaları yapılmalıdır. Bu sayede önerilen yapıların yerinde uygulanabilirliği teyit edilebilir.
- Gelecekteki iklim değişikliklerinin yağış rejimleri ve yüzey akışı üzerindeki etkileri göz önüne alınarak, su hasadı planlamaları farklı senaryolarla yeniden değerlendirilmelidir.
- Su hasadı ve küçük ölçekli baraj uygulamalarının sürdürülebilirliğini artırmak için yerel halkın sürece aktif olarak dâhil edilmesi önemlidir. Katılımcı planlama yaklaşımları benimsenmelidir.
- Yağış, sıcaklık, akış gibi hidrolojik verilerin mekânsal ve zamansal çözünürlüğünün artırılması, model doğruluğunu güçlendirecektir. Bu nedenle yeni meteorolojik istasyonların kurulması ve mevcut verilerin dijitalleştirilmesi teşvik edilmelidir.
- AHP yöntemi dışında farklı ÇKKA yöntemlerinin uygulanarak sonuçların tutarlılığı ve güvenilirliği karşılaştırılmalı olarak analiz edilmelidir.
- Su hasadı yapılarının yalnızca mühendislik çözümleri ile sınırlı kalmayıp, toprak, bitki örtüsü ve arazi kullanımı gibi diğer çevresel unsurlar da dikkate alınarak bütünleşmiş bir havza yönetimi planı oluşturulmalıdır.
- Önerilen su hasadı yapılarının maliyet-fayda analizleri ve çevresel etki değerlendirmeleri yapılmalı; doğal dengeye zarar vermeyecek sürdürülebilir çözümler ön planda tutulmalıdır.
- Sürdürülebilir su kaynakları yönetimini sağlamak için yeraltı suyu çıkarma ve su hasadı politikalarını oluşturmak ve yürürlüğe koymak.
- Kamuoyunun su hasadı, faydaları ve farklı kullanımlar için hasat edilen suyun kalitesi hakkında bilgisini artırmak için eğitim programlarının uygulaması.
- Su hasadı girişimlerine yönelik finansman, politika oluşturma ve teknik destek konularında hükümet ve uluslararası örgütlerin katılımının artırılması için savunuculuk yapmak.

- Sürdürülebilirliği artırmak için yerel halktan finansal ve iş gücü katkılarıyla topluluk odaklı su hasadı projeleri geliştirmek.
- Kuraklık ve sel risklerini etkili bir şekilde azaltmak için su hasadı barajları, rezervuarları ve iyileştirilmiş sulama sistemlerinin inşasına yatırım yapılması.
- Karez ve çeşmeler gibi geleneksel su kaynaklarını tükenmekten korumak için iklime dayanıklı su yönetimi uygulamalarını hayata geçirmek.
- Yerel toplulukların bu sistemleri sürdürmesini ve genişletmesini güçlendirmek için su hasadı sistemi yönetimi konusunda eğitim programlarının sağlanması.



KAYNAKLAR

- Abbas, Z. D., Al-Ansari, N. and Jassim, O., 2019, Locating Dam Sites For Water Harvesting: Case Study Of Najaf Province, Iraq, *Journal of Environmental Hydrology*, 27, 1-8.
- Abbasi, N. A., Xu, X., Lucas-Borja, M. E., Dang, W. and Liu, B., 2019, The use of check dams in watershed management projects: Examples from around the World, *Science of the total environment*, 676, 683-691.
- Abdalla, M. A., 2025, GIS-Based Identification of Optimal Rainwater Harvesting Sites to Support Irrigation in Egypt's Northwestern Coastal Region, *Sustainable Geosciences: People, Planet and Prosperity*, 100004.
- Abebe, H. M. ve Kassa, A. K., 2025, Hydrological suitability analysis for rainwater harvesting using GIS-based fuzzy AHP: Mojo watershed, Ethiopia, *Water Practice & Technology*, 20(9), 1868-1890.
- Abushandi, E. and Alatawi, S., 2015, Dam site selection using remote sensing techniques and geographical information system to control flood events in Tabuk City, *Hydrology Current Research*, 6(1-1000189), 1-13.
- Adeyanju, O. I. and Adedeji, A. A., 2017, Application of hybrid fuzzy-topsis for decision making in dam site selection, *International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE)* 4, 40-52.
- Adham, A., Riksen, M., Abed, R., Shadeed, S. and Ritsema, C., 2022, Assessing suitable techniques for rainwater harvesting using analytical hierarchy process (AHP) methods and GIS techniques, *Water*, 14(13), 2110.
- Adham, A., Riksen, M., Ouessar, M. and Ritsema, C. J., 2016, A methodology to assess and evaluate rainwater harvesting techniques in (semi-) arid regions, *Water*, 8(5), 198.
- Adham, A., Sayl, K. N., Abed, R., Abdeladhim, M. A., Wesseling, J. G., Riksen, M., ... and Ritsema, C. J., 2018, A GIS-based approach for identifying potential sites for harvesting rainwater in the Western Desert of Iraq, *International Soil and Water Conservation Research*, 6(4), 297-304.
- Aghad, M., Manaouch, M., Sadiki, M., Batchi, M. ve Al Karkouri, J., 2021, Identifying Suitable Sites for Rainwater Harvesting Using Runoff Model (SCS-CN), Remote Sensing and GIS Based Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) in Kenitra Province, NW Morocco, *Geographia Technica*, 16.
- Aghaloo, K. and Chiu, Y. R., 2020, Identifying optimal sites for a rainwater-harvesting agricultural scheme in iran using the best-worst method and fuzzy logic in a GIS-based decision support system, *Water*, 12(7), 1913.
- Ahmad, B. A., Salar, S. G. ve Shareef, A. J., 2024, An integrated new approach for optimizing rainwater harvesting system with dams site selection in the Dewana Watershed, Kurdistan Region, Iraq, *Heliyon*, 10(6).

- Ahmad, I., Azhar, S. and Lukauskis, P., 2004, Development of a decision support system using data warehousing to assist builders/developers in site selection, *Automation in construction*, 13(4), 525-542.
- Ahmad, S. R., Ahmad, U. and Masood, A., 2013, Geo-spatial techniques in selection of potential dam site, *Pakistan Journal of Science*, 65(1), 158.
- Ahmed, S. O., Bilgili, A. V., Cullu, M. A., Ernst, F., Abdullah, H., Hamad, T. A. and Aziz, B. S., 2023a, Using Geographic Information Systems and Multi-Criteria Decision Analysis to Determine Appropriate Locations for Rainwater Harvesting in Erbil Province, Iraq, *Water*, 15(23), 4093.
- Ahmed, S., Jesson, M. and Sharifi, S., 2023b, Selection Frameworks for Potential Rainwater Harvesting Sites in Arid and Semi-Arid Regions: A Systematic Literature Review, *Water*, 15(15), 2782.
- Aini, A., 2007, Water Conservation in Afghanistan, *Journal of developments in sustainable agriculture*, 2(1), 51-58.
- Ajayi, O. G., Palmer, M. and Salubi, A. A., 2018, Modelling farmland topography for suitable site selection of dam construction using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry, *RS Applications: Society and Environment*, 11, 220-230.
- Ajibade, T. F., Nwogwu, N. A., Ajibade, F. O., Adelodun, B., Idowu, T. E., Ojo, A. O., ... and Akinmusere, O. K., 2020, Potential dam sites selection using integrated techniques of RS and GIS in Imo State, Southeastern, Nigeria, *Sustainable Water Resources Management*, 6, 1-16.
- Akhtar, F., 2017, *Water availability and demand analysis in the Kabul River Basin, Afghanistan* (Doctoral dissertation, Universitäts-und Landesbibliothek Bonn).
- Akhtar, F., Borgemeister, C., Tischbein, B. and Awan, U. K., 2022, Metrics assessment and streamflow modeling under changing climate in a data-scarce heterogeneous region: a case study of the Kabul River Basin, *Water*, 14(11), 1697.
- Akhtar, S. M. and Iqbal, J., 2017, Assessment of emerging hydrological, water quality issues and policy discussion on water sharing of transboundary Kabul River, *Water Policy*, 19(4), 650-672.
- Aklan, M., Al-Komaim, M. ve De Fraiture, C., 2023, Site suitability analysis of indigenous rainwater harvesting systems in arid and data-poor environments: A case study of Sana'a Basin, Yemen, *Environment, Development and Sustainability*, 25(8), 8319-8342.
- Al-Adamat, R., 2008, GIS as a decision support system for siting water harvesting ponds in the Basalt Aquifer/NE Jordan, *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 10(02), 189-206.
- Al-Adamat, R., AlAyyash, S., Al-Amoush, H., Al-Meshan, O., Rawajfih, Z., Shdeifat, A., and Al-Farajat, M., 2012, The combination of indigenous knowledge and geo-informatics for water harvesting siting in the Jordanian Badia, *Journal of Geographic Information System*, 4, 366-376.

- Al-Adamat, R., Diabat, A. and Shatnawi, G., 2010, Combining GIS with multicriteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan, *Journal of Arid Environments*, 74(11), 1471-1477.
- Alaibakhsh, M., Azizi, S. H. and Kheirkhah Zarkesh, M. M., 2013, Water resource management with a combination of underground dam/qanat and site selection of suitable sites using GIS, *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(3), 606-614.
- Al-Ali, M., 2012, *Soil water conservation and water balance model for micro-catchment water harvesting system* (Doctoral dissertation, Loughborough University).
- Alene, A., Yibeltal, M., Abera, A., Andualem, T. G. and Lee, S. S., 2022, Identifying rainwater harvesting sites using integrated GIS and a multi-criteria evaluation approach in semi-arid areas of Ethiopia, *Applied Water Science*, 12(10), 238.
- Ali, S., Al-Umary, F., Salar, S., Al-Ansari, N. and Knutsson, S., 2014, Evaluation of selected site location for subsurface dam construction within Isayi watershed using GIS and RS Garmiyan area, Kurdistan Region, *Journal of Water Resource and Protection*, 6(11), 972-987.
- Alinezhad, A. ve Khalili, J., 2019, VIKOR method. In New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM) (pp. 23-27). Cham: Springer International Publishing.
- Aliyar, Q., Zulfikar, F., Datta, A., Kuwornu, J. K. and Shrestha, S., 2022, Drought perception and field-level adaptation strategies of farming households in drought-prone areas of Afghanistan, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 72, 102862.
- AlJubaely, R., Soliman, A. H., Hamed, K. and El-Zawahry, A., 2016a, GIS-Based AHP-OWA Approach for Locating Suitable Sites for Water Harvesting Dam in Qassim Region, Saudi Arabia, *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 11(38), 125-138.
- AlJubaely, R., Soliman, A. H., Hamed, K. and El-Zawahry, A., 2016b, Dam Site Selection Using GIS-based AHP-Owa Approach Case Study: El Kebir Shemaly River, Syria, *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 11(39), 447-457.
- Alkaradaghi, K., Hamamin, D., Karim, H., Al-Ansari, N., Ali, S. S., Laue, J. and Ali, T., 2022, Geospatial Technique Integrated with MCDM Models for Selecting Potential Sites for Harvesting Rainwater in the Semi-arid Region, *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 313.
- Al-Kubaisi, M. H. and Al-Kubaisi, Q. Y., 2023, Selection of Dam Sites for Rainwater Harvesting in Western Desert of Iraq: A Case Study in Wadi Al-Mohammadi Basin, *The Iraqi Geological Journal*, 38-50.
- Alonso, J. A. and Lamata, M. T., 2006, Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach, *International journal of uncertainty, fuzziness and knowledge-based systems*, 14(04), 445-459.

