

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAVZA BAZLI YAĞMUR SUYU HASADI POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ: DENİZLİ SERİNHİSAR İLÇESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR MEHMETHAN ÖZBEN

DENİZLİ, KASIM - 2022

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**HAVZA BAZLI YAĞMUR SUYU HASADI POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ: DENİZLİ SERİNHİSAR İLÇESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR MEHMETHAN ÖZBEN

DENİZLİ, KASIM - 2022

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ONUR MEHMETHAN ÖZBEN

ÖZET

**HAVZA BAZLI YAĞMUR SUYU HASADI POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ: DENİZLİ SERİNHİSAR İLÇESİ ÖRNEĞİ**
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ONUR MEHMETHAN ÖZBEN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MAHMUD GÜNGÖR)

DENİZLİ, KASIM - 2022

Gün geçtikçe nüfusla birlikte artan su talebinin sonucunda su kaynakları hızla azalmaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek için, su kaynakları yönetilmeli ve su kaynaklarıyla ilgili devamlı olarak yeni ve etkili stratejiler geliştirilmelidir. Sulama başta olmak üzere farklı amaçlar için kullanılan içme suyuna alternatif olarak hasat edilen yağmur suyu kullanılabilir.

Tez kapsamında öncelikle yağmur suyu hasadının önemi vurgulanmış ve tarımsal yağmur suyu hasadından bahsedilmiştir. Yapılan çalışmada Serinhisar havzası, uydu görüntüleri ve CBS kullanılarak modellenmiştir. Havzaya etki eden üç meteoroloji istasyonundan alınan günlük yağış verileri, 1982-2021 yılları arası eksik yılları tamamlayacak biçimde Thiessen metodu ve basit doğrusal regresyon analizi uygulanarak işlenmiştir. CBS ve yağış-akış yöntemlerinden biri olan SCS-CN metodu kullanılarak Serinhisar havzasında yapılabilecek potansiyel yağmur suyu hasadı belirlenmiştir. Ek olarak, CBS ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi entegre edilerek havza alanında potansiyel yağmur suyu hasadı bölgeleri belirlenmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda bölgedeki tarım arazilerinin sulama ihtiyacının büyük bir bölümünün çeşitli tekniklerle toplanabilecek yağmur suyu ile karşılanabileceği saptanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER: YAĞMUR SUYU HASADI, YAĞIŞ, AKIŞ,
CBS, SCS-CN, ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME, HAVZA**

ABSTRACT

DETERMINING THE BASIN-BASED RAINWATER HARVESTING POTENTIAL: DENİZLİ SERINHISAR DISTRICT CASE STUDY

MSC THESIS

ONUR MEHMETHAN ÖZBEN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR MAHMUD GÜNGÖR)

DENİZLİ, NOVEMBER 2022

As a result of the increasing demand for water with the population, water resources are rapidly decreasing day by day. For a sustainable future, water resources must be managed and, new and effective strategies related to water resources must be developed continuously. Harvested rain water can be used as an alternative to drinking water used for different purposes, especially for irrigation.

Within the scope of the thesis, the importance of rainwater harvesting was emphasized and agricultural rainwater harvesting was mentioned. In the study, the Serinhisar basin was modeled using satellite images and GIS. Daily precipitation data from three meteorological stations affecting the basin were processed by applying Thiessen method and simple linear regression to complete the missing years between 1982-2021. Potential rainwater harvesting in the Serinhisar basin was determined by using the GIS with SCS-CN method, which is one of the precipitation-flow methods. In addition, by integrating GIS with the Analytical Hierarchy Method, which is one of the multiple-criteria decision making methods, potential rainwater collection areas in the basin were determined.

As a result of the calculations, it has been determined that most of the irrigation needs of the agricultural lands in the region can be met with rain water that can be collected by various techniques.

KEYWORDS: RAINWATER HARVESTING, RAINFALL, RUNOFF, GIS, SCS-CN, MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING, BASIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Literatür Özeti	4
2. TARIMSAL YAĞMUR SUYU HASADI.....	8
2.1 Yağmur Suyu Hasadının Avantajları	9
2.2 Yağmur Suyu Hasadı Teknikleri ve Sistemleri.....	10
2.2.1 Mikro Havza Sistemleri	10
2.2.2 Makro Havza Sistemleri	12
2.2.2.1 Vadi Tabanı Sistemleri.....	12
2.2.2.2 Vadi Dışı Sistemler	13
2.2.3 Taşkın Suyu Hasadı Sistemleri.....	13
2.3 Tarımsal Yağmur Suyu Hasadına Örnekler	14
2.3.1 Ölü Deniz Vadisi Permakültür Projesi (Ürdün).....	15
2.3.2 Marmariç Permakültür Projesi (İzmir)	16
2.3.3 Göl-Su Projesi (Türkiye)	17
3. MATERYAL.....	19
3.1 Çalışma Alanı	19
3.1.1 Serinhisar	20
3.1.2 İklim.....	20
3.1.3 Tarım ve Sulama.....	20
3.1.4 Topografya ve Toprak	22
3.1.5 Havza Çıkış Noktası	23
3.2 CBS Ortamında Elde Edilen Veriler	23
3.2.1 Topografik Veri	24
3.2.2 Eğim.....	26
3.2.3 Drenaj Yoğunluğu.....	27
3.2.4 Arazi Kullanımı	28
3.2.5 Hidrolojik Toprak Grupları (HSG).....	29
3.3 Yağış Verilerinin Elde Edilmesi.....	32
3.3.1 Thiessen Yöntemi	32
3.3.2 Basit Doğrusal Regresyon	34
4. YÖNTEM.....	38
4.1 SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number) Metodu	39
4.1.1 Eğri Numarası (CN).....	41
4.1.2 CBS Yardımı ile Eğri Numarasının (CN) Hesabı.....	42
4.1.3 Önceki Nem İçeriği (AMC) ve Eğri Numarası Değerleri.....	42

4.2	İdeal Yağmur Suyu Hasadı Sahaları Belirlemek için Kullanılan Uygulamalar	44
4.2.1	CBS ve UA	44
4.2.2	Hidrolojik Modelleme ile CBS ve UA	45
4.2.3	HM ve CBS/UA ile Entegre MCA	45
4.2.4	MCA ile Entegre CBS	46
4.3	Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	46
4.3.1	Analitik Hiyerarşi Yöntemi	47
4.3.1.1	İkili Karşılaştırma Matrisi	48
4.3.1.2	Normalleştirilmiş Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlıkların Elde Edilmesi.....	48
4.3.1.3	Tutarlılık Oranının Hesabı	49
4.3.2	Potansiyel YSH Bölgeleri Belirlemek için Kriterler	50
4.3.2.1	Eğim	50
4.3.2.2	Drenaj Yoğunluğu	50
4.3.2.3	Arazi Kullanımı.....	50
4.3.2.4	Akış Potansiyeli	51
5.	HESAPLAMALAR VE BULGULAR.....	52
5.1	Eğri Numarası (CN) Değerlerinin Hesabı	52
5.2	SCS-CN Metodu ile Akış Değerlerinin Hesabı.....	54
5.3	Akış Potansiyeli Haritasının Elde Edilmesi	56
5.4	AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması	57
5.5	Havza Yağmur Suyu Hasadı Potansiyeli.....	58
5.5.1	Potansiyel Yağmur Suyu Hasadı Bölgelerinin Belirlenmesi	58
5.5.2	Hasat Edilebilecek Potansiyel Yağmur Suyu	60
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	61
7.	KAYNAKLAR.....	63
8.	EKLER	69
	EK A CN Haritası Oluşturulurken Kullanılan Kod.....	69
	EK B Havza Yıllık Toplam Yağış ve Akış Değerleri	69
9.	ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Tarımsal Yağmur Suyu Hasadı	9
Şekil 2.2: Bazı Mikro Havza Sistemleri	11
Şekil 2.3: Vadi Tabanı Makro Havza Sistemleri	12
Şekil 2.4: Vadi Dışı Makro Havza Sistemleri	13
Şekil 2.5: Taşkın Suyu Hasadı Sistemi Konsepti	14
Şekil 2.6: Yağmur Hendekleri	15
Şekil 2.7: Marmariç Projesi Alanı	17
Şekil 3.1: Havzanın Konumu.....	19
Şekil 3.2: İlçe Merkezi Sulanan Tarım Arazileri.....	22
Şekil 3.3: Havza Çıkışı Konumu	23
Şekil 3.4: Havza Sayısal Yükseklik Modeli	24
Şekil 3.5: Havza Drenaj Alanı Akarsu Ağı	25
Şekil 3.6: Havza Eğim Haritası	26
Şekil 3.7: Havza Drenaj Yoğunluğu Haritası	27
Şekil 3.8: Havza Arazi Kullanımı Haritası	29
Şekil 3.9: Havza Hidrolojik Toprak Grubu Haritası.....	31
Şekil 3.10: Havza Alanı için Thiessen Yöntemi.....	34
Şekil 3.11: Doğrusal Regresyon Saçılım Grafiği ve En Uygun Doğru	35
Şekil 3.12: Havza Yıllık Toplam Yağışları	36
Şekil 3.13: Havza Aylık Ortalama Yağışları	37
Şekil 4.1: Yöntem Akış Diyagramı	38
Şekil 5.1: Havza Eğri Numarası (CN) Haritası	53
Şekil 5.2: Karşılaştırmalı Yıllık Toplam Yağış-Akış Grafiği.....	55
Şekil 5.3: Havza Akış Potansiyeli Haritası.....	56
Şekil 5.4: Havza Potansiyel Yağmursuyu Hasadı Bölgeleri Haritası.....	59

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Bölge Meteorolojik İstatistikleri	20
Tablo 3.2: 2018 Yılı Bölge Tarımsal Üretimi	21
Tablo 3.3: Toprak-Su Kooperatiflerince İşletilen Sulamalar	21
Tablo 3.4: Havza Alanı Arazi Kullanımı Oranları	28
Tablo 3.5: Hidrolojik Toprak Grupları.....	30
Tablo 3.6: Havza Alanı Hidrolojik Toprak Grubu Oranı.....	32
Tablo 3.7: Meteoroloji İstasyonları Bilgileri	32
Tablo 3.8: Thiessen Yöntemi İstasyon Etki Yüzdeleri	33
Tablo 4.1: Eğri Numaraları	41
Tablo 4.2: Antecedent Nem İçeriği İçin Belirlenen Kategoriler.	43
Tablo 4.3: Saaty'in Tercih Ölçeği	48
Tablo 4.4: Rastgelelik İndeksi Değerleri	49
Tablo 5.1: Havza Alanı Eğri Numaraları (CN) Oranları.....	52
Tablo 5.2: Havza Ortalama Eğri Numarası Değerleri.....	53
Tablo 5.3: SCS-CN Metodu Örnek Excel Hesap Tablosu	54
Tablo 5.4: Kriterler Arası İkili Karşılaştırma Matrisi	57
Tablo 5.5: Normalleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlıklar	57
Tablo 5.6: Matris Tutarlılığını Belirleme Değerleri.....	57
Tablo 5.7: Ayrıntılı Kriter Ağırlıkları ve Alt Kriterler.....	58
Tablo 5.8: Yıllık Ortalama Yağış ve Akış Miktarları	60
Tablo EK B.1: Havza Yıllık Toplam Yağış ve Akış Değerleri	69

