

## Denizli Serinhisar ilçesi havzasında yağmur suyu hasadına uygun bölgelerin belirlenmesi

### Determination of suitable sites for rainwater harvesting in Denizli Serinhisar district watershed

Onur Mehmethan ÖZBEN<sup>1\*</sup>, Mahmud GÜNGÖR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye  
mehmethanozben@gmail.com, mgungor@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.03.2023  
Kabul Tarihi/Accepted: 10.10.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 14.09.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.85616  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Bu makalede Serinhisar havzasının yağmur suyu hasadına uygun bölgeleri, yağmur suyu hasadına etki eden havza karakteristiklerinin kriter olarak kabul edilmesi ve bu kriterlerin ağırlıklandırılması ile tespit edilmiştir. Bu amaçla Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ile entegre Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulaması yapılmıştır. Öncelikle CBS ortamında havza modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinden eğim ve drenaj yoğunluğu kriterleri elde edilmiştir. Kriterlerden bir diğeri olan arazi kullanım verisi, CBS ortamında toprak sınıfı verisi ile birleştirilerek Eğri Numarası (CN) verisi elde edilmiştir. Bu CN verisi ve havza yağış verileri kullanılarak Toprak Koruma Servisi – Eğri Numarası (SCS-CN) Yöntemi ile akış verileri ve buna bağlı olarak son kriter olan akış potansiyeli elde edilmiştir. Yeniden sınıflandırma yapılarak AHY adımlarında birbirilerine göre önem katsayısı verilen ve ağırlıklandırılan kriterler, ağırlıklarına göre tek bir haritada birleştirilmiş ve uygunluk haritası olarak sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Serinhisar Havzası, Yağmur Suyu Hasadı, CBS, AHY, SCS-CN

#### Abstract

In this article, the suitable sites for rainwater harvesting of the Serinhisar watershed were determined by accepting the watershed characteristics affecting the rainwater harvesting as criteria and weighting these criteria. For this purpose, a Geographical Information System (GIS) application integrated with the Analytical Hierarchy Process (AHP), which is one of the Multi-Criteria Decision Making methods, was implemented. Firstly, the watershed model was created in the GIS environment and the slope and drainage density criteria were obtained from this model. One of the criteria, the land use data, was combined with the soil class data in the GIS environment to obtain the Curve Number (CN) data. By using this CN data and watershed precipitation data, runoff data and accordingly the last criterion, the runoff potential, were obtained with the Soil Conservation Service – Curve Number (SCS-CN) Method. The criteria, which were given importance and weighted according to each other in the AHP steps by reclassification, were combined in a single map according to their weights and presented as a suitability map.

**Keywords:** Serinhisar Watershed, Rainwater Harvesting, CBS, AHP, SCS-CN

## 1 Giriş

Bütün canlılar için vazgeçilmez bir kaynak olan su, yaşamsal önem taşıyan bir değerdir [1]. Bir ulusun sosyoekonomik ilerlemesinin yanı sıra gıda güvenliği, endüstriyel kalkınma ve sürdürülebilir ekosistem hizmetleri açısından su, insan ihtiyaçları için önemli bir rol oynamaktadır[2]. Günümüzde, artan kentleşme, hızlanan sanayileşme ve su kaynaklarının aşırı kullanımı nedeniyle güvenli suyun mevcudiyeti azalmaktadır [3]. Dünya genelinde artan su eksikliği ve yeraltı sularının yanlış kullanımı sorunlarına ilişkin mevcut olgulara bakıldığında, dünya nüfusunun %67'sinin su kıtlığından sert bir şekilde etkilendiği birçok bilim insanı tarafından kabul edilen bir gerçektir [2]. Birleşmiş Milletler Çevre Programı'na göre, 2050 yılına kadar iki milyardan fazla insan aşırı su stresi altında yaşayacak ve bu da dünya çapında birçok ülkenin kalkınmasını sınırlayacaktır [4]. Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerin çoğu, yüksek kuraklık riski taşımakta ve mevsimsel kuraklık sonucu düşük ve düzensiz yağışlarla karakterize edilen su kıtlığı olan ülkeler arasında yer almaktadır. Kişi başına düşen su miktarı dikkate alındığında, Türkiye yıllık yaklaşık 1340 m<sup>3</sup> su miktarı ile su kıtlığı çeken bir ülke olarak kabul edilmektedir. Yapılan projeksiyonlara göre 2030 yılında 100 milyon nüfus ile birlikte

kişi başına düşen yıllık su miktarının 1120 m<sup>3</sup>'e düşeceği, kısa bir süre sonrasında ise 1000 m<sup>3</sup> ve altına düşerek Türkiye'nin su fakiri bir ülke olacağı belirtilmektedir [5]. Tüm bu gelişmelerden dolayı dünya ve Türkiye için iyi bir su yönetimiyle birlikte alternatif su kaynaklarının belirlenmesi hayati önem taşımaktadır.

Sürdürülebilir bir gelecek için, su kaynaklarını yönetmek ve su kaynaklarıyla ilgili devamlı olarak yeni ve etkili stratejiler geliştirmek oldukça önemlidir. Bu sebeple günümüzde ilave alternatif kaynak arayışlarına devam edilmekle birlikte, bu alternatif su kaynakları ile ilgili yeni teknolojik uygulamaların kullanımı giderek artmaktadır. Bu alanda yağmur suyu hasadının önemli bir yeri vardır [6]. Yalnızca %30'u yeraltı sularına katıldığı öngörülen yağmur sularının geri kalanının da kullanılmaması, ayrıca suyun canlılar açısından hayati önem taşıdığı da göz önüne alınırsa, yağmur sularının hasadının önemi, son zamanlarda yapılan çalışmalarla çok daha iyi anlaşılmaktadır [7]. Gelişmekte olan birçok ülkede olduğu gibi, Türkiye'de de her yıl kullanılan su miktarının %73'ü tarım sektöründe gerçekleşmektedir [1]. Sulama suyu ihtiyacının olabildiğince Yağmur Suyu Hasadı (YSH) ile karşılanması, içme suyunun sulamada kullanılması zorunluluğunu önemli ölçüde azaltacaktır [8]. YSH, mevcut su tedarik sisteminin talebi

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

karşılmak için yetersiz olduğu alanlarda yüzey ve yeraltı kit su kaynaklarını tamamlamanın umut verici yollarından biridir [9].

YSH, özellikle su kaynaklarının bulunmadığı bölgelerde, kurak dönemlerde kullanılmak üzere fazla suyu toplamak ve geçici olarak depolamak için yapılan her türlü eylem olarak tanımlanabilir [10]. YSH sonucunda toplanan yağmur suyu, yeraltı sularının geri beslenmesinde, tarımsal sulamada, hayvancılıkta, evsel kullanımda, içme suyu ve peyzaj sulamasında kullanılmaktadır [5]. YSH için, yaygın olarak; çiftlik havuzları, sızdırma havuzları, sarnıçlar, su tankları, kontrol barajları ve teraslar gibi yapılar kullanılmaktadır. YSH yapıları sadece yağmur suyunu toplamakla kalmaz, aynı zamanda aşağı havzalardaki taşkınları azaltır, toprak nemini iyileştirir ve toprak erozyonuna engel olur [2],[10],[11]. YSH sistemleri ekosistem performansını iyileştirme potansiyeline sahiptir ve bu da geçim kaynaklarının, insan refahının ve ekonomik büyümenin iyileşmesine yol açar [12]. Su kıtlığı yaşanan ülkelerde, yağışları ve kullanılmayan yüzey akışını durdurarak depolamak için YSH yapılarının inşası şeklindeki havza yönetimi uygulamaları yaygın hale gelmiştir [2]. Özellikle kaliteli su kaynağı sıkıntısının sıklıkla yaşanabildiği şehirleşmiş bölgelerde bu uygulamalar maliyet ve bakım açısından sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca, YSH yeterli yağış alan bölgelerde su yönetimi için en basit uygulanabilen yaklaşımlardan biri olmaktadır [13]. YSH sistemlerinin projelendirilmesindeki ilk ve en önemli adım, YSH için uygun sahaların ve teknolojilerin belirlenmesidir [14].