- Al-Ruzouq, R., Hamad, K., Shanableh, A. and Khalil, M., 2017, Infrastructure growth assessment of urban areas based on multi-temporal satellite images and linear features, *Annals of GIS*, 23(3), 183-201.
- Al-Ruzouq, R., Shanableh, A., Yilmaz, A. G., Idris, A., Mukherjee, S., Khalil, M. A. and Gibril, M. B. A., 2019, Dam site suitability mapping and analysis using an integrated GIS and machine learning approach, *Water*, 11(9), 1880.
- Al-shabeeb, A. R., 2016, The use of AHP within GIS in selecting potential sites for water harvesting sites in the Azraq Basin—Jordan, *Journal of Geographic Information System*, 8(1), 73-88.
- Amihere-Ackah, P., Monney, I., Appiah-Adjei, E. K. ve Adjei, K. A., 2025, Spatial Multi-Criteria Analysis for Identifying Suitable Sites for Integrated Managed Aquifer Recharge and Rooftop Rainwater Harvesting Systems in Kumasi, Ghana, *Cleaner Water*, 100124.
- Ammar, A., Riksen, M., Ouessar, M. and Ritsema, C., 2016, Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review, *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 108-120.
- Arunima, D., Dhinwa, P.S., Rajawat, A.S. 2015. Monitoring implementation of desertification combating plan using geomatics -A case study, districts Dhar and Jhabua, Madhya Pradesh. *Journal of Earth System Science*, 124, 87–99.
- Atef, S. S., Sadeqinazhad, F., Farjaad, F. and Amatya, D. M., 2019, Water conflict management and cooperation between Afghanistan and Pakistan, *Journal of hydrology*, 570, 875-892.
- Atiq, M. Z., Arslan, M., Baig, Z., Ahmad, A., Tanveer, M. U., Akhtar, A., ... and Mahmood, S. A., 2019, Dam Site Identification Using RS and GIS (A case study Diamer Basha Dam Site), *International Journal of Innovations in Science & Technology*, 1(4), 168-178.
- Atta, H. E. and Aref, I., 2010, Effect of terracing on rainwater harvesting and growth of *Juniperus procera* Hochst. ex Endlicher. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7, 59-66.
- Baban, S. M. and Wan-Yusof, K., 2003, Modelling optimum sites for locating reservoirs in tropical environments, *Water Resources Management*, 17, 1-17.
- Baharvand, S., Rahnamarad, J. and Soori, S., 2020, Assessment of the potential areas for underground dam construction in Roomeshgan, Lorestan province, Iran, *Iranian Journal of Earth Sciences*, 12(1), 32-41.
- Bakış, R., Koc, C., Bayazıt, Y. and Cabuk, S. N., 2020, Application of Geographic Information System to Select Dam Location for Hydropower, *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research*, 9(1), 56-72.
- Balkhair, K. S. ve Ur Rahman, K., 2021, Development and assessment of rainwater harvesting suitability map using analytical hierarchy process, GIS and RS techniques, *Geocarto International*, 36(4), 421-448.

- Balooni, K., Kalro, A. H. and Kamalamma, A. G., 2008, Community initiatives in building and managing temporary check-dams across seasonal streams for water harvesting in South India, *Agricultural Water Management*, 95(12), 1314-1322.
- Bera, A. and Mukhopadhyay, B. P., 2023, Identification of suitable sites for surface rainwater harvesting in the drought prone Kumari River basin, India in the context of irrigation water management, *Journal of Hydrology*, 621, 129655.
- Bereded, F. T., Andiye, Y. M. ve Lohani, T. K., 2025, Multi-Criteria Analysis for Effective Rainwater Harvesting Site Identification in Konso Zone, Ethiopia, *Global Challenges*, 9(4), 2400333.
- Beven, K. J. and Kirkby, M. J., 1979, A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant, *Hydrological sciences journal*, 24(1), 43-69.
- Biwott, G. C., Kiplagat, A., Ngetich, J. K., Kipkorir, E. C. and Kigen, C., 2023, Dam Sites Identification using Multi-Criteria Analysis and Spatial Weighted Overlay. The Case of Kapseret Sub-County, Kenya, *East African Journal of Environment and Natural Resources*, 6(1), 166-177.
- Bonham-Carter, G., 1994, Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS (No. 13), Elsevier.
- Bromand, M. T., 2015, *Impact assessment of climate change on water resources in the Kabul River Basin, Afghanistan* (Doctoral dissertation, Ritsumeikan University).
- Brower, C. and Heibloem, M., 1986, Irrigation Water Management Training Manual No. 3: Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. *FAO, International Support Program for Irrigation Water Management*. Land and Water Development Division, Rome.
- Cantaluppi, C., Zannoni, D., Cianchi, A., Giacetti, W., Lovisetto, B., Pagnin, E. and Favero, T., 2021, Methods for radioactivity measurements in drinking water using gamma spectrometry, *Journal of Environmental Radioactivity*, 232, 106566.
- Chakraborty, S., 2022, TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis, *Decision Analytics Journal*, 2, 100021.
- Chaplot, V. A. and Le Bissonnais, Y., 2003, Runoff features for interrill erosion at different rainfall intensities, slope lengths, and gradients in an agricultural loessial hillslope, *Soil Science Society of America Journal*, 67(3), 844-851.
- Chimdessa, C., Dibaba, Z. and Dula, G., 2023, GIS based identification of water harvesting potential area in the Bale lowland of south eastern Ethiopia, *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1-17.
- Chung, C. J. F. ve Fabbri, A. G., 2003, Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping, *Natural hazards*, 30(3), 451-472.
- Cohen, J., 1960, A coefficient of agreement for nominal scales, *Educational and psychological measurement*, 20(1), 37-46.

- Congalton, R. G. ve Green, K., 2019, Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices, CRC press.
- Cote, C. M., Bristow, K. L., Charlesworth, P. B., Cook, F. J. and Thorburn, P. J., 2003, Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation, *Irrigation Science*, 22, 143-156.
- Critchley, W and Siegert, K., 1991. A Manual for the Design and Construction of Water harvesting Schemes for Plant Production. FAO, Rome, Italy.
- Critchley, W., Siegert, K., Chapman, C. ve Finket, M., 2013, Water harvesting: A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production, *Scientific Publishers*.
- Dai, X., 2016, Dam site selection using an integrated method of AHP and GIS for decision making support in Bortala, Northwest China (Master's thesis, *University of Twente*).
- De Kwaadsteniet, M., Dobrowsky, P. H., Van Deventer, A., Khan, W. and Cloete, T. E., 2013, Domestic rainwater harvesting: microbial and chemical water quality and point-of-use treatment systems, *Water, Air, and Soil Pollution*, 224, 1-19.
- De Sá Silva, A. C. R., Bimbato, A. M., Balestieri, J. A. P. and Vilanova, M. R. N., 2022, Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review, *Sustainable Cities and Society*, 76, 103475.
- Debebe, Y., Otterpohl, R. and Islam, Z., 2023, Remote sensing and multi-criterion analysis for identifying suitable rainwater harvesting areas, *Acta Geophysica*, 71(2), 855-872.
- Deepa, S., Venkateswaran, S., Ayyandurai, R., Kannan, R. and Vijay Prabhu, M., 2016, Groundwater recharge potential zones mapping in upper Manimuktha Sub basin Vellar river Tamil Nadu India using GIS and remote sensing techniques, *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 1-13.
- Desalegn, D. ve Sintayehu Angualie, G., 2025, Geospatial identification of potential rainwater harvesting sites for agricultural sustainability in the Gurnd Watershed, North Wollo, Ethiopia, *Discover Applied Sciences*, 7(10), 1223.
- Dortaj, A., Maghsoudy, S., Doulati Ardejani, F. and Eskandari, Z., 2020, Locating suitable sites for construction of subsurface dams in semiarid region of Iran: using modified ELECTRE III, *Sustainable Water Resources Management*, 6, 1-13.
- Doulabian, S., Ghasemi Tousi, E., Aghlmand, R., Alizadeh, B., Ghaderi Bafti, A. ve Abbasi, A., 2021, Evaluation of integrating swat model into a multi-criteria decision analysis towards reliable rainwater harvesting systems, *Water*, 13(14), 1935.
- Durbude, D. G. and Venkatesh, B., 2004, Site suitability analysis for soil and water conservation structures, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 32, 399-405.
- Ebrahimi, J., Moradi, H. R. and Chezgi, J., 2021, Prioritizing suitable locations for underground dam construction in south-east of Bushehr Province, *Environmental Earth Sciences*, 80, 1-16.

- Elewa, H. H., Zelenakova, M. and Nosair, A. M., 2021, Integration of the analytical hierarchy process and GIS spatial distribution model to determine the possibility of runoff water harvesting in dry regions: Wadi Watir in Sinai as a case study, *Water*, 13(6), 804.
- Elewa, H.H., Qaddah, A.A., El-Feel, A.A., 2012, Determining potential sites for runoff water harvesting using remote sensing and geographic information systems-based modeling in Sinai, *American Journal of Environmental Sciences*, 8, 42–55.
- Elhag, A. R. And Eljack, I. H., 2016, Dam site selection using GIS techniques and RS to minimize flash floods in east Nile locality (Soba Valley)-Khartoum State, *International Journal of Engineering Science Invention*, 5(12), 50-61.
- El-Kelani, R. and Khader, A., 2019, Assessment and Mapping of Proposed Dam Sites in North West Bank, Palestine Using GIS. In *Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrogeology, Hydrochemistry and Water Resources: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1)*, Tunisia 2018 (pp. 425-427). Springer International Publishing.
- Ettazarini, S., 2021, GIS-based land suitability assessment for check dam site location, using topography and drainage information: a case study from Morocco, *Environmental Earth Sciences*, 80(17), 567.
- Ezzeldin, M., Konstantinovich, S. E. and Igorevich, G. I., 2022, Determining the suitability of rainwater harvesting for the achievement of sustainable development goals in Wadi Watir, Egypt using GIS techniques, *Journal of Environmental Management*, 313, 114990.
- FAO., 2003, Land and water digital media series, 26. Training course on RWH (CDROM). Planning of water harvesting schemes, unit 22. Rome: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, FAO.
- Farahmand, A., Hussaini, M. S., Zaryab, A. and Aqili, S. W., 2021, Evaluation of Hydrogeoethics approach for sustainable management of groundwater resources in the upper Kabul sub-basin, Afghanistan, *Sustainable Water Resources Management*, 7(3), 48.
- Farooq, S., Mahmood, K. and Faizi, F., 2022, Comparative Simulation of GIS-Based Rainwater Management Solutions, *Water Resources Management*, 36(9), 3049-3065.
- Favre, R. and Kamal, G. M., 2004, *Watershed Atlas of Afghanistan*, Kabul: Government of Afghanistan, Ministry of Irrigation, Water Resources and Environment.
- Fekadu, A., Woldeyohannes, B. and Getnet, S., 2020, Potential Water Harvesting Site Identification for Micro-dam Using SCS-GIS Approach: Case of Genfel River Catchment, Eastern Zone of Tigray, Ethiopia, *Journal of Environment and Earth Science*, 10(9), 743-59.
- Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F. and Castelli, F., 2008, A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(1-2), 74-85.