KISALTMALAR LİSTESİ

YSH	: Yağmur Suyu Hasadı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
SCS-CN	: Toprak Koruma Kurumu-Eğri Numarası
AHP	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
MCA	: Çok Kriterli Analiz
UA	: Uzaktan Algılama
HM	: Hidrolojik Modelleme
FAO	: Tarım ve Gıda Örgütü
HSG	: Hidrolojik Toprak Grubu
LU/LC	: Arazi Kullanımı/Örtüsü
RI	: Rastgelelik İndeksi
CI	: Tutarlılık İndeksi
CR	: Tutarlılık Oranı
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
CN	: Eğri Numarası
AMC	: Önceki Nem Durumu

SEMBOL LİSTESİ

Q	: Günlük toplam akış (mm)
Q_v	: Akış hacmi (m ³)
P	: Günlük toplam yağış (mm)
F	: Kümülatif sızma (mm)
I_a	: İlk soyutlama (mm)
S	: Potansiyel maksimum sızma (mm)
A	: Havza alanı (km ²)
λ_R	: Bölgesel sabit
λ	: CI hesabında kullanılan bir değer
CN_w	: Ağırlıklı eğri numarası değeri
CN_I	: Kuru şartlardaki eğri numarası değeri
CN_{II}	: Normal şartlardaki eğri numarası değeri
CN_{III}	: Islak şartlardaki eğri numarası değeri
D_d	: Drenaj yoğunluğu (m/m ²)
L	: Akarsu uzunluğu
P_{ort}	: Ortalama yağış yüksekliği (mm)
P_i	: İstasyon yağış yüksekliği (mm)
A_i	: İstasyon etkili yağış alanı (km ²)
r	: Korelasyon katsayısı

ÖNSÖZ

Bu tezin gerçekleştirilmesinde fikirleri ve tecrübeleri ile bana yol göstererek rehberlik yapan danışman hocam Prof. Dr. Mahmud GÜNGÖR'e, tezim için olumlu yorumlarda ve önerilerde bulunan tez sınav jüri üyeleri Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV ve Prof. Dr. Mustafa Tamer AYVAZ'a, sorularımı cevaplandıran ve bana vakit ayıran Prof. Dr. Abdullah Cem KOÇ ve Prof. Dr. Gürhan GÜRARSLAN'ın yanı sıra yetişmemde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez kapsamında kullanılan verilerin elde edilmesinde bana yardımcı olan Meteoroloji Genel Müdürlüğüne, DSİ 21. Bölge Müdürlüğü'ne, DSİ Denizli Şube Müdürü Kemal ÖZSOY'a ve DSİ bünyesinde çalışan İnşaat Mühendisi Ethem ERENLER'e yardımlarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Benim için hayatı daha iyi bir hale getiren ve daima yanımda olan yakın arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her anımda yanımda olan, bana güvenen ve başarabildiğim her şeyin arkasında olan sevgili annem Nilgün GER'e, yetişmemde maddi ve manevi büyük emekleri olan canım ablam Melisa URYAN'a, babam Seyfi ÖZBEN'e, eniştem Yılmaz URYAN'a ve yakınlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmamı, yetişmemde büyük emeği geçen yakın zamanda kaybettiğim rahmetli anneannem Gülşen GER'e ithaf ederim.

1. GİRİŞ

Su, gıda üretimi, ev içi, içme, enerji üretimi, endüstriyel ve eğlence amaçlı kullanım dahil olmak üzere gezegendeki tüm yaşam formları için en değerli hayati kaynaktır (Al-Komaim, 2018). Dünyadaki suların yalnızca %2,5'i tatlı sulardan oluşmaktadır. Bu suların ise %70'i buzullardan oluşmakla birlikte kullanılabilir tatlı su hacmi dünyadaki su hacminin %1'inden az bir dilime karşı gelmektedir. 2014 yılında Dünya Ekonomik Forumu için hazırlanmış Risk Raporu'nda su kıtlığı, dünyadaki en önemli üç riskten biri olarak yer almıştır. Önümüzdeki 40 yıllık dönemde %40 artması beklenen dünya nüfusu ile birlikte suya olan talebinde artması kaçınılmazdır. Son yüzyılda üç kat artan dünya nüfusuna karşın yedi katlık bir artış yaşayan su kaynakları talebi vardır. Bu sebeple mevcut su talebi nüfus artış oranına göre çok daha fazla olmaktadır (Eren ve diğ., 2016).

Dünya'da kurak ve yarı kurak bölgeler içerisindeki kırsal kesimlerde bulunan büyük ziraat alanları ve yapılan hatalı su kullanımı, bölgede azalan tatlı su miktarının en büyük etmenleridir. Bir bölgenin su rejimini, o bölgedeki yer altı suları ve göller düzenler. Tarımsal sulama için açılan izinsiz pompaj kuyuları, göllerden su çekilmesine neden olur ve yer altı su seviyelerini giderek azaltır. Yüzey sularının yenilenmesin engelleyen bu işlemler geri dönüşü olmayan sonuçlara yol açar. Ayrıca tarım alanı elde etme amaçlı yapılan hatalı mera yönetimi, ekosisteme zarar vererek biyoçeşitlilik ve ekosistemin devamlılığı açısından ciddi kayıplara neden olur. (Yeniçeri, 2018).

Sürdürülebilir bir gelecek için, su kaynaklarını yönetmek ve su kaynaklarıyla ilgili devamlı olarak yeni ve etkili stratejiler geliştirilmelidir. Bu sebeple günümüzde ek ve alternatif kaynak arayışlarına devam edilmekle beraber bu alternatif su kaynakları ile ilgili teknolojilerin kullanımı giderek artmaktadır. Bu alanda yağmur suyu hasadının önemli bir yeri vardır.

Yalnızca %30'u yer altı sularına katılan yağmur sularının geri kalanından da faydalanılmaması ve suyun canlılar açısından büyük değer taşıdığı göz önünde bulundurulduğunda, yağmur sularının değerlendirilmesinin öneminin çok büyük

olduğu çarpıcı bir gerçektir. Tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'i tarımda kullanılmaktadır (Eren ve diğ., 2016). Tarımda olduğu gibi bazı amaçlar için kullanılan içme suyunu, hasat edilen yağmur suyu ile karşılamak içme suyunun üstündeki baskıyı azaltacaktır (İbrahim ve diğ., 2019). Yağmur suyu hasadı, mevcut su tedarik sisteminin talebi karşılamak için yetersiz olduğu alanlarda yüzey ve yeraltı kıt su kaynaklarını tamamlamanın umut verici yollarından biridir (Aladenola ve Adeboye, 2009).

Günümüzde, gelişen bilişim teknolojileriyle birlikte su yönetimi ve benzeri alanlarda bu yeniliklerden yaygın olarak faydalanılmaktadır. Coğrafı Bilgi Sistemleri (CBS) bu alanda nc teknoloji olmakla birlikte 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 birlikte entegre edilebilmektedir. CBS teknikleri, yağmur suyu hasadı için uygun bir yer belirlemeye büyük katkı sağlamakla birlikte uzaktan algılamanın CBS ile uyarlanması bir bölgenin hidrolojik potansiyele ilişkin temel verilerini bulmayı kolaylaştırmaktadır. Dünya genelinde birçok araştırmacı bu teknolojileri kullanarak, uydu verileri ve diğer tamamlayıcı veriler ile türetilen görüntülerle su toplama yapıları için potansiyel alanlar belirlemiştir ve bazıları da bu yapıları hayata geçirmiştir.

Yağmur suyu hasadı için havza bazlı çalışmalar dünyada oldukça yaygın olmasına karşın lkemizde, bazı küçük ölçekte kentsel projeler (kampüs örnekleri vb.) ve su hasadının tanıtımı ile ilgili çalışmalar haricinde havza ölçeğinde oldukça az çalışma bulunmaktadır. Havza leğinde yapılan bu çalışmada, yerli literatür içinde yağmur suyu hasadına farklı bir yerden yaklaşılmaya çaba gösterilmiştir. Yer seçimi çalışmaları için kullanımı yaygın olan çok kriterli karar verme yöntemleri bu çalışmada yağmur suyu hasadı özeline kullanılmıştır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Denizli'nin bir ilçesi olan Serinhisar, bilindiği üzere 2017 yılında şehir merkezinin batı tarafında kalan dağlık alandan şiddetli bir taşkına maruz kalmıştır. Her yıl taşkın yaşanmakla birlikte iki yılda bir etkili taşkınlar gözlenen ve kapasite

yetersizliği sonucu devamlı zarar gören bölgeye, DSİ tarafından yürütölen proje bünyesinde inşa edilen yapılar ile taşkın önlemleri alınmıştır. Bu yapılardan olan taşkın kanalları bölgeye gelen yağmur sularını tarım arazilerinin bulunduğu bölgedeki ana kanala iletmektedir.

Bölgenin içme suyu konusunda sıkıntı çektiği, sondaj kuyuları haricinde belirli bir su kaynağına sahip olmaması ve kapalı havza karakteristiklerini taşıdığı göz önünde bulundurulduğunda, havza genelinden toplanabilecek yağmur suyu tarım amaçlı kullanılabilir ve içme suyunun yükü azaltılabilecektir. Bu yağmur sularını toplamaya, inşa edilen taşkın kanallarının da faydası olacaktır. Bu etmenler, çalışmanın bu bölgede yapılmasının nedenleri olarak kabul edilebilir.

Bu çalışmanın asıl amacı yağmur suyu hasadının önemini vurgulamaktır. Yakın gelecekte su sıkıntısı çekmesi beklenen ölkemizde, içme suyu kullanımına tarım sektörünün öncülük etmesi ve geleneksel yöntemlerle sulamaya devam edildiği düşünöldüğünde, alternatif olarak kullanılabilir yağmur suyu bu denli önemli olan içme suyunun üstündeki baskıyı azaltacaktır. Çalışmanın amacı Denizli'nin Serinhisar ilçesi havzasının yağmur suyu hasadı potansiyelini belirlemektir. Ölkemizde bu tür çalışmaların yaygınlaşması, su kurumları ve belediyelerin bu çalışmaları gündemlerine getirip bu konuyla ilgili projeler ortaya çıkarmalarını sağlayabilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple çalışmanın amaçlarından birisi de ölkemizde bu konuda az sayıda olan önceki çalışmalarla birlikte, yapılacak sonraki çalışmalara örnek olmaktır.