Günümüzde, gelişen bilişim teknolojileriyle birlikte su yönetimi ve benzeri alanlarda bu teknolojiler yaygın olarak kullanılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) bu alanda öncü teknoloji olarak havza çalışmalarını bilgisayar ortamında yapabilmeyi mümkün kılar. Oldukça hassas ve güncel uydu verileri ile bütün modellemeleri basit bir şekilde yapabilen bu teknolojiler birçok yöntem ile entegre edilebilmektedir. CBS teknikleri, yağmur suyu hasadı için uygun bir yer belirlemeye büyük katkı sağlar [6]. YSH sistemi için saha uygunluğunu ve prosedürlerini değerlendirme amacıyla sayısız uygulama geliştirilmiştir. Son yıllarda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) stratejisi ile entegre CBS, uygun yer seçimi için birden fazla kriteri birleştirmeye yardımcı olması yönüyle yer seçimi çalışmalarında yaygınlık kazanmıştır [15]. ÇKKV-CBS uygulaması, farklı alanlara sahip bölgelerde oldukça esnekler. Bu uygulamada kriterler kolayca değiştirilebilir veya güncellenebilir. Özellikle veri açısından fakir bölgelerde YSH için uygun yerleri tahmin etmekte etkili bir araçtır [16]. ÇKKV-CBS uygulaması ile oluşturulan uygunluk haritası, yerli çiftçilerin bilgisine dayalı olarak elde edilen mevcut YSH teknolojileri ile karşılaştırıldığında YSH teknolojilerinin yüksek bir yüzdesinin çok yüksek uygunluk seviyelerinde bulunduğu sonucuna varılmıştır. Bu yöntemin sonuçları ile çiftçilerin yerel deneyimlerinin güçlü bir şekilde eşleşmesi, onu güçlü bir yöntem haline getirmektedir [17].

Dünya genelinde birçok araştırmacı bu teknolojileri kullanarak, uydu verileri ve diğer tamamlayıcı veriler ile türetilen görüntülerle su toplama yapıları için potansiyel alanlar belirlemişler, bazı araştırmacılar da bu yapıları hayata geçirmiştir [17]-[21]. Özellikle son 5 yılda oldukça yaygınlaşan bu çalışmalar genellikle nüfusun yoğunlukta olduğu Hindistan ve Pakistan gibi Asya ülkelerinde [2],[12]-[15],[22] su kıtlığının yaşandığı Ortadoğu'da [4],[8],[10],[23] ve Afrika'daki bölgelerde yapılmıştır [11],[24]-[26]. Ayrıca halka açık parkların sulanması için YSH [27] gibi çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda yapılan en önemli çalışmalardan birinde, son 30

yıldaki çalışmalar değerlendirilerek en efektif yöntem olarak ÇKKV-CBS uygulaması sunulmuştur [16]. Ülkemizde de YSH alanında kent içi veya kırsal alanda uygulanabilecek teknikleri anlatan çalışmalar yapılmıştır [28]-[32]. Ayrıca kampüs ölçeğinde yapılan çalışmalar yaygınlaşmakla birlikte bu çalışmalara, yağmur suyunu kampüs içindeki bina çatılarından toplama tekniğiyle CBS'den faydalanılarak yapılmaktadır [7],[32]-[34]. ÇKKV-CBS uygulaması, YSH çalışmalarında kullanıldığı gibi, yeraltı suyu potansiyel bölgelerinin belirlenmesi çalışmalarında da kullanılmıştır [35],[36]. Bu uygulama ile birlikte Toprak Koruma Servisi - Eğri Numarası (SCS-CN) metodu kullanılarak taşkın risk analizi [37],[38], akım gözlem istasyonu bulunmayan akarsular için akış verilerinin hesaplanması [39] ve kent içi park sulama kaynağı olarak park ölçeğinde YSH [5] gibi çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada pilot bölge olarak Denizli iline bağlı Serinhisar ilçesi seçilmiştir. İçme suyu ihtiyacının tamamı yeraltı sularından karşılanmaktadır. İlçe merkezinde yüzeysel su kaynağı olmadığı için sulama suyu ihtiyacı da içme suyu şebekesinden karşılanmaya çalışılmaktadır. Öte yandan yukarı havzada dik yamaçlardan gelen taşkınlarla üç dört yıl aralıklarla, özellikle önemli ölçüde mal kaybı meydana gelmektedir. Bu sebeple Serinhisar bölgesi, büyük oranda hem içme suyu ihtiyacına hem de sulama suyu ihtiyacına katkı sağlayacağı ve taşkınların etkilerini önemli ölçüde azaltabileceği öngörülerek YSH çalışması için seçilmiştir.

YSH için uygun bölgeler belirlenirken, ÇKKV yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ile entegre CBS ve SCS-CN metodu kullanılmıştır. Bu çalışma, Türkiye'de YSH konusunda havza ölçeğindeki ilk çalışma olarak literatüre katkı sağlamaktadır.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Çalışma Alanı

Denizli'nin Serinhisar ilçesi sınırları içinde yer alan havza alanı, coğrafi olarak 37°30'0" - 37°42'0" Kuzey enlemleri ve 29°12'0" - 29°21'0" Doğu boylamları arasındadır (Şekil 1). Batı Akdeniz Akarsu Havzası içinde olan havza alanı, yaklaşık 95.13 km<sup>2</sup>lik bir alanı kapsamaktadır.



Şekil 1. Havzanın konumu.

Figure 1. Location of the watershed.

## 2.2 Veri Seti

Çalışmada SCS-CN yöntemi için gerekli olan yağış verisi, toprak haritası ve arazi kullanımı haritasının yanı sıra uygun YSH bölgelerinin seçiminde kullanılan kriterlerin haritaları da veri seti olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan havza verileri ArcMap 10.8 CBS yazılımından faydalanılarak işlenmiş ve oluşturulmuştur. Şekil 2 (a)'da sunulan Sayısal Yükseklik Modeli'nin (SYM) elde edildiği pafta verisi, ABD Jeoloji Araştırma Kurumu'nun (United States Geological Survey, USGS) Earthexplorer internet platformundan [40] sağladığı 30"x30" çözünürlüğünde 1 açısız saniyelik Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)'den alınmıştır. Akış çizgileri de SYM'den faydalanılarak elde edilmiştir.

### 2.2.1 Eğim

Topografik eğim, uzaklığa göre yüzey değerindeki değişimin ölçüsüdür. Derece veya yüzde olarak ifade edilebilir [41]. Alanın eğimi veya topografik özellikleri, YSH bölgelerini haritalamak ve uygulamak için ana kriterlerdir. Su akış hızını ve sedimantasyon miktarını etkileyerek akış oluşumunu önemli ölçüde etkiler. YSH açısından, arazi eğimi arttıkça, belirli bir bölgenin YSH'ye uygunluğu azalır ve bunun tersi de olabilir. Örneğin dik bir eğim, YSH için yüksek akış üretir. Farklı eğimlerde farklı YSH yapıları tercih edilebilir fakat çok yüksek eğimler bu yapıların inşası için zor olacaktır [23].

Havza eğim bakımından düşükten yükseğe; 0-3, 4-10, 11-17, 18-24, 25-48 derece olmak üzere 5 aralıkla sınıflandırılmıştır. Eğimin düşük olduğu tarım bölgeleri, eğim parametresi açısından YSH için en uygun bölgeler olacaktır. SYM'den elde edilen eğim haritası Şekil 2 (b)'de verilmiştir.

### 2.2.2 Drenaj Yoğunluğu

Havzanın akarsular tarafından bölünme derecesini gösteren bir ölçü [42] olan drenaj yoğunluğu, birim toplama alanı başına düşen toplam akarsu uzunluğudur [43] ve YSH uygun bölgeleri

belirlemede etkili kriterlerden biridir. Drenaj yoğunluğunun hesabı Denklem (1)'de verilmiştir.

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (1)$$

Burada;  $D_d$ : Drenaj yoğunluğunu ( $m/m^2$ ),  $L$ : Akarsu uzunluğunu,  $A$ : Havza alanını belirtir.