- Fox, E. L. B., 2020, A Transdisciplinary Approach to Decision Support for Dams in the Northeastern US with Hydropower Potential, *The University of Maine*.
- Fu, B., Wang, J., Chen, L., and Qiu, Y., 2003, The effects of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau, China, *Catena*, 54(1-2), 197-213.
- Fu, Z., Ahmad, I., Fenta, A., Dar, M. A., Tekla, A. H., Belew, A. Z., ... and Shumey, E. E., 2022, Identification of potential dam sites using OLS regression and fuzzy logic approach, *Environmental Sciences Europe*, 34(1), 105.
- Gacko, I., Muchová, Z., Jurík, L., Šinka, K., Fabian, L. and Petrovič, F., 2020, Decision making methods to optimize new dam site selections on the Nitra River, *Water*, 12(7), 2042.
- GAO, 2010, U.S. Efforts to Support Afghan Water Sector Increasing, but Improvements Needed in Planning and Coordination, Afghanistan Development, Report to Congressional Addressees, *United States Government Accountability Office*, U.S.
- Garg, V. and Eslamian, S., 2021, Geospatial Approach to Identify the Suitable Sites for Water Conservation: Indian Context. Handbook of Water Harvesting and Conservation: *Case Studies and Application Examples*, 291-312.
- Gavhane, K. P., Mishra, A. K., Sarangi, A., Singh, D. K. and Sudhishri, S., 2023, Targeting of rainwater harvesting structures using geospatial tools and analytical hierarchy process (AHP) in the semi-arid region of Rajasthan (India), *Environmental Science and Pollution Research*, 30(22), 61682-61709.
- Ghobadi, M. and Kaboli, H. S., 2020, Developing a Web-based decision support system for reservoir flood management, *Journal of Hydroinformatics*, 22(3), 641-662.
- Ghorbani Nejad, S., Falah, F., Daneshfar, M., Haghizadeh, A. and Rahmati, O., 2017, Delineation of groundwater potential zones using remote sensing and GIS-based data-driven models, *Geocarto international*, 32(2), 167-187.
- Ghosh, P. K. and Jana, N. C., 2018, Groundwater potentiality of the Kumari River Basin in drought-prone Purulia upland, Eastern India: a combined approach using quantitative geomorphology and GIS, *Sustainable Water Resources Management*, 4(3), 583-599.
- Gómez-Plaza, A., Martínez-Mena, M., Albaladejo, J. ve Castillo, V. M., 2001, Factors regulating spatial distribution of soil water content in small semiarid catchments, *Journal of hydrology*, 253(1-4), 211-226.
- Grum, B., Hessel, R., Kessler, A., Woldearegay, K., Yazew, E., Ritsema, C. and Geissen, V., 2016, A decision support approach for the selection and implementation of water harvesting techniques in arid and semi-arid regions, *Agricultural Water Management*, 173, 35-47.
- Grum, B., Woldearegay, K., Hessel, R., Baartman, J. E., Abdulkadir, M., Yazew, E., ... and Geissen, V., 2017, Assessing the effect of water harvesting techniques on event-based hydrological responses and sediment yield at a catchment scale in northern Ethiopia using the Limburg Soil Erosion Model (LISEM), *Catena*, 159, 20-34.

- Hagos, Y. G., Andualem, T. G., Mengie, M. A., Ayele, W. T. and Malede, D. A., 2022, Suitable dam site identification using GIS-based MCDA: a case study of Chemoga watershed, Ethiopia, *Applied Water Science*, 12(4), 69.
- Hamdard, M. H., 2023, An assessment of drinking water quality in Afghanistan, PhD Dissertation, *University of Oulu Graduate School*, Oulu, Finland.
- Hamdard, M., Soliev, I., Rasouli, H., Kløve, B. and Belhassan, K., 2022, Groundwater Quality Assessment in Chak Karstic Sedimentary Basin, Wardak Province, Afghanistan, *Central Asian Journal of Water Research*, 8(2), 102–109.
- Hashim, H. Q. and Sayl, K. N., 2021, Detection of suitable sites for rainwater harvesting planning in an arid region using geographic information system, *Applied Geomatics*, 13, 235-248.
- Hatibu, N. and Mahoo, H., 1999, Rainwater harvesting technologies for agricultural production: A case for Dodoma, Tanzania, *Conservation tillage with animal traction*, 161, 312-326.
- Hawkins, R. H., Ward, T. J., Woodward, D. E. and Van Mullem, J. A. (Eds.), 2008, Curve number hydrology: State of the practice, *American Society of Civil Engineers*.
- Hayat, E. and Baba, A., 2017, Quality of groundwater resources in Afghanistan, *Environmental monitoring and assessment*, 189, 1-16.
- HEC-HMS, 2001, Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)-User's Manual, *U.S. Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center (HEC)*, CPD-57, Davis, CA.
- Hofer, T. and Warren, P., 2007, Why invest in watershed management?, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 40, Rome. Italy.
- Hudson, N., 1981, Soil Conservation, *BT Bassford Limited*, London, pp. 324.
- Hussaini, M. S., Farahmand, A., Shrestha, S., Neupane, S. and Abrunhosa, M., 2022, Site selection for managed aquifer recharge in the city of Kabul, Afghanistan, using a multi-criteria decision analysis and geographic information system. *Hydrogeology Journal*, 30(1), 59-78.
- Hussainzada, W. and Lee, H. S., 2022, Effect of an improved agricultural irrigation scheme with a hydraulic structure for crop cultivation in arid northern Afghanistan using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), *Scientific Reports*, 12(1), 5186.
- Hussainzada, W., Cabrera, J. S., Samim, A. T. and Lee, H. S., 2023, Water resource management for improved crop cultivation and productivity with hydraulic engineering solution in arid northern Afghanistan, *Applied Water Science*, 13(2), 41.
- Hwang, C. L. ve Yoon, K., 1981, *Methods for multiple attribute decision making. In Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey* (pp. 58-191). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Ibrahim, G. R. F., Rasul, A., Ali Hamid, A., Ali, Z. F. ve Dewana, A. A., 2019, Suitable site selection for rainwater harvesting and storage case study using Dohuk Governorate, *Water*, 11(4), 864.
- Ibrahim, M. H. J., Venktes, J. and Abed Ali, A. H., 2013, The Detailed Survey for Site Selection for the Construction of a Dam Using RS and Geographic Information System in Iraq, *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 1001-1004.
- IMSD., 1995, Integrated mission for sustainable development technical guidelines, *National Remote Sensing Agency, Department of Space, Govt. of India*.
- Iqbal, M. S., Dahri, Z. H., Querner, E. P., Khan, A. and Hofstra, N., 2018, Impact of climate change on flood frequency and intensity in the Kabul River Basin, *Geosciences*, 8(4), 114.
- Iqbal, M. W., Donjedee, S. and Kwanyuen, B., 2016, Farmers' perception of water management under drought conditions in Badakshan Province, Afghanistan, *In 2nd World Irrigation Forum (WIF2)*, Chiang Mai, Thailand (pp. 6-8).
- Jamali, A. A., Randhir, T. O. and Nosrati, J., 2018, Site suitability analysis for subsurface dams using Boolean and fuzzy logic in arid watersheds, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(8), 04018047.
- Jamali, I. A., Olofsson, B. and Mörtberg, U., 2013, Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS, *Environmental earth sciences*, 70(6), 2511-2525.
- Jean Charles, M., 2007, Rainwater harvesting systems in developing countries: a report submitted for Master of Science in civil engineering, *Michigan Technological university*, USA.
- Jha, M. K., Chowdary, V. M., Kulkarni, Y. and Mal, B. C., 2014, Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis, *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 96-111.
- Jhariya, D. C., Kumar, T., Gobinath, M., Diwan, P. and Kishore, N., 2016, Assessment of groundwater potential zone using remote sensing, GIS and multi criteria decision analysis techniques, *Journal of the Geological Society of India*, 88, 481-492.
- JICA, 2011, Needs Assessment Survey for Water Resource Management and Development in Afghanistan, *Japan International Cooperation Agency*.
- Johnson, K., Renwick, H., 1979, Rain and storm water harvesting for additional water supply in rural areas: Component Review on North America, *United Nations Environment Programme*, 28 pp.
- Jozaghi, A., Alizadeh, B., Hatami, M., Flood, I., Khorrami, M., Khodaei, N. and Ghasemi Tousi, E., 2018, A comparative study of the AHP and TOPSIS techniques for dam site selection using GIS: A case study of Sistan and Baluchestan Province, Iran, *Geosciences*, 8(12), 494.

- Kadam, A. K., Kale, S. S., Pande, N. N., Pawar, N. J. and Sankhua, R. N., 2012, Identifying potential rainwater harvesting sites of a semi-arid, basaltic region of Western India, using SCS-CN method, *Water resources management*, 26, 2537-2554.
- Kahinda, J. M., Lillie, E. S. B., Taigbenu, A. E., Taute, M. and Boroto, R. J., 2008, Developing suitability maps for rainwater harvesting in South Africa, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(8-13), 788-799.
- Kansal, M. L., Bose, S. ve Tembi, F., 2026, Identification of suitable zones and sites for rainwater harvesting to ensure urban water security in Songea, Tanzania, *Journal of African Earth Sciences*, 105886.
- Kansal, M. L., Bose, S. ve Tembi, F., 2025, Identification of suitable zones and sites for rainwater harvesting to ensure urban water security in Songea, Tanzania, *Journal of African Earth Sciences*, 105886.
- Karakuş, C. B. and Yıldız, S., 2022, Gis-multi criteria decision analysis-based land suitability assessment for dam site selection, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(12), 12561-12580.
- Khan, D., Raziq, A., Young, H. W. V., Sardar, T. ve Liou, Y. A., 2022, Identifying potential sites for rainwater harvesting structures in Ghazi Tehsil, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, using geospatial approach, *Remote Sensing*, 14(19), 5008.
- Kharazi, P., Yazdani, M. R. and Khazealpou, P., 2019, Suitable identification of underground dam locations, using decision-making methods in a semi-arid region of Iranian Semnan Plain, *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100240.
- Kiriwongwattana, K., 2014, Site Suitable Locating for Check Dam in Small Watershed using Geographic Information System, *In 6th International Science, Social Sciences, Engineering and Energy Conference*.
- Klari, Z. M. and Abdulrahman, D. H., 2022, Hydrological Information related Existed Dam Sites Assessment using ArcGIS in Zawita District, *Kurdistan Journal of Applied Research*, 45-63.
- Krois, J. and Schulte, A., 2014, GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru, *Applied Geography*, 51, 131-142.
- Lasprilla Pina, C. and Kassaye, R. B., 2017, Literature Review on the Rainwater Harvesting Research Landscape, In-Situ and Domestic Design Examples and Best Practice Projects in China and Brazil, *RUVIVAL publication series*, 19-35.
- Lee, A. H., Chen, W. C. and Chang, C. J., 2008, A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan, *Expert systems with applications*, 34(1), 96-107.
- Lee, S. A. R. O., 2005, Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, *International Journal of remote sensing*, 26(7), 1477-1491.