Tez kapsamında öncelikle tarımsal yağmur suyu hasadından bahsedilmiştir. Serinhisar havzası, uydu görüntüleri ve CBS yardımı ile modellenmiştir. Havzaya etki eden üç meteoroloji istasyonundan alınan günlük toplam yağış verileri, 1982-2021 yılları arası eksik yılları tamamlayacak şekilde Thiessen metodu uygulanmış ve basit doğrusal regresyon analizi ile elde edilen regresyon denkleminde faydalanılarak işlenmiştir. Yağış-akış yöntemlerinden biri olan SCS-CN metodu, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile CBS birbirine entegre edilerek, Serinhisar havzasında yapılabilecek potansiyel yağmur suyu hasadıyla birlikte potansiyel yağmur suyu hasadı bölgeleri belirlenmiştir. CBS ile havza modellemesinde ArcGIS programı kullanılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Havza ölçeğinde yağmur suyu hasadı çalışmalarının, uygun bölge seçimi başlığı altında literatürde birçok örneği mevcuttur. CBS ve Çok Kriterli Karar Verme teknikleri kullanılarak yapılan bu çalışmalarda ortak amaç potansiyel bölgeler belirlemek olmuştur. Tarımsal su hasadı teknikleri ise birkaç çalışma ile yerli literatürde kendine yer edinmiştir.

Kahinda ve diğ. (2008) Güney Afrika'nın tamamını kapsayan bir çalışmayla, su yöneticilerinin herhangi bir bölge için yağmur suyu hasadı uygunluğunu değerlendirmelerini sağlayan bir metodoloji sunmuşlardır. Fiziksel, ekolojik ve sosyoekonomik faktörler olmak üzere geniş kapsamlı kriterlerin kombinasyonuna dayalı saha içi YSH ve saha dışı YSH uygunluk haritaları geliştirmişlerdir. CBS yazılımı ArcView 3.3'ün uzantısı olan Model Builder ile bu kriterlerin oluşturduğu haritaları içeren uygunluk modelini oluşturmuşlardır.

Aladenola ve Adeboye (2009) çalışmalarında, Nijerya'nın Abeokuta şehrinin 26 yıllık yağış verilerinden faydalanarak yağmur suyu hasadı potansiyelini tahmin etmişlerdir. Yıllık toplam yağışları ve aylık yağışları, yıllık ve aylık değişimleri elde etmek için analiz eden araştırmacılar uygulanabilirliğe göre tank boyutları tasarlamış ve önermişlerdir. Kurak mevsimlerde yaşanacak su kıtlığı sorununun, yağış mevsimlerde bol yağmur suyu kullanımı ile çözüleceğini belirtmişlerdir. İçme suyu kalitesi gerektirmeyen araba yıkama, temizleme ve benzeri kullanımları karşılayacak yağmur suyunun iyi bir şekilde kullanımında dünyanın birçok yerinde önemli içme suyu tasarruflarını teşvik edeceğine değinmişlerdir.

Saral (2010) çalışmasında İstanbul'da bulunan Aymama deresi üzerinde taşkın risk analizini, Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bilgi Difüzyonu yöntemlerini kullanarak gerçekleştirecek bir yazılım tasarlamıştır. Taşkın analizini yaparken eğim, arazi kullanımı, jeoloji, bakı ve yükseklik olmak üzere beş kriteri göz önünde bulundurmıştır. Uydu görüntüsü verileri ile CBS kullanarak havza sayısal yükseklik modelini çıkarıp kriterleri buradan elde etmiştir. Bu kriterleri taşkın risk analizini yapan yazılıma girdi olarak kullanılmıştır. Ayrıca SCS-CN metodu kullanarak 1975-2009 yılları günlük yağış verilerinden günlük akım verilerini hesaplayarak yazılımın

bir diğerk girdisini elde etmiştir. Taşkın risk analizini yapan yazılımın çıktısı olarak taşkın risk haritasını elde etmiştir.

Örs ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada, su hasadı tekniklerinin tarihinden bahsederek farklı su hasadı teknikleri, eski ve yeni su hasadı yapılarının işleyiş biçimleri hakkında bilgi vermişlerdir. Tarımsal yağmur suyu hasadını anlatırken makrohavza, mikrohavza ve taşkın hasadı yöntemlerine örnekler açıklayarak örnekler vermişlerdir. Ülkemizdeki yarı kurak alanlarda yapılacak araştırmalar ile su hasadı tekniklerinden en uygunlarının ve ihtiyaç duyulanlarının belirlenmesinin faydalı sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir.

Agarwal ve diğ. (2013) Hindistan'da yer alan Loni havzasında yaptıkları çalışmada, yeraltı suyu akiferlerinin yapay olarak yeniden doldurulabilmesi için uygun alanların belirlenmesinde UA ve CBS tekniklerinin yeteneklerini göstermeyi amaçlamışlardır. Su koruma önlemlerinin alınması için beslenme alanlarını SCS-CN modeli, yeraltı suyu derinliği verileri ve morfolojik parametreleri (çatallanma oranı, uzama oranı, drenaj yoğunluğu, sağlamlık sayısı, kabartma oranı ve dolaşım oranı) kullanmışlardır. Kontrol barajı, süzülme havuzu ve nala bendi gibi akış depolama yapılarını inşa etmek için uygun sahaları, akış potansiyeli, eğim, yeraltı suyu dalgalanma verileri ve havzanın morfometrik bilgileri gibi mekânsal olarak değişen parametrelerini dikkate alarak belirlemişlerdir.

Ekinci (2015) hazırladığı uzmanlık tezi kapsamında Türkiye'deki kullanılabilir mevcut suyun, daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesi için dünyada bu konuda yapılan çalışmaları araştırmış ve Türkiye için bu gibi çalışmaların uygulanabilirliği açısından önerilerde bulunmuştur. Tarımsal su verimliliği konusunda su fiyatlarının verimliliğe etkisi, yeni nesil sulama metotları, tarımsal su hasadı teknikleri, arıtılmış kirli suların ve sulamada kullanılmış suların tekrar kullanılması konularında araştırma yapmıştır. Kentlerde yapılan yağmur suyu yöntemleriyle birlikte bu yöntemlere örnek vermiş ve Türkiye'deki mevcut kentsel durumu değerlendirmiştir.

Ammar ve diğ. (2016) çalışmalarında, son 30 yılda yağmur suyu hasadına uygun sahaları ve kullanılan teknikleri belirlemek için yapılan çalışmalardan faydalanarak, kurak ve yarı kurak bölgelerde uygun YSH bölgelerinin seçilmesini

sağlayan bir metot geliştirdiler. Ana yöntem ve kriterleri bir envanterde birleştirerek dört ana yer seçimi metodolojisini kategorize edip karşılaştıran araştırmacılar, 48 farklı çalışmadan yararlanmışlardır. En önemli kriterlerin eğim, arazi kullanımı, toprak tipi, yağış miktarı, yerleşim yerlerine/akarsulara uzaklık ve maliyet, en etkili yöntemin ise Çok Kriterli Analiz ve CBS entegrasyonu olduğu sonucuna varmışlardır.

Kumar ve Jhariya (2016) yeraltı suyu akiferlerinin yapay beslenmesi için uygun alanların sınırlandırılmasını sağlayan su koruma tekniklerinin kullanılabileceği potansiyel alanların belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Saha uygunluğunu eğim, sızma, akış potansiyeli, arazi kullanımı, akarsu düzeni, toprak dokusu, hidrolojik toprak grubu, arazi kabiliyeti ve mikro havza alanı gibi parametreler ile ilişkilendirmiş, su kaynağının artırılması için kontrol barajı, süzülme havuzu, çiftlik havuzu ve oyuntu kontrol barajı gibi yağmur suyu toplama yapılarının inşasını önermişlerdir. Hindistan'da bulunan Bindra havzasında yapılan bu çalışmada araştırmacılar, su kaynaklarının geliştirilmesinde CBS, UA ve SCS-CN Hidrolojik Modellemesinin entegre yaklaşımını en iyi şekilde örneklediğini göstermişlerdir.

Tumbo ve diğ. (2016) su hasadı teknolojileri için potansiyel alanların bulunmasına yönelik CBS tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Yağış, eğim, toprak dokusu, toprak derinliği, drenaj ve arazi kullanımı parametrelerinin ndiva, boda, taş ve seki teras teknolojileri ile ilişkili olduklarını tespit etmişlerdir. Tanzania'da bulunan Makanya nehir havzasındaki mevcut YSH teknolojilerinin analizleri ile belirli uygunluk seviyeleri türetmişlerdir. Bölgedeki çiftçi destek kurumlarının, YSH teknolojilerinin konumlarını yönlendirmek için kullanabilecekleri tablolar geliştirmişlerdir.

Al-Komaim (2018) tez çalışmasında yağmursuyu toplama sistemlerinin su kıtlığı ile başa çıkmak için öne çıkan bir çözüm olduğuna değinmiştir. CBS, Uzaktan Algılama ve Çok Kriterli Analiz tekniklerini kullanarak Yemen Cumhuriyetinde bulunan Sana'a havzasında, farklı yağmur suyu hasadı sistemleri için optimum sahaları belirlemiştir. Kriter olarak yağış, toprak türü, eğim, drenaj yoğunluğu ve arazi kullanımının yanı sıra sosyoekonomik faktörleri de göz önünde

bulundurmıştır. Teraslar, kontrol barajları, çiftlik göletleri ve sel sulaması sistemlerinin ayrı ayrı uygunluk haritalarını çıkarmışlardır.

Ibrahim ve diğ. (2019) Irak'ın Doruk şehrindeki araştırmalarında barajların inşası için uygun sahaları belirlemek ve seçmek amacıyla CBS tabanlı bir model türetmişlerdir. Modelde, alanın yağmur suyu toplamaya uygunluğunu belirlemek için eğim, akış potansiyeli, arazi kullanımı, akış düzeni, toprak kalitesi ve hidroloji gibi çeşitli parametreleri birleştirmişlerdir. Kriterleri AHP ile ağırlıklandıran araştırmacılar, 2000-2017 yılları yağış ortalama ölçümlerini kullanarak, SCS-CN metodu ile akış potansiyelini elde etmişlerdir. Yağmur suyunu koruma amacıyla yapılacak dokuz barajın inşasının yerlerini belirlemişlerdir.