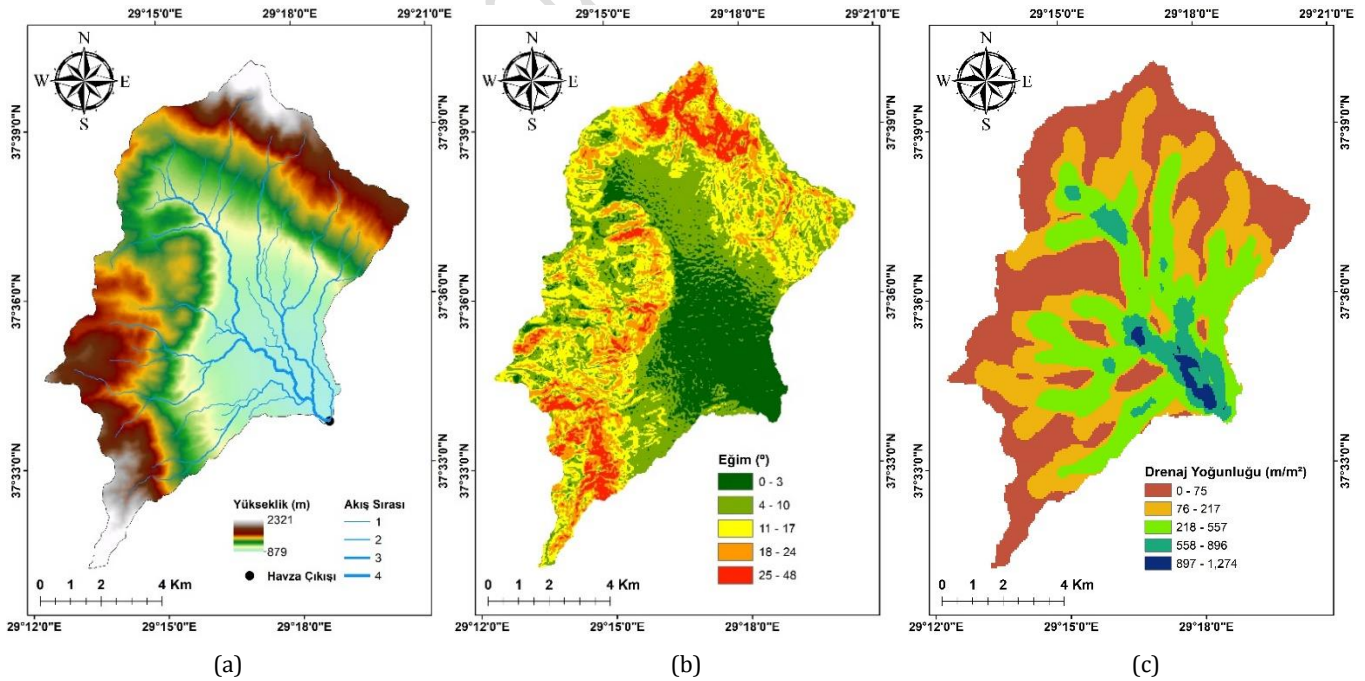
Nehirlerden çok uzakta bulunan alanlar, buharlaşma ve sızma nedeniyle su kaybı için çok daha büyük bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlar yani nehirlerle, daha büyük akım kollarına yakın olan alanlar, düşük drenajlı alanlara kıyasla uygunluk açısından daha üst sıralarda yer alacaktır [20].

Havzanın drenaj yoğunluğu parametresi de eğim parametresi gibi beş sınıfa ayrılmıştır. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu bölgeler YSH için en uygun bölgeler olarak kabul edilmiştir. SYM ve akış çizgilerinden faydalanılarak elde edilen drenaj yoğunluğu haritası Şekil 2 (c)'de verilmiştir.

### 2.2.3 Arazi Kullanımı

YSH için uygun alanların belirlenmesini etkileyen faktörlerden biri de arazi kullanımı/örtüsüdür. Arazi kullanımı, ortalama ve maksimum debilere etki eden, fiziksel ve beşerî etmenlerden etkilenip aynı zamanda bu etmenleri etkileyen bir parametredir [44].

Bu kriter hem arazi kullanımı değişikliklerini hem de yağış nehir havzalarının hidrolojik reaksiyonunu etkiler. Esasen arazi kullanımı, yağış ve akış ile ilişkili olmakla birlikte arazinin yüzey örtüsünü temsil ettiği için akışa etki eder. Örneğin daha yüksek sızma ve engelleme oranları, daha yoğun bitki örtüsü ile bağlantılıdır ve daha az akışa neden olur. Bu nedenle, arazi kullanımı varyasyonlarını ve bunların havza akışının doğası üzerindeki etkilerini tespit etmek çok önemlidir [23].



Şekil 2. Haritalar (a): Havza sayısal yükseklik modeli ve akış çizgileri. (b):Eğim. (c): Drenaj yoğunluğu.

Figure 2. Maps (a): Watershed digital elevation model and flow lines. (b):Slope. (c): Drainage density.



Havza arazi kullanımı verisi, ESRI'nın Sentinel-2 uydusundan 2021.01.01 tarihli 10x10 m çözünürlüğündeki uydu görüntülerini elde edip işlediği ve yayınladığı internet platformundan [45] alınmıştır. Alınan arazi kullanımı görüntüleri paftası, CBS ortamında havza alanına uyarlanmıştır. Havzanın arazi kullanımı önceki kriterler gibi beş sınıfta değerlendirilmiştir ve dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Havza arazi kullanımı oranları.  
Table 1. Watershed land use/cover rates.

Arazi Kullanımı/Örtüsü	Alan(km <sup>2</sup> )	Alan(%)
Su/Gölet	0.01	0.02
Yerleşim (Orta)	5.33	5.61
Orman	10.18	10.70
Tarım	18.78	19.74
Çıplak Toprak/Dağ	60.83	63.94
Toplam	95.13	100.00

Arazi kullanımı açısından YSH için en uygun bölgeler tarım bölgeleri ve çıplak toprak veya dağlık bölgeler, uygun olmayan bölgeler ise yerleşim ve orman arazileridir. Arazi kullanımı

Tablo 2. Hidrolojik toprak grupları.  
Table 2. Hydrologic soil groups.

HSG	Özellikleri	Min. Sızma Oranı (cm/sa)
A	Tamamen ısladıklarında bile yüksek sızma oranları, yüksek su iletim hızı ve düşük akış potansiyeli sergiler. Bu tür topraklar iyi ve aşırı derecede drene edilmiş kumları veya çakılları içerir.	0.76-1.14
B	Tamamen ısladığında orta derecede sızma oranlarına sahiptir ve temel olarak orta derecede iyi ve iyi drene edilmiş ince, orta derecede ince ve orta derecede kaba dokulu topraklardan (sığ lős ve kumlu balçık) oluşur. Bu topraklar orta düzeyde su iletimi sergiler.	0.38-0.76
C	Tamamen ısladığında düşük sızma oranlarına sahiptir. Bu topraklar öncelikle suyun aşağı doğru hareketini engelleyen bir tabaka içerir. Bu tür topraklar, örneğin killi tınlr, sığ kumlu tınlr ve organik içeriği düşük topraklar gibi orta ince ve hafif dokuya sahiptir. Bu topraklar yavaş bir su iletim hızı sergiler.	0.13-0.38
D	Tamamen ısladıklarında çok düşük sızma oranları sergilerler. Bu tür topraklar öncelikle yüksek şişme potansiyeline sahip killi topraklar, sürekli yüksek su tablasına sahip topraklar, yüzeyde veya yakınında kil tabakası olan topraklar ve neredeyse geçirimsiz malzeme üzerinde sığ topraklardır. Bu topraklar çok yavaş bir su iletim hızı sergiler.	0-0.13

## 2.2.5 Akış Potansiyeli

YSH için kaynak olacak yüzey suyu ile doğrudan ilgili olduğu için en önemli kriterdir. Alanın akış potansiyeli, yüzey suyunun beslenmesini ve hareketini etkiler [20].

## 2.2.6 Yağış

Akış potansiyelini belirlemek üzere kullanılacak olan SCS-CN metodunun girdilerinden biri yağış verisidir. Yağış verisi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden [48] alınan, Şekil 1'de lokasyonları verilen meteoroloji istasyonlarından elde edilmiştir. İstasyon bilgileri Tablo 3'de verilmiştir. Geçmiş 40 yılın yağış verisini bulunduran Acıpayam ve Denizli istasyonlarından, ağırlıklı alan ortalaması (Thiessen) yöntemi ile havzanın yağış değerleri elde edilmiştir. Bu değerler 18 yıllık yağış verisi bulunduran Serinhisar istasyonunun yağış değerleriyle korele edilerek karşılaştırılmıştır [6]. Yüksek korelasyon değeri (0.82) sonucunda havzanın yağış verisi elde edilmiştir.

haritası Şekil 3 (a)'da verilmiştir. Haritada tarım arazileri (%19.74) ve dağlık bölgelerin (%63.94) yoğunlukta olduğu görülmektedir.