- Machiwal, D., Jha, M. K. and Mal, B. C., 2011, Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques, *Water resources management*, 25, 1359-1386.
- Maharjan, S. B., Shrestha, F., Azizi, F., Joya, E., Bajracharya, B., Bromand, M. T. and Rahimi, M. M., 2021, Monitoring of glaciers and glacial lakes in Afghanistan. Earth Observation Science and Applications for Risk Reduction and Enhanced Resilience in Hindu Kush Himalaya Region: *A Decade of Experience from SERVIR*, 211-230.
- Mahmoud, S. H. and Alazba, A. A., 2015, The potential of in situ rainwater harvesting in arid regions: developing a methodology to identify suitable areas using GIS-based decision support system, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 5167-5179.
- Mahmoud, S. H. ve Tang, X., 2015, Monitoring prospective sites for rainwater harvesting and stormwater management in the United Kingdom using a GIS-based decision support system, *Environmental Earth Sciences*, 73(12), 8621-8638.
- Mahmoud, S. H., Alazba, A. A., Adamowski, J. and El-Gindy, A. M., 2015, GIS methods for sustainable stormwater harvesting and storage using remote sensing for land cover data-location assessment, *Environmental monitoring and assessment*, 187, 1-19.
- Maina, C. W. and Raude, J. M., 2016, Assessing land suitability for rainwater harvesting using geospatial techniques: A case study of Njoro catchment, Kenya, *Applied and Environmental Soil Science*, 2016.
- Malczewski, J., 2004, GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, *Progress in planning*, 62(1), 3-65.
- Malesu, M. M., 2006, Rainwater harvesting innovations in response to water scarcity: The Lare experience (No. 5), *World Agroforestry Centre*.
- Malesu, M. M., 2007, Mapping the potential of rainwater harvesting technologies in Africa: A GIS overview and atlas of development domains for the continent and nine selected countries (Vol. 7), *World Agroforestry Centre*.
- Mamin, H. N. and Majeed, S. A., 2022, December, Runoff Estimation and Dam Selection Site in the Khur khur Watershed (KHW), Using (SCS-CN) Method and (GIS & RS) Techniques, *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1120, No. 1, p. 012019).
- Manaouch, M., Sadiki, M. and Fenjiro, I., 2022, Integrating GIS-based FAHP and WaTEM/SEDEM for identifying potential RWH areas in semi-arid areas, *Geocarto International*, 37(25), 8882-8905.
- Martínez-Acosta, L., López-Lambrano, A. A. and López-Ramos, A., 2019, Design criteria for planning the agricultural rainwater harvesting systems: a review, *Applied Sciences*, 9(24), 5298.
- Mati, B.M, 2012, Best Practices for Water Harvesting and Storage within Valleys. Training Manual 3, *NBI/NELSAP- Regional Agricultural and Trade Programme (RATP)*, Bujumbura, Burundi.

- Matomela, N., Li, T. and Ikhumhen, H. O., 2020, Siting of rainwater harvesting potential sites in arid or semi-arid watersheds using GIS-based techniques, *Environmental Processes*, 7, 631-652.
- Mbilinyi, B. P., Tumbo, S. D., Mahoo, H. and Mkiramwinyi, F. O., 2007, GIS-based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 32(15-18), 1074-1081.
- McCartney, M. P., 2007, Decision support systems for large dam planning and operation in Africa, *International Water Management Institute (IWMI)*, Vol. 119.
- Mehl, V., Oloruntoba, A., Gonzalez Alvarez, A., Möller, J., Ho, S. Y., Al Baff, A. and Kassaye, R. B., 2017, A Review of Land-Based Rainwater Harvesting Systems for Micro and Macro-Catchments, *RUVIVAL publication series*, 36-49.
- Mekdaschi, S. R. and Liniger, H., 2013, Water harvesting: guidelines to good practice. Centre for Development and Environment (CDE), Bern; *Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN)*, Amsterdam; MetaMeta, Wageningen (p. 210)
- MEW, 2021, Booklet of Wardak river basin, Ministry of Energy and Water of Afghanistan, unpublished data, Kabul, Afghanistan.
- Minatour, Y., Khazaie, J., Ataei, M. and Javadi, A. A., 2015, An integrated decision support system for dam site selection, *Scientia Iranica*, 22(2), 319-330.
- Mkilima, T., 2023, Dam Site Characterization Based on Land Use and Land Cover Changes in Urban Catchments. A Case of the Msimbazi Catchment in Dar es Salaam, Tanzania, *Technobius*, 3(1), 34.
- Mockus, V., 1949, Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms, Exhibit A in Appendix B, *Interim Survey Report (Neosho) River Watershed USDA*.
- Mogaji, K. A., Lim, H. S. and Abdullah, K., 2015, Regional prediction of groundwater potential mapping in a multifaceted geology terrain using GIS-based Dempster-Shafer model, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 3235-3258.
- Moges, G., 2009, *Identification of potential rainwater harvesting areas in the central Rift Valley of Ethiopia using a GIS based approach (Doctoral dissertation)*. The Netherlands: Wageningen University.
- Mohanty, A., 2016, Sustainable Watershed Management in Afghanistan: A case study of Kahmard District, *Indian Institute of Public Administration*, Aurangabad Local Branch, Maharashtra, Pp-109-112.
- Morales-Figueroa, C., Castillo-Suárez, L. A., Linares-Hernández, I., Martínez-Miranda, V., and Teutli-Sequeira, E. A., 2023, Treatment processes and analysis of rainwater quality for human use and consumption regulations, treatment systems and quality of rainwater, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-24.
- Mouhoumed, R. M., Ekmekcioğlu, Ö. and Özger, M., 2024, A holistic multi-tiered decision framework for evaluating rainwater harvesting potential in arid regions: A case study

- of the southeastern basin of Djibouti, *Groundwater for Sustainable Development*, 25, 101090.
- Muhammad, S., Muneer, J., Gul, C., Javed, A. and Malik, S., 2013, Identification of suitable site for DAM in Northern Pakistan using Geo-Spatial Techniques, *Pakistan Journal of Science*, 212-215.
- Mulye, R. and Nag, D., 1995, Integrating Economic and Non-Economic Factors in Site Selection for a Small Dam Project: A Case Study, *IFAC Proceedings Volumes*, 28(7), 247-252.
- Mumzai, A., Talebi, A. and Emami, N., 2018, Site Selection of the Underground Dam using the Analytical Hierarchy Process and Geographic Information System (Case Study: Shahrekurd and Marghmalek Watersheds), *Environment and Water Engineering*, 4(2), 137-147.
- Munir, B. A., Ahmad, S. R. and Rehan, R., 2021, Torrential flood water management: Rainwater harvesting through relation based dam suitability analysis and quantification of erosion potential, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(1), 27.
- Mushwani, H., Arabzai, A., Safi, L., Ullah, H., Afghan, A. and Parven, A., 2024, Evaluation of flood hazard vulnerabilities and innovative management strategies in Afghanistan's central region, *Natural Hazards*, 1-17.
- Myers, L.E., 1975, Water harvesting 2000 B.C.to 1974 A.D. Proc, *Water Harvesting Syrup.*, Phoenix, AZ, ARSW-22, USDA,1-7.
- Najmuddin, O., Deng, X. and Bhattacharya, R., 2018, The dynamics of land use/cover and the statistical assessment of cropland change drivers in the Kabul River Basin, Afghanistan, *Sustainability*, 10(2), 423.
- NAS. 1974. More Water for Arid Lands: Promising Technologies and Research Opportunities, *National Academy of Science Press*, Washington, DC.
- Nawaz, M., Hamid, M. and Sattar, F., 2006, September, Consensus evaluation and prioritization using GIS and KDS tools: case study of Kalabagh and Bhasha Dam, *In 2006 International Conference on Advances in Space Technologies* (pp. 113-116).
- NEPA and UN Environment., 2016, Afghanistan: Climate Change Science Perspectives. Kabul: *National Environmental Protection Agency & UN Environment*.
- Noori, A. M., Pradhan, B. and Ajaj, Q. M., 2019, Dam site suitability assessment at the Greater Zab River in northern Iraq using RS data and GIS, *Journal of Hydrology*, 574, 964-979.
- Noori, A. R. and Singh, S. K., 2024, Delineation of optimal locations for artificial groundwater recharge utilizing MIF and GIS in a semi-arid area, *Environmental Earth Sciences*, 83(1), 33.
- NRCS, 2003, National Soil Survey Handbook, title 430-VI, *U.S. Department of Agriculture, National Resource Conservation Service*, Washington, DC.

- NSIA, 2024, statistical yearbook of 2023-24 of Afghanistan, *National Statistics and Information Authority*, Kabul, Afghanistan.
- Nyssen, J., Veyret-Picot, M., Poesen, J., Moeyersons, J., Haile, M., Deckers, J. and Govers, G., 2004, The effectiveness of loose rock check dams for gully control in Tigray, northern Ethiopia, *Soil Use and Management*, 20(1), 55-64.
- Odhiambo, K. O., Iro Ong'or, B. T. and Kanda, E. K., 2021, Optimization of rainwater harvesting system design for smallholder irrigation farmers in Kenya: a review, *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 70(4), 483-492.
- Odiji, C., Adepoju, M., Ibrahim, I., Adedeji, O., Nnaemeka, I. and Aderoju, O., 2021, Small hydropower dam site suitability modelling in upper Benue river watershed, Nigeria, *Applied Water Science*, 11, 1-17.
- Othman, A. A., Al-Maamar, A. F., Al-Manmi, D. A. M. A., Liesenberg, V., Hasan, S. E., Obaid, A. K. and Al-Quraishi, A. M. F., 2020, GIS-based modeling for selection of dam sites in the Kurdistan Region, Iraq, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 244.
- Ougahi, J. H., Karim, S. and Mahmood, S. A., 2022, Application of the SWAT model to assess climate and land use/cover change impacts on water balance components of the Kabul River Basin, Afghanistan, *Journal of Water and Climate Change*, 13(11), 3977-3999.
- Oweis, T. Y., Prinz, D. and Hachum, A. Y., 2012, *Rainwater harvesting for agriculture in the dry areas* (p. 262) London, UK: CRC press.
- Oweis, T., Oberle, A. and Prinz, D., 1998, Determination of potential sites and methods for water harvesting in central Syria, *Advances in GeoEcology*, 31, 83-88.
- Pandey, A., Chowdary, V. M., Mal, B. C. and Dabral, P. P., 2011, Remote sensing and GIS for identification of suitable sites for soil and water conservation structures, *Land Degradation & Development*, 22(3), 359-372.
- Patel, A. and Chaudhari, N., 2023, Enhancing water security through site selection of water harvesting structures in semi-arid regions: a GIS-based multiple criteria decision analysis, *Water Supply*, 23(10), 4149-4165.
- Patel, D., Samal, D. R., Prieto, C. and Eslamian, S., 2021, *Application of RS and GIS for locating rainwater harvesting structure systems*. Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals, 127-143.
- Patra, S., Mishra, P. and Mahapatra, S. C., 2018, Delineation of groundwater potential zone for sustainable development: A case study from Ganga Alluvial Plain covering Hooghly district of India using remote sensing, geographic information system and analytic hierarchy process, *Journal of Cleaner Production*, 172, 2485-2502.
- Patrick, E., 1997, *Assessing water harvesting suitability*, FAO Corporate Document Repository, Water Report, 16.