Mahmood ve diğ. (2020) Pakistan'ın Kohat şehrinde yaptıkları çalışmalarında optimum yer seçimi için entegre bir yaklaşım benimsemişlerdir. Önem sırasıyla akış potansiyeli, eğim, drenaj yoğunluğu ve arazi kullanımı gibi parametreleri kullanmışlardır. Akış potansiyelini SCS-CN metodu ile yağış verilerini kullanarak etmiş ve uydu görüntülerinden faydalanarak elde ettikleri diğer parametrelerle birlikte CBS ortamında modelleyerek YSH potansiyeli haritasını oluşturmuşlardır. Oluşturdukları haritada akış çizgilerindeki birikim noktalarını su depolama yerleri olarak kabul etmişlerdir ve su hasadı yapılarına uygun yerler belirlemişlerdir.

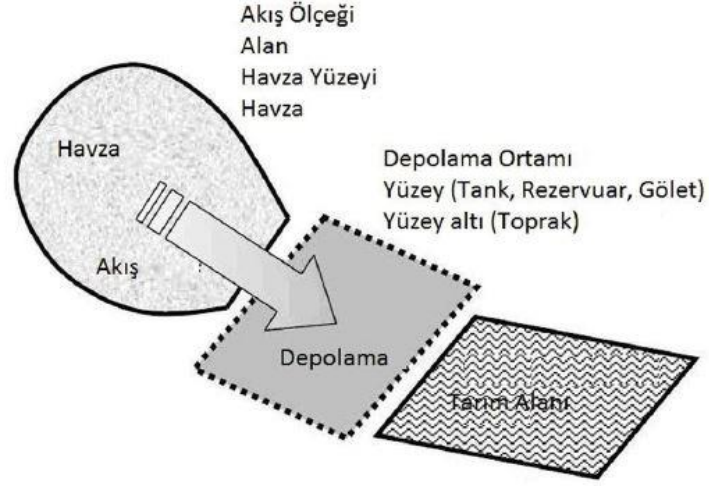
Al-Ghobari ve Dewidar (2021) artan su kıtlığının yanı sıra hızlı küresel iklim değişikliğinin, daha etkili su koruma alternatifleri gerektirdiğini ve yağmur suyu hasadının umut verici bir alternatif olduğunu vurgulamışlardır. Suudi Arabistan'ın Batı bölgesinde bulunan Wadi Nu'man havzasında yaptıkları çalışmada, CBS ve Çok Kriterli Karar Verme tekniklerini birlikte kullanarak YSH yapıları için YSH potansiyel alanlarını ve sahalarını belirlemişlerdir. Kriter olarak eğim, drenaj yoğunluğu, akış ve arazi kullanımını dikkate alan araştırmacılar, 1970-2020 yılları yağış verilerini, kullanarak SCS-CN yağış-akış metoduyla akış verilerini elde etmişlerdir.

2. TARIMSAL YAĞMUR SUYU HASADI

Yağmur suyu hasadı, toplanan yağmur suyunun yeryüzünde veya yer altı ile toprak ya da çeşitli kullanımlar için depolarda biriktirilmesi işlemidir. Yağmur suyu hasadı, konutlarda ve tarımsal sulamada kullanılan ve devamlılığı olmayan yer altı suyu yani içme suyu kullanımı yerine yeryüzüne yağış olarak düşüp yüzeyde akışa geçecek suyun biriktirilip kullanılması odaklı işleyen ve bu amaçla geliştirilen tekniklerin bütünüdür. Dünya üzerindeki kurak ve yarı kurak alanlarda yağmur sularının hasadı sonucu toplanan su, bu bölgelerde su kullanım oranını ve verimin artmasını sağlayacaktır (Yeniçeri, 2018).

Eski bir yöntem olan yağmur suyu hasadı günümüzde hala geçerliliğini korumakla birlikte yağmur suyunu toplamak için kullanılmaktadır. Güneydoğu Asya, Afrika ve Orta Asya'daki birçok ülke, çiftçilik için yağmur suyunu toplamak, depolamak ve tüketmek için teknikler tasarlamak ve geliştirmeye çaba göstermiştir. İnsanlar için değerlendirme, yönetim ve planlama süreci özellikle yağmur suyunun yetersiz olduğu ve yeraltı suyu kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde yağmur suyu hasadını önemli bir konu haline getirmektedir (İbrahim ve diğ., 2019).

Tarımsal üretim amaçlı su hasadı, bir havzadan daha küçük bir alan içinde veya bitkilerin kök bölgelerinde suyun biriktirilmesidir. Bu yöntem için tam olarak gelişmemiş sulama olarak da bahsedilebilir. Sulamadan farklı olarak su hasadında çiftçilerin zamanlama üzerine kontrolleri yoktur, su hasadı bu özelliği sulamadan ayrılır. Yalnızca yağış olduğu takdirde akış oluşur ve hasat edilebilir. Bitkilerin bütününe yağışlar vasıtasıyla beslendiği bazı bölgelerde yıllık yağışların yarı yarıya azalması, toplam üründe büyük düşümlere neden olabilir. Eğer yağış daha küçük bir alanda biriktirebilirse makul bir verim alınması söz konusu olabilir. Bu tür uygulamalar toplanan suyu, yüzey akış alanının yanında bulunan ekim alanında sulama amaçlı kullanmak veya herhangi bir zamanda kullanmak için depolamayı amaçlar (Şekil 2.1) (Örs ve diğ., 2011; Pamuk Mengü ve Akkuzu, 2008).



Şekil 2.1: Tarımsal Yağmur Suyu Hasadı (Örs ve diğ., 2011)

2.1 Yağmur Suyu Hasadının Avantajları

Su hasadı; kolay, tekrarlanabilir, pahalı olmayan, tesirli ve uyumlu olması gibi özellikleriyle birçok yönden avantajlıdır. Bunlar ile birlikte pek çok sosyal ve ekonomik faydalarının yanı sıra yeraltı suyuna olan ihtiyacı azaltması ve su tüketim giderlerini düşürmesi gibi etkileri de su hasadının avantajlarındandır. Yüksek geçirgenliği olan bölgelerde fazla miktarlarda saklanacak olan suyun bir kısmı da yeraltı suyunu besleyecektir (Yeniçeri, 2018).

Yağmur suyu hasadı sistemlerinin avantajları arasında içme suyu tasarrufu, kentsel havzalarda su baskınlarının azaltılması ve su yolu ile besin yüklerinin azaltılması yer alır. Ayrıca, yağmur suyu hasadı sistemlerinin diğer su tedarik sistemlerine kıyasla, daha düşük karbon ayak izi ve kaynaktan tüketiciye daha az pompalama gerektiğinden enerji kullanımı verimliliği gibi avantajları vardır. Evsel su temininde aynı anda su kıtlığı sorununu ele alma ve su kaynaklarına bağımlılığı azaltma potansiyeline sahiptir (Lani ve diğ., 2018).

Yağmur suyu hasadı, yan uygulamaları olan yer örtüsünün ve toprak organik içeriğinin artırılması ile yer altı suyunun beslenmesi, toprağın iyileştirilmesi, su kıtlığı nedeniyle kısıtlanan tarımsal üretim ve verimliliğinin artırılması, göletler içinde balık ve uygun bitki üretimi, su kuşlarına habitat oluşturma gibi ekolojik açıdan faydalar sağlamaktadır. Erozyonu ve çöktirmeyi azaltmada, suyun toprakta

depolanmasında ve toprak verimliliğinin artırılması gayesiyle su hasadı teknikleri yüzyıllarca uygulanmış olup hala uygulanmaktadır (Yeniçeri, 2018).

Su hasadı; kuraklık anında su sağlar, düşük kotlarda yer alan bölgelerde oluşabilecek seli hafifletmeye yardımcı olabilir ve kuyular gibi tatlı su kaynaklarına olan talebi azaltarak yeraltı suyu seviyesinin düşmesini önleyebilir. Kıyı kesimlerde, yeraltı suyuna şarj edildiği takdirde, tuzluluk oranını düşürerek su kalitesini artırır. Yağmur suyu tuzdan arınmış olduğu için, içme suyu temininde de yardımcı rol oynar. Su teminine sağladığı katkının yanında atık su alt sistemlerine ve temiz su ihtiyacı olan su dağıtım sistemlerine de katkıda bulunur ve su maliyetlerini düşürür. Sulama suyu olarak kullanılan içme suyunun yerine kullanılarak tarıma da önemli katkıda bulunur (Behzadian ve Kapelan, 2015; Güzel ve Benli, 2020).

2.2 Yağmur Suyu Hasadı Teknikleri ve Sistemleri

Tarımsal yağmur suyu hasadı eski bir gelenek olduğu ve dünyanın çoğu kurak bölgesinde binlerce yıldır kullanıldığı için birçok farklı teknik geliştirilmiştir. Bunların çoğu sulama amaçlıdır, diğerleri ise insan ve hayvan tüketimi amacıyla suyu korumak içindir. Aynı tekniklerin bazen farklı bölgelerde farklı isimleri vardır ve diğerlerinin isimleri benzerdir, ancak pratikte tamamen farklıdır. Su hasadı yöntemleri, çoğunlukla kullanım veya depolama türüne göre çeşitli şekillerde sınıflandırılır, ancak en yaygın olarak kullanılan sınıflandırma, havza büyüklüğüne dayanmaktadır (Oweis ve diğ., 2001).

2.2.1 Mikro Havza Sistemleri

Yüzey akışının küçük bir toplama alanından toplandığı, çoğunlukla kısa bir mesafe boyunca tabaka akışı olan sistemlerdir. Yüzey akış ve ekim alanının boyutları 1-1000 m² aralığında değişmektedir. Birbirine bitişik olan ekim ve yüzey akış alanları, suyun bitki kök bölgesinde depolanmasını sağlar. Bu sistemler; ağaç, çalı ve tek yıllık bitkilerin yetiştirilmesinde kullanılabilir, fazla su için herhangi bir önlem alınmaz. Ekim alanının yüzey akış alanına oranı 1:1 ila 1:10 arasında değişen bu tekniklerde, mikro havzalar sıralar halinde oluşur (Ekinci, 2015; Örs ve diğ., 2011).

Mikro havza sistemleri, makro havza sistemlerine nazaran daha yüksek yüzey akış verimi sağlar ve çoğunlukla su taşıma sistemi ihtiyacı da gerektirmezler. Toprak erozyonunun kontrol edilmesini ve ekili alan içinde sedimentlerin birikmesini sağlarlar. Her türde eğime sahip ekili alana uygun mikro havza tekniği bulunmaktadır. Bununla birlikte, devamlı bakım ve yüksek iş gücü gerektiren sistemlerdir. Genellikle çiftlik sistemleri olarak kullanılmakla birlikte alanlarını planlamak oldukça kolaydır. Oldukça düşük maliyetle inşa edilebilmeleri, adaptasyonlarını ve uygulanabilirliklerini kolaylaştırır. Farklı mikro havza sistemleri aşağıda verilmiştir (Ekinci, 2015; Örs ve diğ., 2011).