## 2.2.4 Hidrolojik Toprak Grubu

Topraklar, azalan tane boyutuna göre genel olarak kum, silt ve kil olarak sınıflandırılır. Tanelerin boyutu gözeneklerin boyutunu etkiler ve bu da yüzey gerilimini etkiler ve dolayısıyla sızmayı etkiler. Sızma, suyun yüzeyinden toprağa girme hızı olarak tanımlanır ve bu nedenle yüzey koşulları tarafından kontrol edilir. Toprak Koruma Servisi, sızma ve iletim hızlarına göre toprakları Tablo 2'de verildiği üzere A, B, C ve D olmak üzere dört hidrolojik gruba ayırmıştır [46].

Havza hidrolojik toprak grubu verisi olarak Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) internet platformundan [47] yayınladığı Digital Soil Map of the World kullanılmıştır. Alınan harita CBS ortamında havza alanına uyarlanmış ve toprak gruplarına göre sınıflandırılmıştır. Havza, hidrolojik toprak grubu bakımından iki cins toprak barındırmaktadır. C sınıfı toprak grubu havzanın %3.34'lük bir bölümünü kapsar iken D sınıfı toprak grubu havzanın %96.66'sını kapsamaktadır. Hidrolojik toprak grubu haritası Şekil 3 (b)'de verilmiştir.

Tablo 3. Yağış verisi için kullanılan istasyon bilgileri.

Table 3. Station information used for precipitation data.

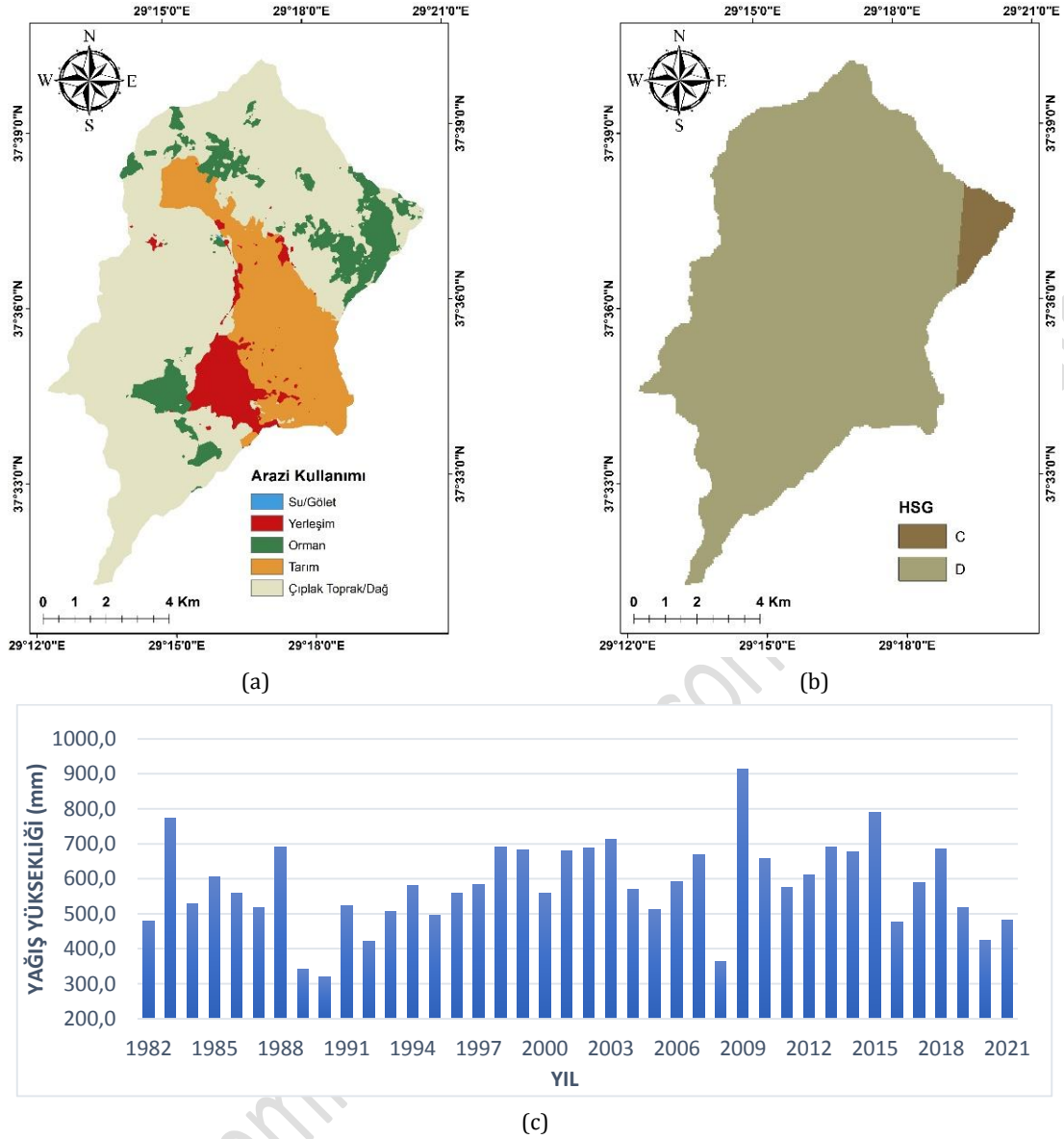
İstasyon No.	İstasyon Adı	Havza Adı	Rakım (m)
18302	Serinhisar	Batı Akdeniz	923
17890	Acıpayam	Batı Akdeniz	941
17237	Denizli	Büyük Menderes	425

Elde edilen yağış verisi 40 yılın günlük toplam yağış verilerini kapsamaktadır. Bu veriyi boyutlarından dolayı tablo olarak sunmak mümkün olmadığı için Şekil 3 (c)'de grafik formatında sunulmuştur. Ayrıca daha iyi anlaşılması amacıyla kısa yılları kapsayan örnek bir tabloda da gösterilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Örnek yıllık toplam yağış yükseklikleri.

Table 4. Sample annual precipitation.

Yıl	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Toplam Yağış Y. (mm)	479	773	530	606	559	518	692



Şekil 3. Havzaya ilişkin; (a): Arazi kullanımı haritası. (b): Hidrolojik toprak grubu haritası. (c): Yıllık toplam yağış yükseklikleri.

Figure 3. About the basin; (a): Land use/cover map. (b): Hydrologic soil group map. (c): The annual total precipitations.

## 2.3 Metodoloji

Potansiyel YSH bölgelerini belirlemek için Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), iklim, hidroloji, topografya, tarım bilimi, topraklar ve sosyoekonomik etkenler gibi 6 temel faktörü baz almıştır [49]. Veri eksikliği ve sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırmak için sosyoekonomik faktörlerin yanı sıra toprak sınıflarının havzadaki dağılımının çok değişken olmaması nedeniyle fazla sınıfa ayırlamayacağı ve diğer kriterlerle uyumsuzluk yaratacağı için toprak sınıfları da dikkate alınmamıştır. Sonuç olarak çalışmada AHY için kullanılacak kriterler eğim (topografya), drenaj yoğunluğu (hidroloji), arazi kullanımı (tarım bilimi) ve akış potansiyelidir (iklim, hidroloji).

Çalışmada SCS-CN yöntemi, havza üzerindeki akış potansiyelinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Bir diğer yöntem olan AHY ise uygun bölgeler belirlemek için kriterlerin ağırlık katsayılarının belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmanın akış şeması Şekil 4'te verilmiştir.