- Peng, Z., 2017, June, Location of dam using analytic hierarchy progress, *In Advances in Materials, Machinery, Electrical Engineering* (AMMEE 2017) (pp. 441-444). Atlantis Press.
- Pereira, V., Basilio, M. P. ve Santos, C. H. T. S. H. T., 2024, Enhancing decision analysis with a large language model: pydecision a comprehensive library of MCDA methods in python, *arXiv preprint arXiv:2404.06370*.
- Petheram, C., Gallant, J. and Read, A., 2017, An automated and rapid method for identifying dam wall locations and estimating reservoir yield over large areas, *Environmental modelling & software*, 92, 189-201.
- PHED, 2024, *Water Harvesting Structures Planning, Design And Construction, the Public Health Engineering Department of Government of Meghalaya*, India.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B. ve Gokceoglu, C., 2012, Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran, *Natural hazards*, 63(2), 965-996.
- Pourghasemi, H. R., Yousefi, S., Sadhasivam, N. and Eskandari, S., 2020, Assessing, mapping, and optimizing the locations of sediment control check dams construction, *Science of the total environment*, 739, 139954.
- Pradhan, B., 2010, Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing, *Journal of Spatial Hydrology*, 9(2).
- Prinz, D. and Singh, A., 2000, Technological potential for improvements of water harvesting, *Gutachten für die World Commission on Dams*, technical papers, 126.
- Qureshi, A. S., 2002, Water resources management in Afghanistan: The issues and options (Vol. 49), *International Water Management Institute (IWMI)*.
- Qureshi, M. A., 2010, Dam/reservoir sites selection using RS & GIS techniques. In Bridging the Gap through Satellite Technology, *ISNET/NARSS Seminar in Egypt*, Cairo, Egypt.
- Raaj, S., Pathan, A. I., Mohseni, U., Agnihotri, P. G., Patidar, N., Islam, M. N., ... and salihi, M., 2022, Dam site suitability analysis using geo-spatial technique and AHP: a case of flood mitigation measures at Lower Tapi Basin, *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(4), 5207-5223.
- Radwan, F. and Alazba, A. A., 2023, Suitable sites identification for potential rainwater harvesting (PRWH) using a multi-criteria decision support system (MCDSS), *Acta Geophysica*, 71(1), 449-468.
- Rahimi, I., Seyedian, M., Rouhani, H. and Ahmadi, R., 2019, Check dam suitable locations for erosion control using hierarchical analysis process, *Environmental Erosion Research Journal*, 9(1), 1-26.
- Rahmati, O., Ghasemieh, H., Samadi, M., Kalantari, Z., Tiefenbacher, J. P., Nalivan, O. A., ... and Bui, D. T., 2020, TET: An automated tool for evaluating suitable check-dam sites based on sediment trapping efficiency, *Journal of cleaner production*, 266, 122051.

- Rahmati, O., Kalantari, Z., Samadi, M., Uuemaa, E., Moghaddam, D. D., Nalivan, O. A., and Tien Bui, D., 2019, GIS-based site selection for check dams in watersheds: considering geomorphometric and topo-hydrological factors, *Sustainability*, 11(20), 5639.
- Rahmati, O., Nazari Samani, A., Mahdavi, M., Pourghasemi, H. R. and Zeinivand, H., 2015, Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 7059-7071.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R. ve Zeinivand, H., 2016, Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran, *Geocarto International*, 31(1), 42-70.
- Rais, S. ve Javed, A., 2014, Identification of artificial recharge sites in Manchi Basin, Eastern Rajasthan (India) using remote sensing and GIS techniques, *Journal of Geographic Information System*, 2014.
- Rajasekhar, M., Gadhiraju, S. R., Kadam, A. and Bhagat, V., 2020, Identification of groundwater recharge-based potential rainwater harvesting sites for sustainable development of a semiarid region of southern India using geospatial, AHP, and SCS-CN approach, *Arabian Journal of Geosciences*, 13(1), 24.
- Ramakrishnan, D., Bandyopadhyay, A. and Kusuma, K. N., 2009, SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential water harvesting sites in the Kali Watershed, Mahi River Basin, India, *Journal of earth system science*, 118, 355-368.
- Ramakrishnan, D., Durga Rao, K.H.V. and Tiwari, K.C., 2008, Delineation of potential sites for water harvesting structures through remote sensing and GIS techniques: a case study of Kali watershed, Gujarat, India, *Geo carto International*, 23(2), 95–108.
- Rana, M. S. P., Rahman, M. T. ve Hassan, M. F., 2025, Mapping groundwater potential zone by robust machine learning algorithms & remote sensing techniques in agriculture dominated area, Bangladesh, *Cleaner Water*, 3, 100064.
- Raoufi, H., Zebardast, L., Jafari, H., Sarhadi, W. A. and Salehi, E., 2024, Assessing the Impacts of Climate Change on Crop Water Requirements for Winter Wheat in the Central Agro-Climatic Zone of Afghanistan, Available at SSRN 4710304.
- Rasooli, A. and Kang, D., 2015, Assessment of potential dam sites in the Kabul river basin using GIS, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (ijacsa)*, 6(2).
- Rasouli, H., Kayastha, R. B., Bhattarai, B. C., Shrestha, A., Arian, H. and Armstrong, R., 2015, Estimation of discharge from Upper Kabul River Basin, Afghanistan using the snowmelt runoff model, *Journal of Hydrology and Meteorology*, 9(1), 85-94.
- Rather, M. A., Meraj, G., Farooq, M., Shiekh, B. A., Kumar, P., Kanga, S., ... and Tiwari, S. P., 2022, Identifying the Potential Dam Sites to Avert the Risk of Catastrophic Floods in the Jhelum Basin, Kashmir, NW Himalaya, India, *RS*, 14(7), 1538.

- Rawat, A., Panigrahi, N., Yadav, B., Jadav, K., Mohanty, M. P., Khouakhi, A. and Knox, J. W., 2023, Scaling Up Indigenous Rainwater Harvesting: A Preliminary Assessment in Rajasthan, India, *Water*, 15(11), 2042.
- Raza, S. H., Shafique, M., Zia-ur-Rehman, M., Sikandar, A., Ahmad, N. and Shah, K., 2018, Site selection of water storage based on multi-criteria decision analysis, *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 3(4).
- Reddy, V. R., 2019, Watershed management in Afghanistan: Lessons from South Asia, *In Current Directions in Water Scarcity Research* (Vol. 1, pp. 55-85). Elsevier.
- Reddy, V. R., Saharawat, Y. S. and George, B., 2017, Watershed management in South Asia: A synoptic review, *Journal of hydrology*, 551, 4-13.
- Roba, N. T., Kassa, A. K., Geleta, D. Y. and Hishe, B. K., 2022, Achievements, challenges and opportunities of rainwater harvesting in the Ethiopia context: a review, *Water Supply*, 22(2), 1611-1623.
- Rodriguez, R. D. G., Pruski, F. F. and Singh, V. P., 2016, Estimated per capita water usage associated with different levels of water scarcity risk in arid and semiarid regions, *Water resources management*, 30, 1311-1324.
- Ross, C.W., L. Prihodko, J.Y. Anchang, S.S. Kumar, W. Ji, and N.P. Hanan., 2018, Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling, *ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA*.
- Roy, S., Hazra, S. and Chanda, A., 2022, Identifying rainwater harvesting structure sites using MCDM-based GIS approach: a mitigation measure for drought in sub-humid red and lateritic zones of West Bengal, India, *Arabian Journal of Geosciences*, 15(8), 784.
- Roy, S., Hazra, S., Chanda, A. and Das, S., 2020, Assessment of groundwater potential zones using multi-criteria decision-making technique: a micro-level case study from red and lateritic zone (RLZ) of West Bengal, India, *Sustainable Water Resources Management*, 6, 1-14.
- Ryan, S. and Nimick, E., 2019, Multi-criteria decision analysis and GIS, obtained <https://storymaps.arcgis.com/stories/b60b7399f6944bca86d1be6616c178cf>.
- Saaty, T. L., 2008, Decision making with the analytic hierarchy process, *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Saaty, T. L., 1980, The analytic hierarchy process mcgraw hill, New York, *Agricultural Economics Review*, 70(804), 10-21236.
- Saher, F. N., Nasly, M. A., Kadir, T. A. A., Yahaya, N. K. E. M. and Wan Ishak, W. M. F., 2015, Managing flood water of hill torrents as potential source for irrigation, *Journal of Flood Risk Management*, 8(1), 87-95.
- Samantaray, S., Ghose, D. K. and Eslamian, S., 2021, *Return Period Determination for Rainwater Harvesting System Design*, Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals, 191-205.

- Sardoii, E. R., Rostami, N., Sigaroudi, S. K. and Taheri, S., 2012, Calibration of loss estimation methods in HEC-HMS for simulation of surface runoff (Case Study: Amirkabir Dam Watershed, Iran), *Advances in Environmental Biology*, 6(1), 343-348.
- Sayadi, M. K., Heydari, M. ve Shahanaghi, K., 2009, Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers, *Applied mathematical modelling*, 33(5), 2257-2262.
- Shaban, A., Khawlie, M. and Abdallah, C., 2006, Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon, *Hydrogeology Journal*, 14, 433-443.
- Shao, Z., Jahangir, Z., Muhammad Yasir, Q. and Mahmood, S., 2020, Identification of potential sites for a multi-purpose dam using a dam suitability stream model, *Water*, 12(11), 3249.
- Sharma, B. R. and Smakhtin, V. U., 2006, Potential of water harvesting as a strategic tool for drought mitigation, *International Water Management Institute (IWMI)*.
- Shatnawi, G., 2006, Determine the best sites for water harvesting projects (Dams & Hafirs) in northeastern Badia using GIS applications. Unpublished M. Sc. Thesis, Al Al-Bayt University, Jordan.
- Shokory, J. A., Schaefli, B. and Lane, S. N., 2023, Water resources of Afghanistan and related hazards under rapid climate warming: a review, *Hydrological sciences journal*, 68(3), 507-525.
- Singh, A., Panda, S. N., Kumar, K. S. and Sharma, B. R. and Smakhtin, V. U., 2006, Potential of water harvesting as a strategic tool for drought mitigation, *International Water Management Institute (IWMI)*.
- Singh, A., Panda, S. N., Kumar, K. S. and Sharma, C. S., 2013, Artificial groundwater recharge zones mapping using remote sensing and GIS: a case study in Indian Punjab, *Environmental management*, 52, 61-71.
- Singh, J. P., Singh, D. and Litoria, P. K., 2009, Selection of suitable sites for water harvesting structures in Soankhad watershed, Punjab using remote sensing and geographical information system (RS&GIS) approach—A case study, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37, 21-35.
- Singh, L. K., Jha, M. K. and Chowdary, V. M., 2017, Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply, *Journal of cleaner production*, 142, 1436-1456.
- Stephens, T., 2010, Manual on small earth dams: a guide to siting, design and construction (No. 64, pp. vii+-114).
- Stinson, P. T., Naglak, M. C., Mandel, R. D. and Hoopes, J. W., 2016, The remote-sensing assessment of a threatened ancient water technology in Afghanistan, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10, 441-453.

- Strahler, A. N., 1952, Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Geological society of America bulletin*, 63(11), 1117-1142.
- Sugumaran, R. and Degroote, J., 2010, Spatial decision support systems: principles and practices, *Crc Press*.
- Suni, Y. P. K., Sujono, J. and Istiarto., 2023, Identifying potential sites for rainwater harvesting ponds (e mbung) in Indonesia's semi-arid region using GIS-based MCA techniques and satellite rainfall data, *Plos one*, 18(6), e0286061.
- Şen, Z., 2021, Reservoirs for water supply under climate change impact—a review, *Water Resources Management*, 35, 3827-3843.
- Taher, J. K., Nasimib, M. N., Nasimic, M. N. and Boyced, S. E., 2022, Identifying suitable sites for rainwater harvesting using GIS & Multi-Criteria Decision Making techniques in Badghis Province of Afghanistan, *Central Asian Journal Of Water Research*, 8(2): 46-69.
- Talebi, A., Mandegar, A. R., Parvizi, S., Poordara, H. and Barkhordari, J., 2023, Underground dam site selection using hydrological modelling and analytic network process, *Groundwater for Sustainable Development*, 100976.
- Tani, H. and Tayfur, G., 2021, Identification of groundwater potential zones in Kabul River Basin, Afghanistan, *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100666.
- Taraky, Y. M., 2021, *Transboundary Water Resources in the Context of Developmental Goals and Climate Change, the Case of the Kabul River Basin* (Doctoral dissertation, University of Guelph).
- Taraky, Y. M., Liu, Y., McBean, E., Daggupati, P. and Gharabaghi, B., 2021, Flood risk management with transboundary conflict and cooperation dynamics in the Kabul River Basin, *Water*, 13(11), 1513.
- Tariqul Islam, M., Mohabbat Ullah, M., Mostofa Amin, M. G. ve Hossain, S., 2017, Rainwater harvesting potential for farming system development in a hilly watershed of Bangladesh, *Applied Water Science*, 7(5), 2523-2532.
- Teleubay, Z., Yermekov, F., Tokbergenov, I., Toleubekova, Z., Assylkhanova, A., Balgabayev, N. and Kovács, Z., 2023, Identification of Potential Farm Pond Sites for Spring Surface Runoff Harvesting Using an Integrated Analytical Hierarchy Process in a GIS Environment in Northern Kazakhstan, *Water*, 15(12), 2258.
- Tewabe, D. ve Fentahun, T., 2020, Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia, *Cogent Environmental Science*, 6(1), 1778998.
- Tiwari, K., Goyal, R. ve Sarkar, A., 2018, GIS-based methodology for identification of suitable locations for rainwater harvesting structures, *Water resources management*, 32(5), 1811-1825.