- Eşyükselti Sırtları
- Yarı Dairesel veya Yamuk Seddeler
- Kaş Şekilli Teraslar
- Küçük Çukurlar
- Negarim Mikro Havzalar
- Yüzey Akış Şeritleri
- Sıra Arası Sistemleri
- Meskat Sistemler
- Vallerani Mikro Havzaları
- Eş Yükselteli Teraslar
- Yamaç Mikro Havzalar



Şekil 2.2: Bazı Mikro Havza Sistemleri (Ekinci, 2015; Örs ve diğ., 2011)

2.2.2 Makro Havza Sistemleri

Makro havza su hasadı sistemlerinde de benzer olarak toprak üstündeki yüzey akışı toplanır. Bu teknikte, ekim alanındaki yüzey akış katsayısını arttıracak işlemler yapılabilmektedir. Toplanan su genellikle toprakta biriktirilir ve fazlalık sular uzaklaştırılır. Havzanın eğimi %5-50 aralığında değişir. Ekimin yapılacağı alan, düz veya teraslar halindeki bir arazi olabilir (Pamuk Mengü ve Akkuzu, 2008).

2.2.2.1 Vadi Tabanı Sistemleri

Bu sistemlerde vadi yatağı, su akışını engelleyerek yüzeyde depolaması veya su akışını yavaşlatarak suyun toprağa sızması ve toprak profilinde suyun depolanması için kullanılır. Vadi yataklı sistemlerin bozkır bölgeler için en uygun olduğu kabul edilmiştir. Vadi yataklı sistemler aşağıda verilmiştir (Oweis ve diğ., 2001).

- Küçük Çiftlik Göletleri
- Süzülme Göletleri
- Kontrol Barajları
- Vadi Tabanı Tarımı
- Jessour Sistemi

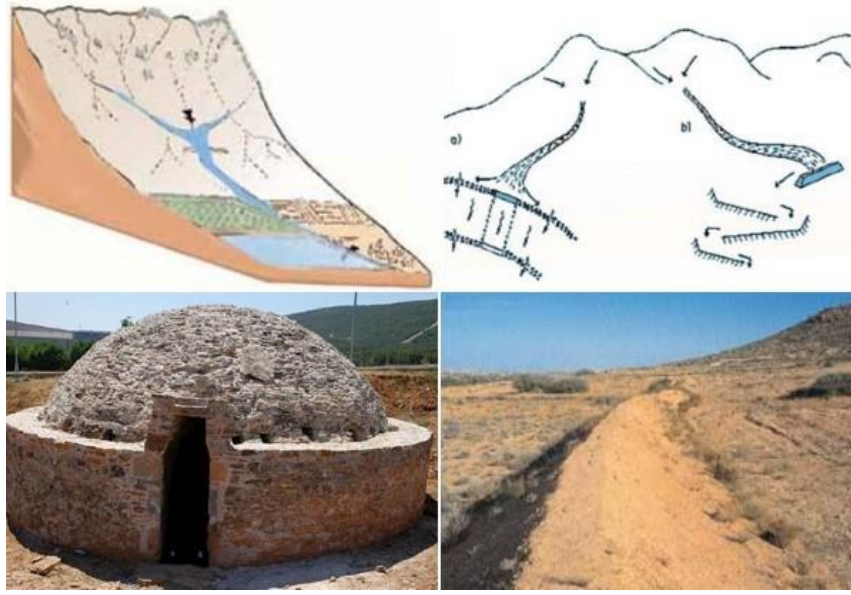


Şekil 2.3: Vadi Tabanı Makro Havza Sistemleri (Oweis ve diğ., 2001; Örs ve diğ., 2011; Abbasi ve diğ., 2019)

2.2.2.2 Vadi Dışı Sistemler

Bu sistemlerde yağmur suyu hasat edildikten sonra, vadi yatağının dışına uygulanır. Vadideki suyun doğal seyrini terk etmeye zorlayan yapılar, suyun yakınlardaki tarıma uygun alanlara akması için kullanılır. Benzer yapılar, vadi yatağının dışındaki su toplama havzalarından yağmur suyunu toplama amacıyla da kullanılır. Vadi dışı sistemler aşağıda verilmiştir (Oweis ve diğ., 2001).

- Su Dağıtım Sistemleri
- Büyük Bentler
- Havuzlar (Su Tankları)
- Sarnıçlar
- Yamaç Akış Sistemleri

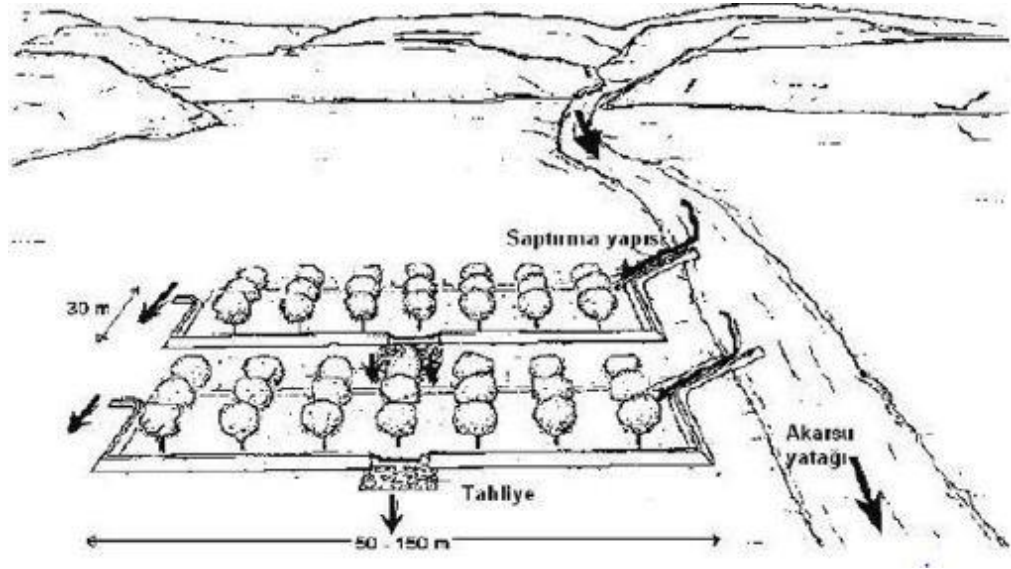


Şekil 2.4: Vadi Dışı Makro Havza Sistemleri (Oweis ve diğ., 2001; Tanık, 2017)

2.2.3 Taşkın Suyu Hasadı Sistemleri

Taşkın suyu, dünyadaki birçok bölgede ağaçlandırma için kullanılmaktadır. Büyük bir vadiye (geçici akarsu yatağı) yüzey akışının olduğu devasa alanları kapsayan, daha karmaşık baraj yapıları ve dağıtım şebekeleri gibi sistemleri gerektiren taşkın hasadı tekniğinde, söz konusu mevsimlik düzensiz akarsu akımının toplanmasıdır. Dağıtım sistemi ve su bentlerinin oluşturulması karmaşıktır. Bu

teknikte, fazlalık sular uzaklaştırılır ve yağmur suyu; havuz, rezervuar ya da toprakta depolanır. Bu sistemler, ani taşkınların yol açtığı zararı azaltmakla kalmayıp yeraltı suyunun beslenmesini ve bitkisel üretim için gerekli toprak nemini de sağlar. Yıllık yağış miktarının 300 mm'den fazla olduğu bölgelerde uygulanır, ancak depolama sözü konusu olduğunda 150 mm/yıl veya daha fazla yağış gerekir (Örs ve diğ., 2011; Pamuk Mengü ve Akkuzu, 2008).



Şekil 2.5: Taşkın Suyu Hasadı Sistemi Konsepti (Örs ve diğ., 2011)

2.3 Tarımsal Yağmur Suyu Hasadına Örnekler

Dünyanın birçok yerinde kullanılan yağmur suyu hasadı teknikleri, WANA'nın (Orta Doğu, Kuzey Afrika ve çevresinde bulunan ülkeler grubu) birçok kuru bölgesinde oldukça yaygındır.

Tarımsal sulama nedeniyle yeraltı su seviyelerinde azalma görüldüğü, Çin'de yapılan yağmur suyu hasadı ile içme suyu kullanımında azalma olduğu bildirilmiştir. Kuraklığın etkili biçimde yaşandığı yerlerden olan Mısır'ın El-Beheira şehrinde yapılan yağmur suyu hasadı ile su varlığı ve arazi verimliliğinde görülür derecede artış sağlanmıştır (Yeniçeri, 2018). Yağmur suyu hasadı tekniklerinin kullanıldığı, sürdürülebilir tarım (permakültür) projelerinin dünyada ve ülkemizde örnekleri bulunmaktadır.

2.3.1 Ölü Deniz Vadisi Permakültür Projesi (Ürdün)

Su kaynakları yönünden dünyanın en fakir 10 ülkesinden biri olan Ürdün’de yürütülen bu çalışma, iki Japon mali yardım kurumunun destekleri ile 2000 yılında başlamıştır. Ürdün’ün Ölü Deniz yakınlarındaki, deniz seviyesinin 400m altında, yıllık ortalama yağış miktarının 100-150 mm olduğu fakat sadece kışın 3-4 defa çok şiddetli şekilde gerçekleştiği, yıllık maksimum sıcaklıkların 50 °C’lere yaklaştığı ve toprağın çölleşme eğiliminin yüksek olduğu fakir bir bölgede (Kafrin) yürütülmüştür. 3 yıllık olan bu projenin yürütüldüğü 5 hektarlık arazi genel olarak düz yapıya sahiptir (Ekinci, 2015).

Proje öncesi tamamen çorak durumda olan arazi boyunca, öncelikle 100-250m aralığında değişen uzunluklarda 8 yağmur hendeki kazılmıştır. Böylece arazide suyun tutulması ve mevcut suyun mümkün olduğu kadar fazla bileşen tarafından kullanılması için en yaygın olan uygulamalardan yağmur hendekleriyle, yağın yağmurun arazi yüzeyinden akıp gitmeden tutulması ve yavaş bir şekilde toprağa emdirilmesi sağlanarak, permakültürün ilk adımı olan su yönetimi gerçekleştirilmiştir (Ekinci, 2015).



Şekil 2.6: Yağmur Hendekleri (Ekinci, 2015)

Arazinin yanından geçen bir karayolundan gelen yüzey akışı fazlasını toplamak üzere, su oyukları (çanakları) açılmıştır. Bununla birlikte yüzey hacmi düşük olan ama derin bir su bendi yapılmıştır. Böylece yoldan gelen su kontrol edilerek bir hendeklere yönlendirilmiş ve su bendinde toplanmıştır. Bu yöntemler ile

yılda toplamda 1 milyon metreküp su toprağa verilerek büyük fayda sağlanmıştır. Arazinin yanında oluşan sel yatağında tel kafese taş yığınları yerleştirilerek oluşturulan gabion tuzaklar hazırlanarak biriken zengin milli toprak da hendek tabanlarına aktarılmıştır (Ekinci, 2015).