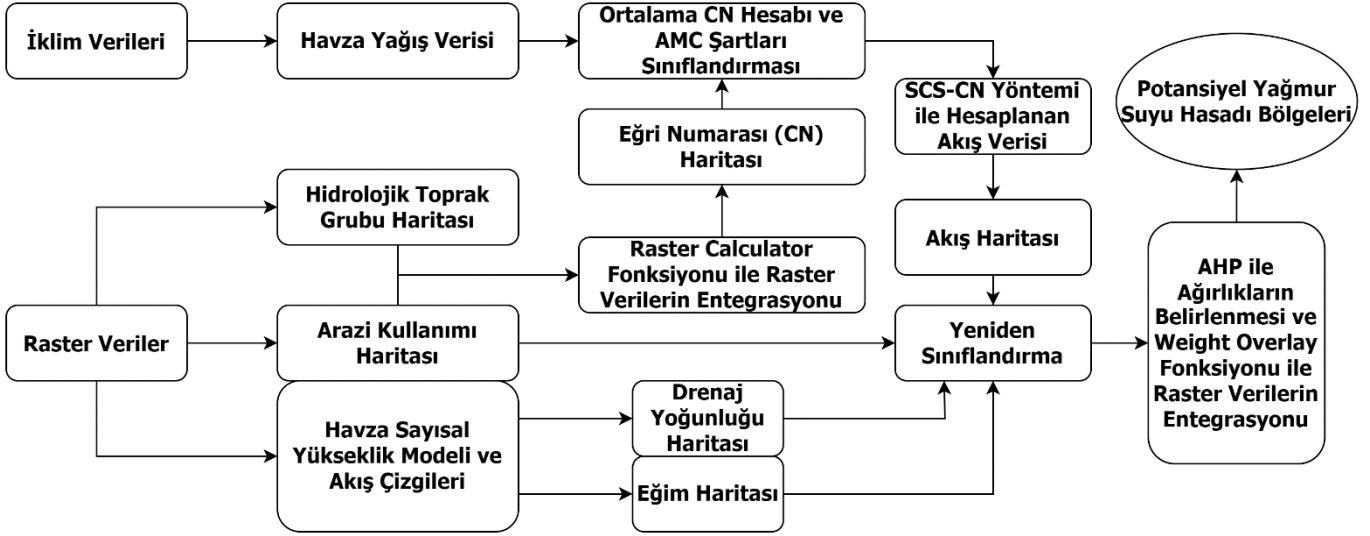
### 2.3.1 SCS-CN Yöntemi

Küçük tarım, orman ve kentsel havzalarda, belirli bir yağış olayı için yüzey akışının hacminin hesabında kullanılan en popüler yöntemlerden biridir. Ölçülmemiş su havzaları için kullanışlıdır [46]. Ampirik yapıda bir model olup havza özelliklerine bağlı olarak geliştirilmiş eğri numarası (curve number, CN) değerlerinden hareketle akış miktarını hesaplar. Bu yöntem kullanılarak akışa geçen su miktarının hesaplanabilmesi için çalışma sahasına ait arazi kullanımı, hidrolojik toprak grupları ve meteoroloji verilerine ihtiyaç duyulmaktadır [50].

SCS-CN yönteminin popüler formu Denklem (2)'deki gibidir.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}, \quad P < 0.2S \rightarrow Q = 0 \quad (2)$$

Burada;  $P$ : Toplam yağışı (mm),  $S$ : Potansiyel maksimum sızmayı (mm),  $Q$ : Doğrudan akışı (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4. Çalışma akış şeması.

Figure 4. Flow chart of the study

SCS-CN yönteminde S parametresi toprak tipine arazi kullanımına, hidrolojik duruma ve önceki nem durumuna bağlı olmakla birlikte Denklem (3)'teki gibi ifade edilir.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

Burada; CN: 0 ile 100 arasında değişen boyutsuz bir katsayıdır. S parametresi ile arasındaki temel fark boyutsuz olmasından kaynaklanır pratik tasarım ve yaygın tasarım değeri ise 40 ila 98 arasında değişir [51]. Tüm havza alanı içinde farklı CN değerlerine sahip alanlar olacağı için bu alanlar Denklem (4)'te verildiği gibi ağırlıklandırılarak tek bir CN değerine indirgenebilir ve S hesaplanabilir.

$$CN_w = \frac{\sum(CN_i \times A_i)}{A} \quad (4)$$

Burada;  $CN_w$ : Ağırlıklı eğri numarası değerini,  $CN_i$ : Her bir alan için eğri numarası değerini,  $A_i$ : Her bir eğri numarası için alanı,  $A$ : Toplam alanı ifade eder.

Önceki nem durumu (AMC), toprak yüzeyinin ıslaklığını, toprak profilinde mevcut olan nem miktarını veya alternatif olarak yağış başlamadan önceki doyma derecesini ifade eder. Toprağın tamamen doygun olması durumunda, tüm yağış miktarı sızma kayıpları olmadan doğrudan akışa dönüşecektir ve toprak tamamen kuru ise, yağış miktarının tamamının toprak tarafından emilmesi ve yüzey akışının olmaması mümkündür. Bu nedenle, önceki nem durumu yağış-akış sürecini önemli ölçüde etkiler. AMC'yi belirlemek için pratikte önceki 5 günlük yağışın toplamı kullanılır. Tablo 5'te gösterildiği üzere, AMC-I, AMC-II ve AMC-III olmak üzere üç düzeyde sınıflandırılır [46].

Tablo 5. Önceki nem içeriği için belirlenen kategoriler.

Table 5. Classification of antecedent moisture conditions.

AMC	Önceki 5 günün toplam yağışı (mm)		İçerik
	Kış Sezonu	Büyüme Sezonu	
I	< 13	< 36	Kuru Toprak, kurak
II	13 - 28	36 - 53	Geçiş, normal şartlar
III	> 28	> 53	Doymuş Toprak, yağışlı

Bu AMC değerleri CN değerine etki etmekle beraber Denklem (4)'te elde edilen ağırlıklı CN değeri  $CN_{II}$  değerine tekabül eder.  $CN_I$  ve  $CN_{III}$  değerleri ise Denklem (5) ve Denklem (6)'dan elde edilir.

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (5)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 + 0.13CN_{II}} \quad (6)$$

### 2.3.2 Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Thomas L. Saaty [52] tarafından geliştirilen, karmaşık karar vermeyi ele almak için etkili bir yöntemdir. Bir kararın hem öznel hem de nesnel yönlerini yakalamaya yardımcı olur [21]. Çok kriterli problem öğelerini öncelik durumuna göre belirli bir akış ve yapı içerisinde sistematik bir

şekilde belirler ve problem olduğu kabul edilen bu öğeleri kendi aralarında parçalara ayırır. Sonrasında bu öğeleri ikili biçimde karşılaştırarak hiyerarşik olarak ağırlıklarını (etki gücü) belirler ve tutarlı olarak işlemeye başlar [53]. Kısacası AHY, karar vericinin tüm alternatifleri tüm kriterler altında değerlendirerek, göreceli önemlerine göre ikili karşılaştırmalar yapmasına dayanmaktadır [37]. İkili karşılaştırmalarda Tablo 6'da verilen ölçek [52] kullanılmaktadır.

Tablo 6. Saaty'in tercih ölçeği.

Table 6. Saaty's scale of preference.

Önem Derecesi	Açıklama
1	Kriterler eşit öneme sahip
3	1. kriter, 2. kriter göre biraz daha önemli
5	1. kriter, 2. kriter göre fazla önemli
7	1. kriter, 2. kriter göre çok fazla önemli
9	1. kriter, 2. kriter göre en kuvvetli öneme sahip
2,4,6,8	İki faaliyet arasında kalan ara değerler

Kriterlerin ikili karşılaştırılmasında elde edilen ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı Denklem (7)'deki eşitlik ile kontrol edilir. Bu değer 0.1 yani %10'dan düşük olduğunda matris tutarlı olacaktır, aksi takdirde kriterler arasındaki önem katsayıları değiştirilerek tutarlılık sağlanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Burada;  $CR$ : Tutarlılık oranını,  $CI$ : Tutarlılık indeksini,  $RI$ : Rastgelelik indeksini ifade eder.

Tutarlılık indeksi Denklem (8)'de verilen eşitlik ile hesaplanır. Rastgelelik indeksi ise Tablo 7'den [52] elde edilir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

Burada;  $n$ : Kriter sayısını,  $\lambda_{max}$ : İkili karşılaştırma matrisinin temel özdeğerini ifade eder. Bu değer ikili karşılaştırma matrisi ve bulunan ağırlık değerlerinin çarpılmasının oluşturduğu matrisin, her satırının ilgili ağırlık değerlerine bölünmesi sonucu oluşacak yeni matrisin satırlarının ortalamasının alınması ile elde edilecek değerdir.

Tablo 7. Kriter sayısına göre rastgelelik indeksi değerleri.