- Tolossa, T. T., Abebe, F. B. and Girma, A. A., 2020, Rainwater harvesting technology practices and implication of climate change characteristics in Eastern Ethiopia, *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1724354.
- Toosi, A. S., Tousi, E. G., Ghassemi, S. A., Cheshomi, A. and Alaghmand, S., 2020, A multi-criteria decision analysis approach towards efficient rainwater harvesting, *Journal of Hydrology*, 582, 124501.
- Tumbo, S. D., Mbilinyi, B. P., Mahoo, H. F. and Mkiramwinyi, F. O., 2006, November). Determination of suitability levels for important factors for identification of potential sites for rainwater harvesting, *In Proceedings of the 7th WaterNet-WARFSA-GWP-SA Symposium*, Lilongwe, Malawi (pp. 1-3).
- Tumbo, S.D., Mbilinyi, B.P., Mahoo, H.F. and Mkilamwinyi, F.O., 2014, Identification of suitable indices for identification of potential sites for rainwater harvesting, *Tanzania Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), 35–46.
- USDA, 2009, “Hydrologic Soil Groups.” In *National Engineering Handbook: Part 630-Hydrology*, Washington D.C. USA.
- Vazquez, S. R. and Mokrova, N., 2022, AHP-TOPSIS hybrid decision support system for dam site selection, *Magazine of Civil Engineering*, 114(6), 11405.
- Vohland, K. and Barry, B., 2009, A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(3-4), 119-127.
- Voogd, H., 1983, *Multi-criteria evaluation for urban and regional planning*, London: Pion, Ltd.
- Waghaye, A. M., Singh, D. K., Sarangi, A., Sena, D. R., Sahoo, R. N. and Sarkar, S. K., 2023, Identification of suitable zones and sites for rainwater harvesting using GIS and multicriteria decision analysis, *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 279.
- Wali, E., Tasumi, M., Shinohara, Y. and Takeshita, S., 2019, Mapping crop types and the crop water requirements over small-sized irrigated fields in the Khost Province of Afghanistan, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 24(2), 9-15.
- Weerasinghe, H., Schneider, U. A. and Loew, A., 2011, Water harvest-and storage-location assessment model using GIS and remote sensing, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(2), 3353-3381.
- Wekesa, P., Muthama, J. and Mutune, J., 2023, Integration and implementation of rainwater harvesting technologies in development programs, planning and budgeting in Matungulu Sub-County, Machakos County, Kenya, *East African Journal of Science, Technology and Innovation*, 4.
- World Bank, 2010, *Scoping Strategic Options for Development of the Kabul River Basin: A Multisectoral Decision Support System Approach*; The World Bank, Sustainable Development Department, South Asia Region: Washington, DC, USA.

- Yang, Y., 2017, May, The Method and Basis of Dam Location Selection, *In 2017 2nd International Conference on Materials Science, Machinery and Energy Engineering (MSMEE 2017)* (pp. 681-684), Atlantis Press.
- Yasser, M., Jahangir, K. and Mohammad, A., 2013, Earth dam site selection using the analytic hierarchy process (AHP): a case study in the west of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 3417-3426.
- Ye, W., Ma, E., Liao, L., Liang, S., Ji, Y. and Yu, S., 2023, Applicability of photovoltaic panel rainwater harvesting system in improving water-energy-food nexus performance in semi-arid areas, *Science of The Total Environment*, 164938.
- Yeh, H. F., Lee, C. H., Hsu, K. C. and Chang, P. H., 2009, GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone, *Environmental geology*, 58, 185-195.
- Yesilnacar, E. K., 2005, The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, University of Melbourne, Department, 200.
- Yifru, B. A., Kim, M. G., Lee, J. W., Kim, I. H., Chang, S. W. and Chung, I. M., 2021, Water storage in dry riverbeds of arid and semi-arid regions: Overview, challenges, and prospects of sand dam technology, *Sustainability*, 13(11), 5905.
- Yoon, K., 1987, A reconciliation among discrete compromise solutions, *Journal of the Operational Research Society*, 38(3), 277-286.
- Zada, N., Javed, M. A., Ahmad, S. R. and Waleed, M., 2023, Dam site selection using RS techniques and geographical information system (GIS): A case study of Kurram Tangi North Waziristan, *Research Square*.
- Zewdie, M. M. and Tesfa, C., 2023, GIS-based MCDM modeling for suitable dam site identification at Yeda watershed, Ethiopia, *Arabian Journal of Geosciences*, 16(6), 369.
- Ziadat, F., Bruggeman, A., Oweis, T., Haddad, N., Mazahreh, S., Sartawi, W. ve Syuof, M., 2012, A participatory GIS approach for assessing land suitability for rainwater harvesting in an arid rangeland environment, *Arid land research and management*, 26(4), 297-311.

EKLER

EK-1: Su hasadı için uygun alanlarının seçilmesi için kullanılan kriterlerin özet tablosu

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Litoloji (Li)	Kumtaşı ve silttaşı / bazaltik andezit ve bazalt / granodiyorit	1	Çok Düşük	4070515	3663,46	36,79
	Konglomera ve kumtaşı / bölünmemiş metamorfik kayalar /ultramafik kayalar	2	Düşük	3420782	3078,70	30,92
	Kireçtaşı ve dolomit/Traverten	3	Orta	2200387	1980,35	19,89
	Fan alüvyonu ve kolüvyum	4	Yüksek	720309	648,28	6,51
	Lös	5	Çok yüksek	652594	587,33	5,90
Eğim (derece) (S)	0 - 5	5	Çok yüksek	3292103	2962,9	29,81
	5 - 15	4	Yüksek	3603140	3242,8	32,63
	15 - 20	3	Orta	1340008	1206,0	12,13
	20 - 30	2	Düşük	1971625	1774,5	17,85
	30 - 76,65	1	Çok düşük	835772	752,2	7,57
Topoğrafik Islaklık İndeksi (TWI)	1,98 - 5	1	Çok düşük	1956102	1760,5	17,71
	5 - 8	2	Düşük	7081823	6373,6	64,13
	8 - 10	3	Orta	1099872	989,9	9,96
	10 - 15	4	Yüksek	790206	711,2	7,16
	15 - 26,50	5	Çok yüksek	114645	103,2	1,04
Topoğrafik Eğrilik (Cu)	Dışbükey (pozitif) 0,99 - 34	3	Orta	1236470	1112,8	11,18
	İçbükey (negatif) -36,44 - -1	4	Yüksek	1213412	1092,1	10,97
	Düz (sıfıra yakın) -1 - 0,99	5	Çok yüksek	8614405	7753,0	77,86
Drenaj yoğunluğu (km/km²) (DD)	0,029 - 0,50	1	Çok düşük	1680906	1512,8	15,21
	0,5 - 0,80	2	Düşük	4277595	3849,8	38,70
	0,8 - 1,00	3	Orta	2323177	2090,9	21,02
	1,0 - 1,50	4	Yüksek	2564374	2307,9	23,20
	1,5 - 1,90	5	Çok yüksek	206597	185,9	1,87
Arazi kullanımı / Arazi örtüsü (LULC)	Su/Yerleşim alanı	1	Çok düşük	309322	278,4	2,80
	Ağaçlar/Mahsuller	2	Düşük	462229	416,0	4,18
	Su basmış bitki örtüsü	3	Orta	1532	1,4	0,01
	Çıplak zemin	4	Yüksek	641600	577,4	5,80
	Mera	5	Çok yüksek	9649819	8684,8	87,21
Yağış (mm) (P)	311 - 338	3	Orta	4771140	4294,03	43,52
	338 - 352	4	Yüksek	3830971	3447,87	34,94
	352 - 377	5	Çok yüksek	2360994	2124,90	21,54
Jeomorfoloji (Gm)	Üst bölüm	2	Düşük	1119347	1007,4	10,12
	Parçalanmamış birikintiler	5	Çok Yüksek	2941379	2647,2	26,58
	Orta bölüm	4	Yüksek	5701845	5131,7	51,53
	Alt bölüm	3	Orta	1302016	1171,8	11,77
Zemin Yapısı (SS)	Litik Haplokrimidlere sahip kayalık arazi/Litik Haplokambidlere sahip kayalık arazi/Litik Kriorthentlere sahip kayalık arazi	1	Çok düşük	4963782	4467,4	44,86
	Torriorthentli Haplocambidler/Torripsamm entli Torrifluventler Xerochrepts ile Xerorthentler/Torriorthentler ile Torrifluventler	3	Orta	3378647	3040,8	30,53
		4	Yüksek	2722420	2450,2	24,60
Toprak Dokusu (ST)	Kumlu Killi Tın	2	Düşük	4361470	3925,3	39,42
	Tınlı toprak	4	Yüksek	5026792	4524,1	45,43
	Killi Tın	5	Çok yüksek	1676326	1508,7	15,15
Jeolojik fay hatlarına yakınlık (km) (PGf)	0 - 1	1	Çok düşük	3591349	3232,21	32,46
	1 - 5	2	Düşük	4199324	3779,39	37,95
	5 - 10	3	Orta	1576833	1419,15	14,25
	10 - 15	4	Yüksek	1006392	905,75	9,10
	15 - 25	5	Çok yüksek	690702	621,63	6,24

Kriter	Sınıf	Derecelendirme	Uygunluk	Sınıf Pikselleri	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Karez sistemine yakınlık (km) (PK)	0 - 1	1	Çok düşük	357832	322,05	3,23
	1 - 5	5	Çok yüksek	2377280	2139,55	21,49
	5 - 15	4	Yüksek	3435438	3091,89	31,05
	15 - 30	3	Orta	1553454	1398,11	14,04
	30 - 76	2	Düşük	3340596	3006,54	30,19
Tarım alanlarına yakınlık (km) (PA)	0 - 1	1	Çok düşük	4376878	3939,19	39,56
	1 - 4	5	Çok yüksek	5307066	4776,36	47,96
	4 - 8	4	Yüksek	1205359	1084,82	10,89
	8 - 12	3	Orta	138369	124,53	1,25
	12- 17	2	Düşük	36928	33,24	0,33
Yerleşimlere yakınlık (km) (PS)	0 - 1	1	Çok düşük	2746880	2472,19	24,83
	1 - 4	5	Çok yüksek	6796442	6116,80	61,43
	4 - 8	4	Yüksek	1341226	1207,10	12,12
	8 - 12	3	Orta	168012	151,21	1,52
	12- 16	2	Düşük	12040	10,84	0,11
Yollara yakınlık (km) (PR)	0 - 1	1	Çok düşük	1302170	1171,95	11,77
	1 - 5	5	Çok yüksek	4142949	3728,65	37,44
	5 - 10	4	Yüksek	3155500	2839,95	28,52
	10 - 15	3	Orta	1506642	1355,98	13,62
	15 - 28	2	Düşük	957339	861,61	8,65
Çeşmelere yakınlık (km) (PSP)	0 - 1	1	Çok düşük	170125	153,11	1,54
	1 - 5	5	Çok yüksek	2188623	1969,76	19,78
	5 - 15	4	Yüksek	2840778	2556,70	25,67
	15 - 30	3	Orta	2669209	2402,29	24,12
	30 - 63	2	Düşük	3195865	2876,28	28,88

Li: Litoloji, S: Eğim, TWI: Topoğrafik Islaklık İndeksi, Topoğrafik Eğrilik: Cu, Drenaj yoğunluğu: DD, Arazi kullanımı/örtüsü: LULC, Çizgisellik yoğunluğu: LD, Yağış: R, Jeomorfoloji: GM, Zemin Yapısı: SS, Toprak Dokusu: ST, Jeolojik fay hatlarına yakınlık: PGF, Karez sistemine yakınlık: PK, Tarım alanlarına yakınlık: PA, Yerleşimlere yakınlık: PS, Yollara yakınlık: PR, Çeşmelere yakınlık: PSP.