Projede açılmış olan yağmur hendeklerinin her iki sırtına da hendek boyunca ağaç dikilmiş ve bitki ekilmiştir. Hendeklerin üst kısımlarına baklagil türü ağaçlar ve azot bağlayıcı yer örtücü türdeki bitkiler dikilmiştir. Alt kısımlara ise meyve ağacı dikimi yapılmıştır. Su yönetiminde yapılan tasarımına göre yerleştirilen bitki sistemleri ile permakültürün ikinci adımı gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak arazi, 3-4 sene içerisinde tamamen yeşil bir dokuya bürünmüştür. Sonrasında ciddi bir bakım uygulanmadan sistemin kendi kendine işlediği, humus oluşumunun devam ettiği ve iki yıl içinde yapılan ölçümlerle birlikte toprak tuzluluğundaki ciddi düşüşün görüldüğü bir arazi elde edilmiştir (Ekinci, 2015).

2.3.2 Marmariç Permakültür Projesi (İzmir)

Bu projede, permakültür yöntemlerinin ve tasarım ilkelerinin proje alanı içinde uygulanması ile toprağın sürdürülebilir yönetime kavuşturulması, projede elde edilecek deneyimin paylaşılması ve genel olarak permakültür tasarım yöntemleri konusunda bilinçlendirme ile kapasite artırmaya yönelik bir dizi eğitim ve bilgilendirme çalışması yapılarak su kaynaklarının yanlış kullanımına ve iklim değişikliğine bağlı yağış rejimine karşı önlem almak amaçlanmıştır (Ekinci, 2015).

Eş yükselti eğrileri izlenerek arazide yağmur hendekleri kazılmıştır. Bu hendekler ile toprak üzerinden akışında parçalanma ve aşındırmaya neden olan yağmur suyu tutulup toprağın alt tabakalarına emilmesi sağlanarak yeraltı sularının yenilenmesine katkıda bulunulmuş, toprak erozyonu azaltılmış ve sağlıklı toprak oluşumu sağlanmıştır. Yağmur suyunun toplanması amacıyla bir gölet oluşturulmuştur. Böylece biriktirilen suyun kurak sezonda sulama için kullanılması sağlanmıştır. Ayrıca hendeklerin ve göletin kazısında çıkan toprak, hendeklerin önüne yığılarak gıda ormanları oluşturulmuştur. Marmariç’de oluşturulan ve doğal ekosistemleri örnek alan gıda ormanları; 5 dönüm kiraz, 4 dönüm ceviz, birkaç dönüm elma fidanlarıyla birlikte sebze bahçelerini içermektedir (Ekinci, 2015).



Şekil 2.7: Marmariç Projesi Alanı (Ekinci, 2015)

2.3.3 Göl-Su Projesi (Türkiye)

Ülkemizde su depolama kapasitesini artırma amaçlı gerçekleştirilen ve büyük sulama projeleri dışında kalan kırsal bölgelerde kısa sürede sulu tarıma geçilmesini hedefleyen bu proje, bin günde bin gölet sloganıyla 2012 yılı başında başladı ve 2014 yılı sonunda tamamlandı. Bu proje ile birlikte;

- Yılda 450,000 vatandaşa istihdam sağlanmıştır.
- Kırsal kesimdeki göçün önüne geçilerek vatandaşın yerinde istihdamı sağlanmıştır. Sonuç olarak tarım ve hayvancılıkta gelişme katedilmiştir.
- Yılda 1.7 Milyar TL'lik bir gelir artışı sağlanmıştır.
- Toprak erozyonu ve taşkın kayıplarının önüne geçilmiştir.
- Birçok hayvana içme suyu temini sağlanmıştır.
- Yeraltı suyu seviyelerinin emniyetteki değerlerde tutulması sağlanmıştır.
- Ülke çapında su ürünleri üretimi yaygınlaşmıştır.
- Göletler yangın söndürme amacıyla kullanılmıştır.
- Ağaçlandırma faaliyetleri yaygınlaşmıştır.

- Yeraltı suyu ile yapılan pompajlı sulamalar cazibeli sulamaya dönüştürülerek enerji tasarrufu sağlanmıştır ve bunun sonucu olarak üretim maliyetleri düşmüştür.
- Mesire ve rekreasyon alanlarının oluşturulmuştur.
- Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azalması, ülkenin mevcut su depolama kapasitesinin artırılması ile sağlanmıştır
- İnşa edilen göletler ile yaklaşık 611 milyon m³ su depolanmıştır ve yaklaşık 170,000 hektar alanın sulanması ve taşkından korunması sağlanmıştır.

3. MATERYAL

3.1 Çalışma Alanı

Denizli'nin Serinhisar ilçesi sınırları içinde yer alan havza alanı $37^{\circ}30'0''$ - $37^{\circ}42'0''$ Kuzey koordinatları ve $29^{\circ}12'0''$ - $29^{\circ}21'0''$ Doğu koordinatları arasında Batı Akdeniz Akarsu Havzası içindedir.



Şekil 3.1: Havzanın Konumu

3.1.1 Serinhisar

İlçe nüfusu 2021 yılı itibarıyla 14349 kişidir. İlçe merkezinde leblebicilik, urgancılık, zeytincilik, kerestecilik, turşuculuk ve tütüncülük yapılmaktadır. Ayrıca Yatağan'da kasaba halkı, bireysel olarak başta bıçakçılık olmak üzere halıcılık ve tütüncülükle de uğraşmaktadır. Serinhisar ilçe merkezinde tütüncülük, nakliyecilik, pazarcılık ve halı dokumacılığı ekonomik yapıya hâkim olan ve halkın geçim kaynaklarının başında gelen uğraşlardır (Serinhisar Belediyesi, 2022).

3.1.2 İklim

Ege Bölgesi ile Akdeniz Bölgesi arasında olan bu bölgede iklim, geçiş noktası olması nedeniyle değişken bir özelliğe sahiptir. Kuzey kısımlarında Göller Bölgesi'nin iklim karakteristiklerini taşıyan bu bölgede, yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı olup bazen de ılıman geçer. Güneye doğru inildikçe Gireniz Vadisi boyunca Akdeniz iklimi hissedilir. Serinhisar ilçe merkezinde meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Çalışma alanına ilçe merkezindeki istasyon harici en yakın istasyon Pamukkale Honaz Dağı Milli Parkı meteoroloji istasyonudur (DSİ, 2013).

Tablo 3.1: Bölge Meteorolojik İstatistikleri (DSİ, 2013)

Yıllık ortalama sıcaklık	12,7 °C
Yıllık ortalama yüksek sıcaklık	20,0 °C
Yıllık ortalama düşük sıcaklık	5,6 °C
En düşük ortalama sıcaklık (Ocak)	-2,6 °C
En yüksek ortalama sıcaklık (Ağustos)	32,3 °C
Açık Günler Sayısı	149 gün
Bulutlu Günler Sayısı	172 gün
Kapalı Günler Sayısı	44 gün
En çok Ocak ayında olmak üzere yıllık ortalama yağış	582.4 mm

3.1.3 Tarım ve Sulama

TÜİK 2021 verilerine göre Serinhisar ilçe sınırları 59,357 dekar tarım alanı bulunmaktadır. İlçe tarımsal üretimi Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: 2018 Yılı Bölge Tarımsal Üretimi (Denizli Ticaret Borsası, 2018)

Tahıl ve Diğer Tarla Ürünleri	Ekilen Alan (da)	Üretim (Ton)
Yulaf	5,280	5,386
Arpa	16,421	3,255
Fiğ (Yeşil Ot)	1,944	2,128
Yonca (Yeşil Ot)	759	2,049
Buğday	9,542	1,892
Mürdümük	775	949
Nohut (Kuru)	4,720	425
Mısır (Dane +Hasıl)	100	400
Triticale	1,556	389
Diğer	1,175	220
Sebze	Ekilen Alan (da)	Üretim (Ton)
Domates	448	1,923
Kavun	253	697
Biber	249	299
Hıyar	246	271
Fasulye (Yaş)	200	110
Diğer	95	149
Meyve	Ekilen Alan (da)	Üretim (Ton)
Kiraz	991	1,153
Elma	330	1,044
Ceviz	4,120	799
Armut	239	626
Badem	1,263	481
Sofralık Üzüm (Çekirdekli)	304	251
Erik	46	159
Diğer	89	141
TOPLAM	51,145	25,196

Bölgedeki sulama, pompaj kuyuları ile toprak-su kooperatifleri tarafından işletilmektedir. Denizli İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu'ndan alınan verilere göre bölgedeki işletilen sulamalar ve alanları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Toprak-Su Kooperatiflerince İşletilen Sulamalar

Bölge	Alan (ha)	Kuyu Sayısı
Merkez	853	22
Yatağan	536	11
Yeşilyuva	420	9
Yüreğil	130	4
Toplam	1939	46

Bölgedeki sulama alanları ve tarım arazilerinin alanları göz önünde bulundurulduğunda bölgenin yaklaşık %33'ü sulanmaktadır. Ayrıca sulanan alanların 10,272 dekarı basınçlı sulama sistemleri ile sulanmaktadır.

Devlet Su İşleri 21. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen bilgilere göre Şekil 3.2'de belirtilen Serinhisar ilçe merkezi tarım arazilerinde (853 ha), 2022 yılı sulama sezonunda 2,618,710 m³ sulama suyu kullanılmıştır.



Şekil 3.2: İlçe Merkezi Sulanan Tarım Arazileri

3.1.4 Topografya ve Toprak

İlçe merkezinin rakımı 950m olmakla birlikte havza alanındaki rakım 880m ile 2300m arasında değişmektedir. Araziler düz ile orta eğim arasında değişim gösteren eğim değerlerine sahiptirler. Tarım arazilerinin eğimi 1° ile 3° arasında değişirken yamaç eğimleri 11° ile 17° arasında değişmektedir (DSİ, 2013).

Bölgedeki toprakların kireç oranları %2,40 - %31,92 aralığında değişirken, pH dereceleri ise 7,75 - 8,27 aralığında değişir. Topraklar genellikle alkalidirler ve organik maddece fakirdirler. Toprakların profili genel olarak kumlu tınlı ile killi arasında değişmektedir. Az, orta ve çok taşlılık mevcuttur. Toprakların derinliği, çok sığ (10–30 cm) ve derin (90–120 cm) arasında değişir (DSİ, 2013).