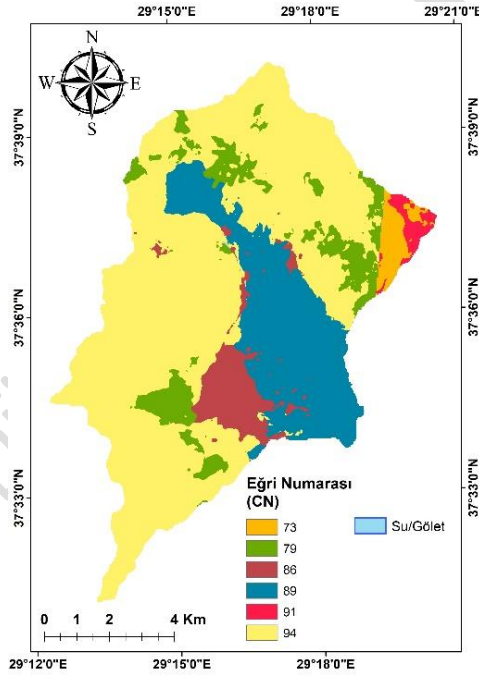
Table 7. Randomness index values by number of criteria.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

### 3 Bulgular

#### 3.1 Eğri Numarası

Arazi kullanımı ve hidrolojik toprak grubu haritalarının birbiriyle eşleştirilmesi sonucu Şekil 5'te verilen eğri numarası haritası elde edilmiştir. Haritada, değerleri yüksek olan eğri numaralarının daha fazla alana sahip olduğu gözlemlenmektedir. Buna dayanarak havzanın, toprak tipi ve arazi kullanımı yönünden yüksek bir akış katsayısına sahip olduğu yani düşen yağışın büyük bir bölümünün akışa dönüştüğünden bahsedilebilir. Haritada, havza alanı üzerinde hidrolojik toprak gruplarının sadece iki sınıfta (Tablo 1'de belirtilen C ve D sınıfları) ve homojen bir şekilde dağılması sebebiyle havza alanındaki CN değerlerinin dağılımı arazi kullanımı haritasının dağılımına benzerlik göstermiştir.

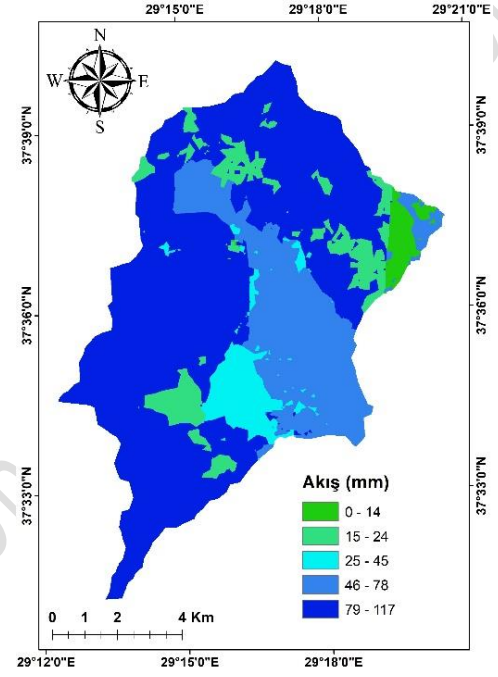


Şekil 5. Eğri numarası haritası.

Figure 5. Curve number map.

#### 3.2 Akış Potansiyeli

Akış potansiyeli haritası, havza alanındaki CN değerlerinin dağılımına göre oluşturulmuştur. Havza alanına dağılan 6 farklı CN değerinden her biri ağırlıklı CN değeri kabul edilerek oluşturacağı akışlar elde edilmiştir ve CN haritasına işlenmiştir. Böylece YSH uygun bölgelerini belirlemek için kullanılan uygunluk kriterlerinden biri olan akış potansiyeli de elde edilmiştir. Akış potansiyeli değerleri havza üzerindeki akış yüksekliklerini dikkate alarak diğer kriterler gibi beş sınıfa ayrılmıştır ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Akış potansiyeli haritası.

Figure 6. Runoff potential map.

#### 3.3 YSH Uygunluk

Uygun bölgeleri belirlemek amacıyla oluşturulan, kriterlerin birbirlerine göre önemlerinin karşılaştırıldığı ikili karşılaştırma matrisi Tablo 8'de verilmiştir. Kriterlere önem katsayıları verilirken önem sırası; akış potansiyeli, eğim, drenaj yoğunluğu, arazi kullanımı [22],[24] olarak kabul edilmiştir.

Tablo 8. İkili Karşılaştırma matrisi.

Table 8. Pairwise comparison matrix.

Uygunluk Kriterleri	Arazi Kullanımı	Drenaj Yoğunluğu	Eğim	Akış Potansiyeli
Arazi Kullanımı	1	0.33	0.25	0.20
Drenaj Yoğunluğu	3	1	0.50	0.33
Eğim	4	2	1	0.50
Akış Potansiyeli	5	3	2	1

İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılığının sınırdığı değerler Tablo 9'da verilmiştir. Hesaplanan değerlere göre tutarlılık oranı, sınır değer olan 0.1'in altında kaldığı için ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 9. Tutarlılık sınaama değerleri.

Table 9. Consistency test values.

CI (Tutarlılık İndeksi)	0.017
RI (Rastgelelik İndeksi)	0.9
CI/RI = CR (Tutarlılık Oranı)	0.019

AHY sonucunda elde edilen ağırlık değerleri ve haritaların CBS kullanılarak birleştirilmesinde belirlenmiş olan alt kriterlerin önem katsayıları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Kriter ağırlıkları ve alt kriterler.

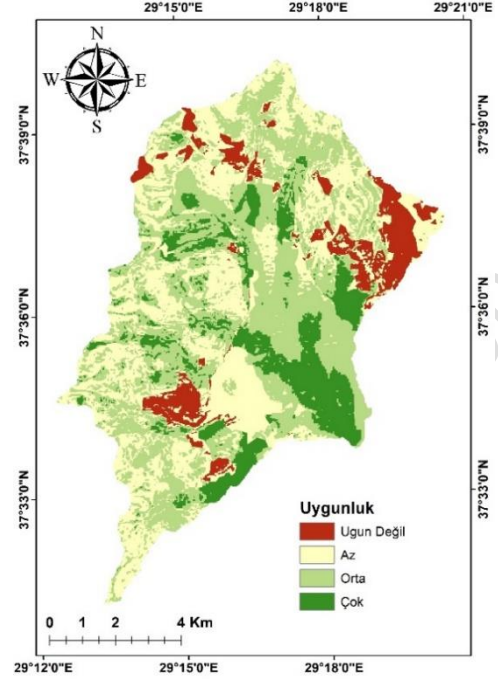
Table 10. Criterion weights and sub-criteria.

Kriter	Ağırlık (%)	Alt Sınıflandırma	Önem (1-9)
Arazi Kullanımı	7	Su/Gölet	1
		Yerleşim	5
		Orman	2
		Tarım	6
		Çıplak Toprak/Dağ	8
Drenaj Yoğunluğu (m/m <sup>2</sup> )	17	0 - 75	1
		76 - 217	3
		218 - 557	5
		558 - 896	7
		897 - 1274	9
Eğim (°)	29	0 - 3	9
		4 - 10	7
		11 - 17	3
		18 - 24	2
		25 - 48	1
Akış Potansiyeli (mm)	47	14	1
		15 - 24	2
		25 - 45	3
		46 - 78	5
		79 - 117	7

Haritalar, Tablo 8'deki ağırlıklara ve alt kriter önem katsayılarına göre birleştirilmiş ve Şekil 7'de verilen harita elde edilmiştir.

Ağırlık yüzdeleri YSH için en önemli faktörün akış potansiyeli olduğunu göstermektedir, akış potansiyelinin üzerinde ise eğimin etkisi olduğu kadar arazi ve toprak örtüsünün de etkisi vardır. Örneğin yüksek eğimli fakat geçirimsizliğin yüksek olduğu ormanlık bir bölgede akışın düşük olacağı, daha düşük eğimli geçirimsiz bir bölgede ise akışın daha yüksek olacağı düşünülebilir. Bu da bize olaya etkili parametrelerin kendi aralarında da çapraz ilişkilerinin olduğunu göstermektedir.