EK-2: 2023 ve 2024 yıllarına ait Kabil Akarsu Havzasının ve Chak-Logar akarsu alt havzasının kontrol barajlarının maliyeti

İl	No.	Maliyet (AFN)	Maliyet (USD)	Ort. Maliyet (USD/Adet)	Min.Maliyet (USD/Adet)	Maks.Maliyet (USD/Adet)
Paktika	1	3955724	56510	45219	16221	176548
	2	2819418	40277			
	3	2221228	31732			
	4	1873661	26767			
	5	2325672	33224			
	6	1141264	16304			
	7	1928974	27557			
	8	3060416	43720			
	9	5235433	74792			
	10	4596297	65661			
	11	2253069	32187			
	12	2739607	39137			
	13	3720907	53156			
	14	2983120	42616			
	15	2297464	32821			
	16	12358340	176548			
	17	2298918	32842			
	18	4402539	62893			
	19	1135470	16221			
	20	3290169	47002			
	21	3672761	52468			
	22	2431845	34741			
	23	1935260	27647			
	24	1290661	18438			
Panjshir	25	6588855	94127	66573	40747	94127
	26	5631558	80451			
	27	3600216	51432			
	28	4627724	66110			
	29	2852305	40747			
Khost	30	2170000	31000	43606	12460	134408
	31	1981396	28306			
	32	4933426	70478			
	33	872212	12460			
	34	1999998	28571			
	35	2494080	35630			
	36	2143077	30615			
	37	1523161	21759			
	38	9408528	134408			
	39	2133820	30483			
	40	3916826	55955			

İl	No.	Maliyet (AFN)	Maliyet (USD)	Ort. Maliyet (USD/Adet)	Min.Maliyet (USD/Adet)	Maks.Maliyet (USD/Adet)
Ghazni	41	2347868	33541			
	42	2048148	29259			
	43	2524905	36070			
	44	5459616	77995			
	45	1773404	25334			
	46	1832452	26178			
	47	1897164	27102			
	48	825000	11786	37500	11786	93118
	49	2336329	33376			
	50	6518288	93118			
	51	2277915	32542			
	52	2457446	35106			
	53	3671699	52453			
	54	1803100	25759			
	55	1601398	22877			
Kabul	56	2142128	30602			
	57	1068715	15267			
	58	2930503	41864			
	59	2006591	28666			
	60	5705675	81510			
	61	4278283	61118			
	62	3094848	44212	39154	8889	81510
	63	1785425	25506			
	64	3007114	42959			
	65	622215	8889			
	66	2319515	33136			
	67	3295728	47082			
	68	2153460	30764			
	69	3960922	56585			
Kunar	70	2753518	39336			
	71	2129280	30418			
	72	1362906	19470			
	73	2105630	30080			
	74	2753905	39341			
	75	980206	14003	30753	11865	76436
	76	2381351	34019			
	77	830552	11865			
	78	5350552	76436			
	79	1828233	26118			
	80	1057208	15103			
	81	2299257	32847			

İl	No.	Maliyet (AFN)	Maliyet (USD)	Ort. Maliyet (USD/Adet)	Min.Maliyet (USD/Adet)	Maks.Maliyet (USD/Adet)
Logar	82	1312992	18757	45287	12809	79896
	83	2419409	34563			
	84	3943152	56331			
	85	5592708	79896			
	86	3606564	51522			
	87	896623	12809			
	88	4419032	63129			
Wardak	89	935582	13365	57622	13365	130079
	90	9105532	130079			
	91	2724159	38917			
	92	2805658	40081			
	93	1577825	22540			
	94	7286775	104097			
	95	3303352	47191			
	96	4529415	64706			
Kabul Akarsu Havzasının Kontrol Barajının Maliyeti/Adet				45714	8889	176548
Chak-Logar Akarsu Havzası'nın Kontrol Barajının Maliyeti/Adet				51454	12809	130079

EK-3: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda mevcut olan su hasadı yapıları

Çizelge a: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda mevcut olan kontrol barajları

Sayı	Kontrol Barajları	İl	İlçe	Maliyet (AFN)	Maliyet (USD)	Boylam	Enlem
1	Noor Mohammad	Logar	Markaz	5592708	79896	69,16	34,07
2	Shir Agha Shindar	Logar	Khoshi	3943152	56331	69,32	34,04
3	Dahmi	Logar	Charkh	1312992	18757	68,84	33,79
4	Nazar Mohammad	Logar	Kharwar	2419409	34563	68,86	33,66
5	Chalozai	Logar	Barake Barak	3606564	51522	68,81	33,88
6	Sarkhab	Logar	Sarkhab	-	-	69,22	34,14
7	Kharwar	Logar	Kharwar	-	-	68,87	33,73
8	Sijawand	Logar	Barake Barak	-	-	68,80	33,89
9	Qara Qul	Wardak	Markez-i- Behsood	7286775	104097	68,70	34,12
10	Durani	Wardak	Day Mirdad	4529415	64706	68,21	34,40
11	Timur Khil	Wardak	Sayd Abad	1577825	22540	68,48	34,16
12	Diwalan	Wardak	Jalriz	935582	13365	68,35	34,29

Çizelge b: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı tarafından planlanan barajları

Sayı	Barajlar	İl	İlçe	Potansiyel Sulama Alanı (ha)	Yükseklik (m)	Depolama Kapasitesi (MCM)	Boylam	Enlem
1	Gurbat Baghak	Wardak	Said Abad	2051	60	7,18	68,58	33,93
2	Aqchi	Wardak	Nerkh	52	15	0,18	68,44	34,18
3	Chobdara	Wardak	Chak	390	40	1,37	68,40	34,14
4	Haidarkhil	Wardak	Chak	143	15	0,50	68,26	34,02
5	Sang Baba	Wardak	Chak	374	35	1,30	68,23	34,10
6	Konj Jaghato	Wardak	Chak	1973	20	6,90	68,40	34,02
7	Gardan Masjed	Wardak	Chak	720	30	2,50	68,45	33,94
8	Olya Tak	Wardak	Daimirdad	25	15	0,10	68,31	34,37

EK-4: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda bu çalışma sonucunda önerilen su hasadı yapılarının özet tablosu

Sayı	Alt Havza numarası	İl	İlçe	Toplama alanı (km ²)	Türü	Su hasadı potansiyeli (Mm ³)	Boylam	Enlem
1	2	Wardak	Hisa-I- Awali Bihsud	10,56	Mikro	2,87	68,23	34,30
2	2	Wardak	Hisa-I- Awali Bihsud	12,11	Mikro	3,29	68,13	34,33
3	4	Wardak	Markazi Bihsud	54,40	Mezo	12,82	68,02	34,14
4	4	Wardak	Markazi Bihsud	46,44	Mikro	10,95	68,05	34,10
5	5	Gazni	Nawur	356,74	Mezo	86,46	67,99	34,07
6	7	Wardak	Chaki Wardak	61,14	Mezo	16,15	68,29	33,99
7	8	Wardak	Day Mirdad	8,34	Mikro	2,04	68,15	34,07
8	10	Gazni	Nawur	7,01	Mikro	1,70	67,85	33,90
9	11	Wardak	Jalrez	167,70	Mezo	45,95	68,29	34,31
10	12	Wardak	Day Mirdad	64,01	Mezo	17,08	68,37	34,24
11	13	Wardak	Day Mirdad	81,11	Mezo	21,03	68,27	34,23
12	14	Wardak	Chaki Wardak	350,96	Mezo	92,60	68,51	34,13
13	15	Wardak	Chaki Wardak	111,46	Mezo	29,63	68,63	34,16
14	16	Wardak	Saydabad	266,19	Mezo	70,00	68,77	34,04
15	17	Logar	Puli Alam	121,85	Mezo	32,84	68,91	34,11
16	18	Wardak	Chaki Wardak	92,88	Mezo	24,76	68,63	34,13
17	19	Wardak	Chaki Wardak	121,29	Mezo	32,33	68,52	34,07
18	20	Logar	Baraki Barak	26,35	Mikro	6,18	68,90	33,94
19	21	Wardak	Chaki Wardak	118,64	Mezo	31,24	68,40	34,04
20	21	Wardak	Chaki Wardak	68,00	Mezo	17,90	68,49	34,07
21	22	Wardak	Saydabad	145,65	Mezo	36,47	68,73	34,03
22	23	Wardak	Saydabad	289,10	Mezo	72,19	68,62	33,87
23	23	Wardak	Saydabad	297,47	Mezo	74,28	68,70	33,99
24	26	Logar	Mohammad Agha	85,21	Mezo	23,62	69,05	34,27
25	27	Logar	Mohammad Agha	102,90	Mezo	28,02	69,21	34,24
26	28	Logar	Mohammad Agha	53,10	Mezo	14,50	69,13	34,24
27	29	Logar	Mohammad Agha	48,68	Mikro	13,23	69,05	34,17
28	29	Logar	Mohammad Agha	26,01	Mikro	7,07	69,06	34,18
29	30	Logar	Mohammad Agha	85,96	Mezo	24,98	69,12	34,14
30	31	Logar	Mohammad Agha	171,82	Mezo	49,36	69,17	34,17
31	32	Logar	Khoshi	46,19	Mikro	13,22	69,26	34,06
32	32	Logar	Khoshi	123,28	Mezo	35,30	69,08	34,10
33	32	Logar	Khoshi	44,22	Mikro	12,66	69,07	34,07
34	33	Logar	Puli Alam	82,15	Mezo	22,24	69,03	34,07
35	34	Logar	Puli Alam	35,12	Mikro	8,42	69,04	34,00
36	35	Logar	Puli Alam	110,35	Mezo	26,99	69,03	33,95
37	36	Logar	Puli Alam	57,78	Mezo	13,99	69,11	33,97
38	36	Logar	Puli Alam	36,54	Mikro	8,85	69,08	33,95
39	37	Logar	Khoshi	183,92	Mezo	52,90	69,15	34,01
40	39	Logar	Baraki Barak	277,66	Mezo	62,22	68,96	33,89
41	40	Logar	Kharwar	173,87	Mezo	39,05	68,79	33,70
42	41	Logar	Kharwar	84,21	Mezo	18,95	68,96	33,67
43	41	Logar	Kharwar	76,88	Mezo	17,30	68,88	33,70
44	42	Logar	Puli Alam	176,53	Mezo	42,91	69,02	33,92
45	43	Logar	Puli Alam	127,10	Mezo	31,20	69,07	33,82