3.1.5 Havza Çıkış Noktası

Seçilen havza çıkış noktası $37^{\circ}33'45.01''$ Kuzey ve $29^{\circ}18'38.70''$ Doğu koordinatlarında bulunmaktadır (Şekil 3.3). Bu noktanın seçimi, yerleşim bölgesi dışında alt bölgede kalması, sulama yapılan tarım arazilerine yakın bölgede bulunması ve memba tarafında kalan havza sınırlarıyla daha büyük bir yağış alanı oluşturması düşünülmüşdür. Ayrıca yerleşim bölgesine taşkın riski oluşturan dereler için yapılan kanalların taşıdığı yağmur suları Şekil 3.3'te görülen T_0 Ana Kanalında toplanmaktadır. Bu nedenle havza çıkış noktası bu kanal üzerinde seçilmiştir.



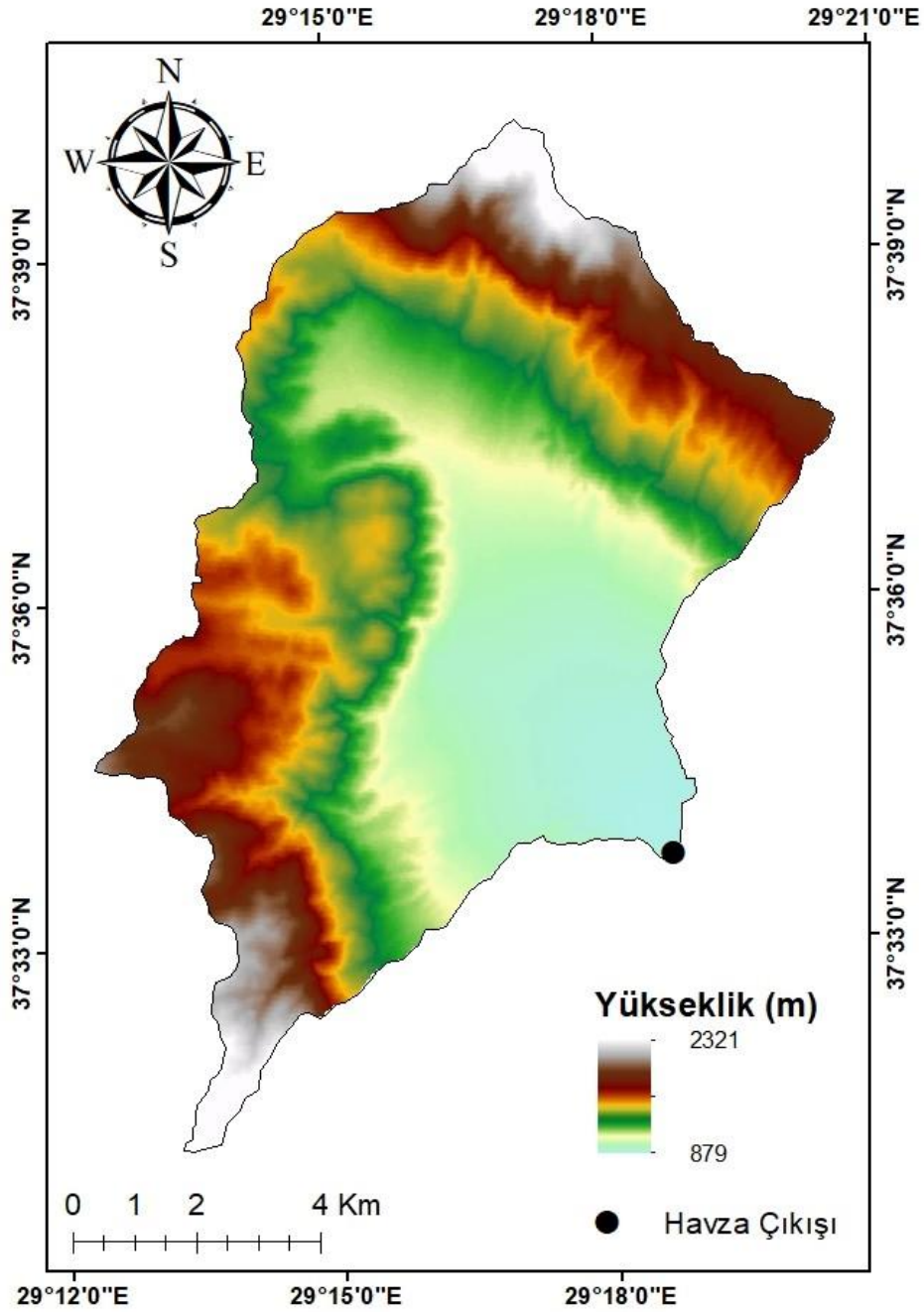
Şekil 3.3: Havza Çıkışı Konumu

3.2 CBS Ortamında Elde Edilen Veriler

Tez kapsamında uygulanan yöntemlerde kullanılan verilerin oldukça büyük bir bölümü CBS ortamında harita şeklinde modellenmiştir. Bu modelleme ArcGIS coğrafi bilgi sistemi hizmetleri ailesinden ArcMap 10.8 yazılımı ile yapılacaktır. Bu yazılım, jeo-uzamsal verileri görüntülemek, düzenlemek, oluşturmak ve analiz etmek için kullanılır.

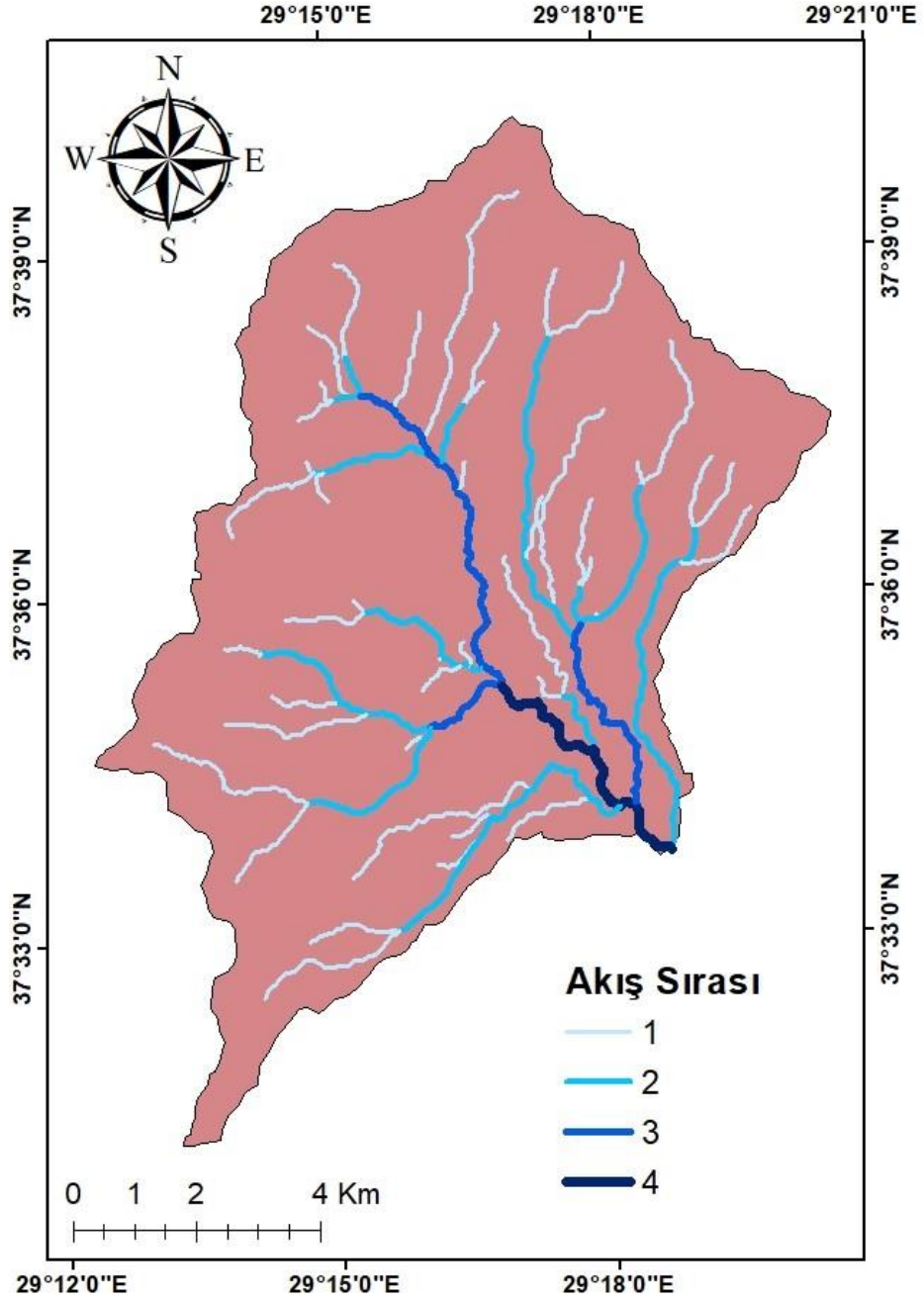
3.2.1 Topografik Veri

Havza alanının bulunduğu n37 e028 paftası, ABD Jeoloji Araştırma Kurumu'nun (USGS) Earthexplorer internet platformundan sağladığı 1 açışal saniyelik SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) topografik paftalarından alınmıştır. Bu sayısal yükseklik modeli paftası 30"x30" çözünürlüğündedir.



Şekil 3.4: Havza Sayısal Yükseklik Modeli

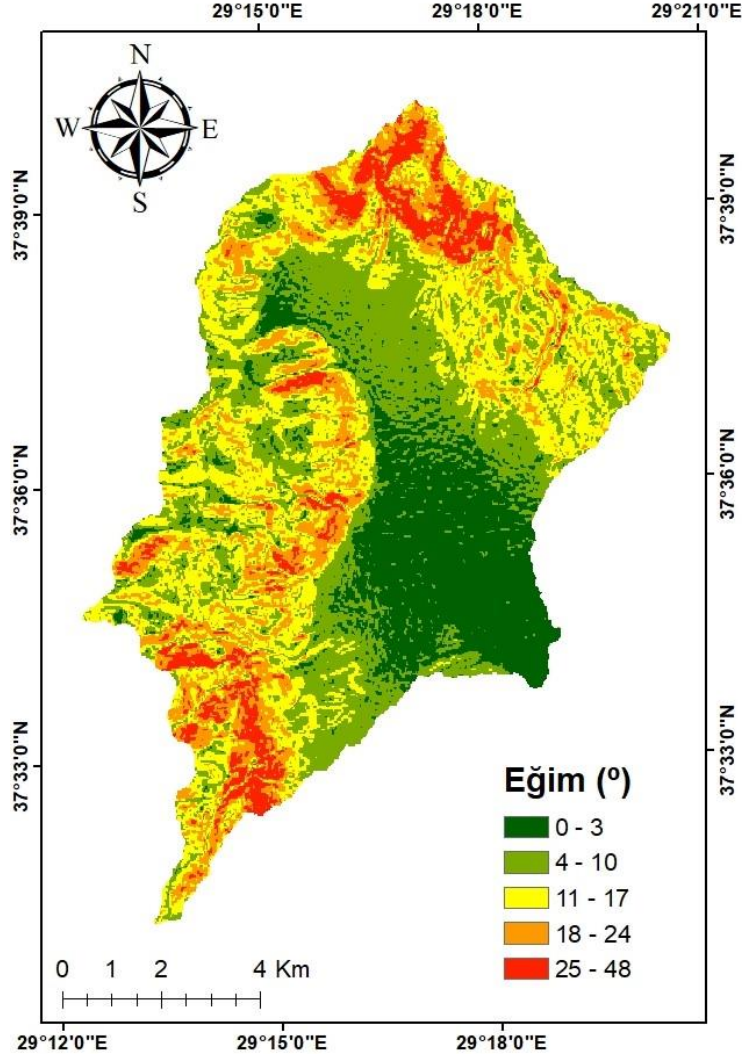
Öncelikle seçilen havza çıkış noktası koordinatları CBS ortamına aktarılmış ve havza sınırları belirlenerek havza sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Havza sayısal yükseklik modeli (Şekil 3.4) bu çalışmada kriter olarak kullanılmış olan eğim ve drenaj yoğunluğu gibi birçok havza parametresinin elde edilmesini sağlamıştır. Sınırları belirlenen havzanın alanı 95.13 km² olarak hesaplanmıştır. Havza sınırlarını belirleyen drenaj alanı akarsu çizgilerinin haritası da Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: Havza Drenaj Alanı Akarsu Ağı