YSH için en uygun bölgeler, eğimin düşük olması sebebiyle depolamanın daha kolay olacağı, dolayısıyla yüksek miktarda depolama yapılabilecek YSH yapılarının inşa edilebileceği alanlardır. Bu alanlarda yapılacak YSH yapıları, depolanan suyun kolaylıkla sulamada kullanımını sağlayacaktır. Ayrıca bu bölgelerdeki mevcut toprak verisi göz önünde bulundurulduğunda, çalışılan havza alanının tamamına yakınının geçirimsizliği düşük killi toprak (D sınıfı) barındırdığı için sızmanın düşük olacağı öngörülmektedir. Buna karşın su hasadına uygun olmayan bölgeler ise sızmanın yüksek olacağı ormanlık ve herhangi bir yapı imalatının zor olacağı eğimin yüksek olduğu bölgelerdir. Daha düşük depolama yapabilen orta düzeyde eğime sahip bölgeler ise, orta düzey uygunluk kategorisinde değerlendirilmiştir.



Şekil 7. Yağmur suyu hasadına uygun bölgeler.

Figure 7. Suitable site for rainwater harvesting.

Uygunluk açısından havza alanının %8.76'sını YSH için uygun olmayan bölgeler, %36.80'ini az uygun olan bölgeler, %40.54'ünü orta uygunlukta olan bölgeler ve %13.90'ını da en uygun bölgeler kaplamaktadır. Dağılım oranlarından hareketle havza alanının yarısından fazlasında YSH yapılabileceği kabul edilmiştir.

#### 4 Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında AHY ile entegre CBS uygulaması yapılarak, havza üzerindeki YSH için uygun bölgeler belirlenmiştir. Bu bölgelerin belirlenmesinde; akış potansiyeli, eğim, drenaj yoğunluğu ve arazi kullanımı olmak üzere dört kriter dikkate alınmıştır. Belirlenen bölgeler, toplayabileceği su miktarının yüksek olması ve YSH yapılarına uygunluğu göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

Bölgenin arazi kullanımı ve toprak yapısı göz önüne alındığında yüksek bir akış potansiyeline sahip olduğu kabul edilebilir fakat bölgedeki yağış düzensizliğinin, toprağın önceki nem içeriğini düşürecek şekilde etkilemesi sebebiyle düşük bir akış yüzdesi oluşturduğu aşikardır. Bu nedenle bölgede uygulanacak su hasadı teknikleri, düşük yüzdeli bu akışın toplanarak sulamada veya yeraltı suyu beslemesinde kullanılmasını sağlayacaktır.

Yapılan YSH çalışmaları neticesinde, Serinhisar ilçesinin alt kotlarında yıllık yaklaşık 7 milyon 244 bin metreküp YSH yapılabileceği hesaplanmıştır. Bu miktar bölgede yıllık sulama suyu ihtiyacının %40'ına karşılık gelmektedir [6]. Bir başka ifade ile bölgede yapılacak YSH ile yıllık içme suyu miktarına aynı oranda katkı sağlanmış olacaktır. İlgili su kurumunun 2023 birim fiyatları [54] kullanılarak kademe uygulaması dikkate alınmadan yapılan hesaplamada yıllık yaklaşık 80 milyon TL düzeyinde bir fayda sağlanacağı belirlenmiştir.

Bölgede belirlenen uygunluğu yüksek olan bölgelerde çiftlik havuzları ve sızdırma göletleri gibi yapıların inşası uygun olacaktır. Aynı zamanda bölgede sulama için kullanılan kuyulardan geri besleme yapılması da mümkündür. Uygunluğu orta derecede olan bölgelerde ise eşyükselti seddeleri ve



teraslar gibi tekniklerin uygulanabilirliği mümkündür. Ayrıca bu tekniklerin bölgede yaşanan taşkınların etkisini azaltacağı öngörülmektedir.

Bölgede uygun YSH yapılarının projelendirilmesi ve uygulamaya geçirilmesi önerilmektedir. Böylelikle hasat edilecek sularının sulamada kullanımı sağlanarak, tarıma büyük ölçüde katkı verilebileceği ve bölgede yapılan sulamada, yeraltı suyuna olan talebin azalacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak yapılacak bu uygulamalar bölgedeki içme suyu sıkıntısının önüne geçecektir. Sonraki çalışmalarda, tespit edilen YSH uygun bölgelerinin üzerinde, YSH yapıları özelinde daha spesifik yer seçimi yapılabileceği ve YSH yapılarının kesin lokasyonlarının belirlenebileceği düşünülmektedir. Bu tür YSH çalışmalarının içme ve kullanma suyu ile sulama suyu ktlığı olan bölgelerde yapılması tarafımızdan önerilmektedir.

## 5 Conclusions and Recommendations

Within the scope of the study, suitable sites for Rainwater Harvesting (RWH) on the watershed were determined by applying GIS integrated with AHP. In the determination of these sites, four criteria were taken into account: runoff potential, slope, drainage density and land use. The selected sites were chosen based on the high amount of water that can be collected and their suitability for the RWH structures.

Considering the land use and soil structure of the site, it can be accepted that it has a high runoff potential, but it is obvious that the irregularity of precipitation in the site creates a low runoff percentage due to the effect of lowering the previous moisture content of the soil. For this reason, the water harvesting techniques to be applied in the site will ensure that this low percentage runoff is collected and used for irrigation or groundwater supply.

As a result of the RWH studies, it was calculated that approximately 7 million 244 thousand cubic meters of RWH can be made annually in the lower elevations of Serinhisar district. This amount corresponds to %40 of the annual irrigation water requirement in the region [6]. In other words, the annual amount of drinking water will be contributed at the same rate as the annual amount of drinking water. Using the 2023 unit prices of the relevant water authority [54], it was determined that an annual benefit of approximately 80 million TL would be realized without considering the tiering practice.

Construction of structures such as farm ponds and percolation ponds would be appropriate in areas of high suitability identified in the region. It is also possible to recharge from wells used for irrigation in the region. In areas of moderate suitability, techniques such as contour ridges and terraces are feasible. These techniques are also expected to reduce the impact of flooding in the region.

It is recommended that appropriate RWH structures be designed and implemented in the region. In this way, it is envisaged that the water to be harvested can be used in irrigation, contributing to agriculture to a great extent and reducing the demand for groundwater in irrigation in the region. As a result, these applications will prevent drinking water shortage in the region. In future studies, it is thought that more specific site selection can be made on the identified suitable areas for RWH and the exact locations of RWH structures can be determined. It is recommended that such RWH studies be carried out in regions where drinking and potable water and irrigation water are scarce.

## 6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Yazar 1 fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi başlıklarında; Yazar 2 sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

## 7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur”

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır”

## 8 Kaynaklar

- [1] Uyduranoğlu Öktem A, Aksoy A. *Türkiye'nin Su Riskleri Raporu*. İstanbul, Türkiye, Ofset Yapımevi, 2014.
- [2] Saha A, Ghosh M, Chandra Pal S. Identifying Suitable Sites for Rainwater Harvesting Structures Using Runoff Model (SCS-CN), Remote Sensing and GIS Techniques in Upper Kangsabati Watershed, West Bengal, India. Editors: Adhikary PP, Shit PK, Santra P, Bhunia GS, Tiwari AK, Chaudhary BS. *Geostatistics and Geospatial Technologies for Groundwater Resources in India*, 119–150, Cham, Zug, Switzerland, Springer Cham, 2021.
- [3] Patil D, Kumar G, Kumar, A, Gupta R. “A systematic basin-wide approach for locating and assessing volumetric potential of rainwater harvesting sites in the urban area”. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14707–14721, 2023.
- [4] Nabit BI, Al-Anbari RH, Alwan IA. “Identifying Suitability Rainwater Harvesting Zones in Diyala Watershed, Iraq, Using Multi-Criteria Analysis and GIS Modelling”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1158(2), 022036, 2023.
- [5] Kara B, Baykurt G. “Using the SCS Curve Number Method for Rainwater Harvesting: A Case Study from Yenipazar, Turkey”. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 4(4), 1204-1216, 2022.
- [6] Özben OM. Havza Bazlı Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Belirlenmesi: Denizli Serinhisar İlçesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2022.
- [7] Eren B, Aygün A, Likos S, Damar Aİ. “Yağmursuyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü Potansiyelinin Değerlendirilmesi Rainwater Harvesting: Assessing the Potential of Sakarya University Esentepe Campus”. *Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 1-5, 2016.
- [8] Ibrahim GRF, Rasul A, Hamid AA, Ali ZF, Dewana AA. “Suitable Site Selection for Rainwater Harvesting and Storage Case Study Using Dohuk Governorate”. *Water*, 11(4), 864, 2019.
- [9] Aladenola OO, Adebayo OB. “Assessing the Potential for Rainwater Harvesting”. *Water Resources Management*, 24(10), 2129-2137, 2009.
- [10] Abd-el-Kader MM, El-Feky AM, Saber M, AlHarbi, MM, Alataway A, Alfaisal FM. “Designating Appropriate Areas for Flood Mitigation and Rainwater Harvesting in Arid Region Using a GIS-based Multi-criteria Decision Analysis”. *Water Resources Management*, 37(3), 1083–1108, 2023.
- [11] Alene A, Yibeltal M, Abera A, Andualem TG, Lee SS. “Identifying rainwater harvesting sites using integrated