EK-5: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının su hasadı potansiyeli ve maliyeti

Yapı No.	Havza türü	Su hasadı potansiyeli (milyon m ³)	Maliyet (Milyon USD)	Boylam	Enlem
1	Mikro	3	2.30	68.23	34.30
2	Mikro	3	2.63	68.13	34.33
3	Mezo	13	10.26	68.02	34.14
4	Mikro	11	8.76	68.05	34.10
5	Mezo	86	69.17	67.99	34.07
6	Mezo	16	12.92	68.29	33.99
7	Mikro	2	1.63	68.15	34.07
8	Mikro	2	1.36	67.85	33.90
9	Mezo	46	36.76	68.29	34.31
10	Mezo	17	13.66	68.37	34.24
11	Mezo	21	16.82	68.27	34.23
12	Mezo	93	74.08	68.51	34.13
13	Mezo	30	23.70	68.63	34.16
14	Mezo	70	56.00	68.77	34.04
15	Mezo	33	26.27	68.91	34.11
16	Mezo	25	19.81	68.63	34.13
17	Mezo	32	25.86	68.52	34.07
18	Mikro	6	4.94	68.90	33.94
19	Mezo	31	24.99	68.40	34.04
20	Mezo	18	14.32	68.49	34.07
21	Mezo	36	29.18	68.73	34.03
22	Mezo	72	57.75	68.62	33.87
23	Mezo	74	59.42	68.70	33.99
24	Mezo	24	18.90	69.05	34.27
25	Mezo	28	22.42	69.21	34.24
26	Mezo	15	11.60	69.13	34.24
27	Mikro	13	10.58	69.05	34.17
28	Mikro	7	5.66	69.06	34.18
29	Mezo	25	19.98	69.12	34.14
30	Mezo	49	39.49	69.17	34.17
31	Mikro	13	10.58	69.26	34.06
32	Mezo	35	28.24	69.08	34.10
33	Mikro	13	10.13	69.07	34.07
34	Mezo	22	17.79	69.03	34.07
35	Mikro	8	6.74	69.04	34.00
36	Mezo	27	21.59	69.03	33.95
37	Mezo	14	11.19	69.11	33.97
38	Mikro	9	7.08	69.08	33.95
39	Mezo	53	42.32	69.15	34.01
40	Mezo	62	49.78	68.96	33.89
41	Mezo	39	31.24	68.79	33.70
42	Mezo	19	15.16	68.96	33.67
43	Mezo	17	13.84	68.88	33.70
44	Mezo	43	34.33	69.02	33.92
45	Mezo	31	24.96	69.07	33.82

EK-6: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile sıralanması için kullanılan faktörlerin özet tablosu

Yapı No.	Toplama alanı (km ²)	Havza Türü	Su hasadı potansiyeli (Mm ³)	X	Y	Uygunluk	Eğim (derece)	Toprak Dokusu	Akış Sırası	Yerleşime yakınlık (km)	Tarıma yakınlık (km)
1	10,56	Mikro	2,87	68,23	34,30	2	0-5	1	2	1	1
2	12,11	Mikro	3,29	68,13	34,33	1	0-5	1	2	1	1
3	54,40	Mezo	12,82	68,02	34,14	2	0-5	1	3	4-8	1-4
4	46,44	Mikro	10,95	68,05	34,10	2	0-5	1	3	1-4	1-4
5	356,74	Mezo	86,46	67,99	34,07	2	0-5	1	4	1	1
6	61,14	Mezo	16,15	68,29	33,99	2	0-5	2	3	1-4	1-4
7	8,34	Mikro	2,04	68,15	34,07	1	15-20	1	3	1-4	1-4
8	7,01	Mikro	1,70	67,85	33,90	2	0-5	1	2	1-4	1-4
9	167,70	Mezo	45,95	68,29	34,31	1	0-5	1	4	1	1
10	64,01	Mezo	17,08	68,37	34,24	1	0-5	2	5	1	1
11	81,11	Mezo	21,03	68,27	34,23	1	5-15	1	3	1-4	1-4
12	350,96	Mezo	92,60	68,51	34,13	2	0-5	2	3	1	1
13	111,46	Mezo	29,63	68,63	34,16	1	5-15	2	3	1	1
14	266,19	Mezo	70,00	68,77	34,04	2	0-5	2	5	1	1
15	121,85	Mezo	32,84	68,91	34,11	3	0-5	2	3	1-4	1
16	92,88	Mezo	24,76	68,63	34,13	3	0-5	2	4	1-4	1
17	121,29	Mezo	32,33	68,52	34,07	3	0-5	2	4	1	1
18	26,35	Mikro	6,18	68,90	33,94	1	0-5	3	3	1	1
19	118,64	Mezo	31,24	68,40	34,04	2	5-15	2	4	1-4	1
20	68,00	Mezo	17,90	68,49	34,07	1	5-15	2	4	1	1
21	145,65	Mezo	36,47	68,73	34,03	2	0-5	2	5	1	1
22	289,10	Mezo	72,19	68,62	33,87	2	0-5	2	4	1	1
23	297,47	Mezo	74,28	68,70	33,99	1	5-15	2	5	1	1
24	85,21	Mezo	23,62	69,05	34,27	1	5-15	2	3	1	1
25	102,90	Mezo	28,02	69,21	34,24	3	5-15	3	4	1	1
26	53,10	Mezo	14,50	69,13	34,24	3	0-5	3	3	1	1
27	48,68	Mikro	13,23	69,05	34,17	3	0-5	2	3	1	1
28	26,01	Mikro	7,07	69,06	34,18	3	0-5	2	3	1-4	1
29	85,96	Mezo	24,98	69,12	34,14	2	0-5	3	3	1-4	1
30	171,82	Mezo	49,36	69,17	34,17	3	0-5	3	4	1-4	1
31	46,19	Mikro	13,22	69,26	34,06	3	0-5	2	3	1-4	1-4
32	123,28	Mezo	35,30	69,08	34,10	2	0-5	3	4	1-4	1
33	44,22	Mikro	12,66	69,07	34,07	3	0-5	3	3	1-4	1
34	82,15	Mezo	22,24	69,03	34,07	2	0-5	3	4	1	1
35	35,12	Mikro	8,42	69,04	34,00	3	0-5	3	2	1	1
36	110,35	Mezo	26,99	69,03	33,95	2	0-5	3	4	1-4	1
37	57,78	Mezo	13,99	69,11	33,97	2	0-5	3	3	1-4	1-4
38	36,54	Mikro	8,85	69,08	33,95	3	0-5	3	3	1-4	1-4
39	183,92	Mezo	52,90	69,15	34,01	3	0-5	3	4	1-4	1
40	277,66	Mezo	62,22	68,96	33,89	2	0-5	3	5	1	1
41	173,87	Mezo	39,05	68,79	33,70	3	0-5	2	5	1-4	1-4
42	84,21	Mezo	18,95	68,96	33,67	1	0-5	2	3	1-4	1
43	76,88	Mezo	17,30	68,88	33,70	1	0-5	2	4	1	1
44	176,53	Mezo	42,91	69,02	33,92	3	0-5	3	5	1-4	1
45	127,10	Mezo	31,20	69,07	33,82	2	0-5	2	4	1-4	1

Toprak dokusu: Kumlu killi tın=1; Tınlı toprak=2; Killi tın=3; **Uygunluk:** Ortalama=1; Yüksek=2; Çok Yüksek=3

EK-7: Chak-Logar Akarsu Havzası'nda önerilen su hasadı yapılarının TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile sıralanmasının özet tablosu

Yapı No.	TOPSIS skoru	TOPSIS sıra	VIKOR_Q	VIKOR sıra	Yapı No.
12	0.880	1	0.009	1	12
5	0.826	2	0.018	2	40
22	0.770	3	0.052	3	14
14	0.750	4	0.054	4	22
40	0.703	5	0.078	5	39
23	0.697	6	0.127	6	30
39	0.628	7	0.182	7	44
30	0.595	8	0.185	8	5
44	0.550	9	0.306	9	41
9	0.517	10	0.350	10	32
41	0.511	11	0.355	11	17
21	0.478	12	0.362	12	21
32	0.470	13	0.370	13	15
17	0.465	14	0.386	14	25
15	0.463	15	0.387	15	23
45	0.434	16	0.439	16	36
36	0.417	17	0.442	17	45
16	0.412	18	0.449	18	16
29	0.401	19	0.476	19	29
25	0.395	20	0.476	20	19
34	0.393	21	0.484	21	34
26	0.375	22	0.502	22	9
19	0.370	23	0.515	23	26
33	0.361	24	0.546	24	33
27	0.359	25	0.562	25	13
35	0.352	26	0.579	26	27
31	0.349	27	0.593	27	35
13	0.348	28	0.621	28	38
38	0.345	29	0.623	29	31
42	0.343	30	0.629	30	37
43	0.343	31	0.630	31	24
37	0.343	32	0.647	32	10
10	0.341	33	0.653	33	43
6	0.339	34	0.656	34	42
28	0.334	35	0.656	35	6
18	0.311	36	0.681	36	28
4	0.309	37	0.682	37	20
3	0.306	38	0.740	38	18
24	0.303	39	0.751	39	11
1	0.294	40	0.763	40	4
2	0.283	41	0.766	41	3
8	0.281	42	0.822	42	1
20	0.268	43	0.879	43	8
11	0.260	44	0.884	44	2
7	0.092	45	0.997	45	7

EK-8: Chak-Logar Akarsu Havzası'nın il ve ilçe bazında kapladığı alan

İl	İlçe	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Ghazni	Nawur	1762.824	17.58701
Logar	Puli Alam	1135.245	11.32590
Wardak	Chaki Wardak	1078.895	10.76371
Wardak	Saydabad	1067.517	10.65021
Logar	Mohammad Agha	1023.001	10.20608
Wardak	Day Mirdad	928.411	9.26239
Wardak	Markazi Bihsud	608.103	6.06680
Logar	Kharwar	448.346	4.47298
Logar	Khoshi	439.906	4.38877
Wardak	Hisa-I- Awali Bihsud	308.019	3.07299
Logar	Charkh	284.740	2.84074
Logar	Baraki Barak	277.726	2.77077
Ghazni	Zana Khan	152.091	1.51735
Kabul	Bagrami	130.225	1.29920
Kabul	Musayi	105.888	1.05640
Kabul	Chahar Asyab	98.249	0.98019
Kabul	Khaki Jabbar	60.396	0.60254
Wardak	Jaghathu	44.289	0.44186
Wardak	Nirakh	25.175	0.25116
Kabul	Kabul	24.848	0.24790
Paktya	Ahmad Abad	9.267	0.09245
Paktya	Zurmat	5.505	0.05492
Ghazni	Dih Yak	1.792	0.01787
Paktya	Gardiz	1.291	0.01288
Logar	Azra	0.932	0.00930
Paktya	Ali Khail (Jaji)	0.363	0.00362
Ghazni	Rashidan	0.336	0.00336
Wardak	Jalrez	0.063	0.00063
Ghazni	Khwaja Umari	0.003	0.00003
Toplam	29 İlçe	10023	100