- GIS and a multi-criteria evaluation approach in semi-arid areas of Ethiopia". *Applied Water Science*, 12(10), 1–16, 2022.
- [12] Waghaye AM, Singh DK, Sarangi A, Sena DR, Sahoo RN, Sarkar SK. "Identification of suitable zones and sites for rainwater harvesting using GIS and multicriteria decision analysis". *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 1–19, 2023.
- [13] Khan D, Raziq A, Young HWV, Sardar T, Liou YA "Identifying Potential Sites for Rainwater Harvesting Structures in Ghazi Tehsil, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, Using Geospatial Approach". *Remote Sensing*, 14(19), 5008, 2022.
- [14] Setiawan O, Nandini R. "Identification of suitable sites for rainwater harvesting using GIS-based multi-criteria approach in Nusa Penida Island, Bali Province, Indonesia". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1039(1), 012010, 2022.
- [15] Farooq S, Mahmood K, Faizi F. "Comparative Simulation of GIS-Based Rainwater Management Solutions". *Water Resources Management*, 36(9), 3049–3065, 2022.
- [16] Ammar A, Riksen M, Ouessar M, Ritsema C. "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, 2016.
- [17] Tumbo S, Mbilinyi B, Mahoo H, Mkilamwinyi F. "Identification of Suitable Indices for Identification of Potential Sites for Rainwater Harvesting". *Tanzania Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), 2016.
- [18] Singh LK, Jha MK, Chowdary VM. "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, 2017.
- [19] Agarwal R, Garg, PK, Garg, RD. "Remote Sensing and GIS Based Approach for Identification of Artificial Recharge Sites". *Water Resources Management*, 27(7), 2671-2689, 2013.
- [20] Kumar T, Jhariya DC. "Identification of rainwater harvesting sites using SCS-CN methodology, remote sensing and Geographical Information System techniques". *Geocarto International*, 32(12), 1367-1388, 2016.
- [21] Al-Komaim MDA. Site Suitability Analysis for Different Indigenous Rainwater Harvesting Systems - A Case Study of Sana'a Water Basin. Master's Thesis, Wageningen University and Research, Gelderland, Netherlands, 2018.
- [22] Mahmood K, Qaiser A, Farooq S, Nisa MU. "RS- and GIS-based modeling for optimum site selection in rain water harvesting system: an SCS-CN approach". *Acta Geophysica*, 68(4), 1175-1185, 2020.
- [23] Al-Ghobari H, Dewidar AZ. "Integrating GIS-Based MCDA Techniques and the SCS-CN Method for Identifying Potential Zones for Rainwater Harvesting in a Semi-Arid Area". *Water*, 13(5), 704, 2021.
- [24] Mugo GM, Odera PA. "Site selection for rainwater harvesting structures in Kiambu County-Kenya". *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 155-164, 2019.
- [25] Aghad M, Manaouch M, Sadiki M, Batchi M, Al Karkouri J. "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(Special Issue), 111-127, 2021.
- [26] Ouali L, Hssaisoune M, Kabiri L, Slimani MMH, El Mouquaddam K, Namous, M, Bouchaou L. "Mapping of potential sites for rainwater harvesting structures using GIS and MCDM approaches: case study of the Toudgha watershed, Morocco". *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 7(1), 49-64, 2022.
- [27] Sohail Waqas M, Jehanzeb M, Cheema M, Hussain S, Khalid MU, Khan MS. "Rainwater Harvesting: A Sustainable Water Management Option for Irrigation of Public Parks". *Environmental Sciences Proceedings*, 23(1), 9, 2022.
- [28] Pamuk Mengü G, Akkuzu E. "Küresel Su Krizi ve Su Hasadı Teknikleri". *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 75-85, 2008.
- [29] Örs İ, Safi S, Ünlükara A, Yürekli K. "Su Hasadı Teknikleri, Yapıları ve Etkileri". *Reserach Journal of Agricultural Sciences*, 4(2), 65-71, 2011.
- [30] Ekinci B. Su kaynaklarının verimli kullanılmasına yönelik örnek ülke uygulamaları ve ülkemizde bu çalışmaların uygulanabilirliği. Uzmanlık Tezi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2015.
- [31] Yeniçeri M, "Yağmur Sularının Hasadı ve Aktif Olarak Tarımsal Sulamada Kullanılması". *Journal of Disaster and Risk*, 1(2), 126-136, 2018.
- [32] Sevimli A. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetimi Uygulamaları: Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2021.
- [33] Yükselir H, Ağaçsapan B, Çabuk A. "Cbs Tabanlı Çatıların Yağmur Suyu Toplama Kapasitesinin Hesaplanması". *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 1(2), 16-26, 2019.
- [34] Kalıpçı E, Başer V, Genç N. "Coğrafi bilgi sistemi kullanarak yağmur suyu hasadının değerlendirilmesi: Giresun Üniversitesi kampüs örneği". *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 10(1), 49-58, 2021.
- [35] Şener E, Şener Ş, Davraz A. "Groundwater potential mapping by combining fuzzy-analytic hierarchy process and GIS in Beyşehir Lake Basin, Turkey". *Arabian Journal of Geosciences*, 11(8), 1–21, 2018.
- [36] Aykut T. "Determination of groundwater potential zones using Geographical Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP) between Edirne-Kalkansogut (northwestern Turkey)". *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100545, 2021.
- [37] Saral A. Çok Kriterli Karar Verme ve Bilgi Difüzyonu Yöntemleri Yardımıyla, Taşkın Risk Analizi Yazılımının Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [38] Özcan O. "Taşkın tespitinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi: Ayamama Deresi örneği". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 9-27, 2017.
- [39] Özdemir H. "SCS CN Yağış-akış modelinin CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle uygulanması: Havran Çayı Havzası örneği (Balıkesir)". *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(2), 1-12, 2007.
- [40] United States Geological Survey. "USGS EarthExplorer". <https://earthexplorer.usgs.gov/> (10.01.2023).
- [41] Rahimi R. Helmand Bölgesi akarsularının akım karakteristiklerinin havza fizyografik parametreleri ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2021.
- [42] Altıparmak S, Türkoğlu N. "Yakacık Çayı Havzasının (Hatay) Morfometrik Analizi". *The Journal of the Faculty of Languages and History-Geography*, 58(1), 353-374, 2018.

- [43] Horton RE. "Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology". *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370, 1945.
- [44] Dođmaz M. Batı Akdeniz bölgesi akarsularının akım karakteristiklerinin havza fizyografik parametreleri ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2018.
- [45] Esri. "Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover". <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/> (11.01.2023).
- [46] Mishra SK, Singh VP. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [47] Food and Agriculture Organization of the United Nations. "Digital soil map of the World". <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/> (11.01.2023).
- [48] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "Meteorolojik Parametreler". <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Worospace> (5.02.2023).
- [49] Kahinda JM, Lillie ESB, Taigbenu AE, Taute M, Boroto RJ. "Developing suitability maps for rainwater harvesting in South Africa". *Physics and Chemistry of the Earth*, 33(8-13), 788-799, 2008.
- [50] Mesta B, Kargı PG, Tezyapar İ, Ayvaz MT, Gökteş RK, Kentel E, Tezel U. "Yenicegözü Havzası'ndaki yağış-akış ilişkisinin HEC-HMS hidrolojik modeli ile belirlenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(8), 949-955, 2019.
- [51] Van Mullem JA. "Runoff and Peak Discharges Using GreenAmpt Infiltration Model". *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3), 354-370, 1991.
- [52] Saaty TL. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York, USA, McGraw-Hill, 1980.
- [53] Bozdoğan M, Canpolat E. "Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) İle Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası'nın Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi". *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(1), 33-53, 2022.
- [54] Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü. "Ücret ve Tarifeler". <https://www.deski.gov.tr/~/ucret-ve-tarifeler> (5.09.2023).