3.2.2 Eğim

Uzaklığa göre yüzey değerindeki değişimin ölçüsü olan eğim, derece veya yüzde olarak ifade edilebilir (Rahimi, 2021). Bu fizyolojik havza parametresi, arazi üzerinde yapılacak birçok çalışmada büyük önem taşır. Hidrolojik bir parametre olarak eğim, akışın bileşenlerinden biridir. Eğimin az olduğu bölgelerde yağış ile gelen suların toprağa sızması, eğimin fazla olduğu alanlara göre daha fazla olur. Bu nedenle yağmur suları akışa katılmadan toprağa sızar. Bu da akım değerini azalmasına veya yüzey akışının olmamasına sebep olur (Altıparmak ve Türkoğlu, 2018).

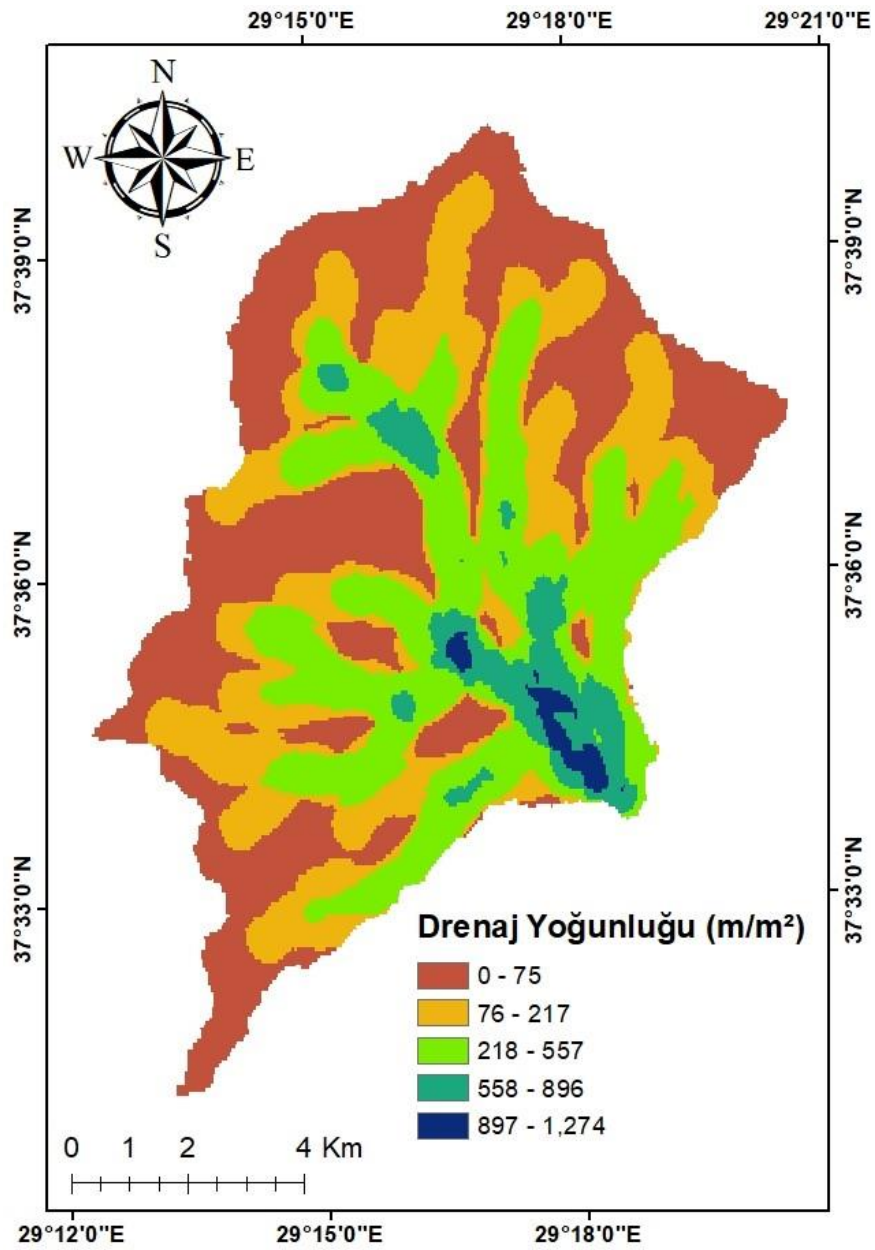


Şekil 3.6: Havza Eğim Haritası

Havzanın SYM'si vasıtasıyla elde edilen eğim haritası, bu çalışmada kriter olarak kullanılmak üzere beş sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.6).

3.2.3 Drenaj Yoğunluğu

Havzanın akarsular tarafından bölünme derecesini gösteren bir ölçü olan D_d , küçük değere sahip olduğunda havzada yüzeysel sular yeraltına sızıp yer altı akımlarını oluşturur, yüksek değere sahip olduğunda ise havza, yüzeysel akışlarla parçalanma ve aşındırmanın yaşandığı bir karakteristiğe sahip olur (Altıparmak ve Türkoğlu, 2018). Çalışmada kullanılacak kriterlerden birisi olacak drenaj yoğunluğu haritası, havza drenaj alanı akarsu ağı haritasından elde edilerek beş sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Havza Drenaj Yoğunluğu Haritası

Birim toplama alanı başına düşen toplam akarsu uzunluğu olan drenaj yoğunluğunun formülasyonu Denklem 3.1’de verilmiştir (Horton, 1945).

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (3.1)$$

3.2.4 Arazi Kullanımı

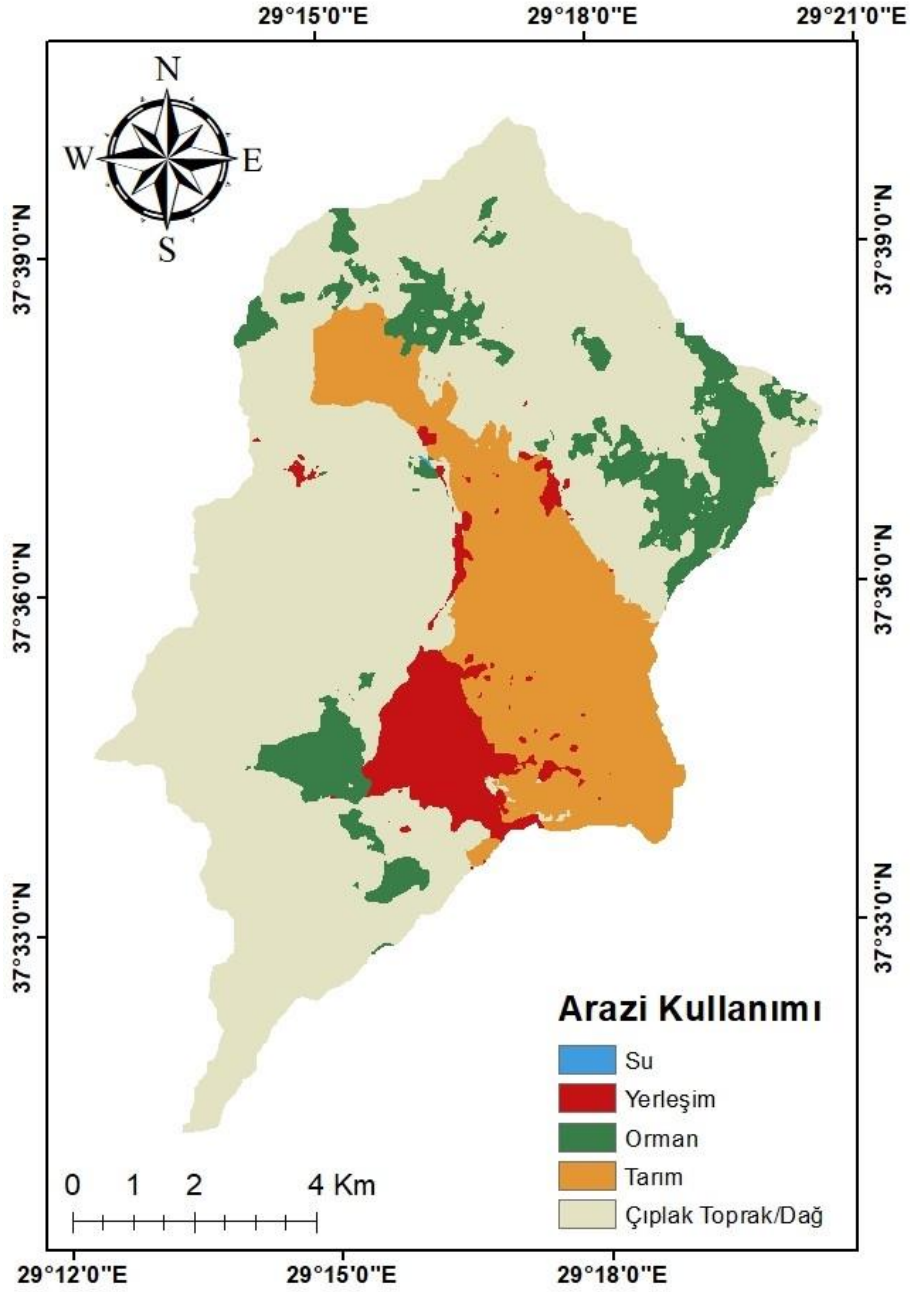
Arazi kullanımı, ortalama ve maksimum debilere etki eden, fiziksel ve beşerî etmenlerden etkilenip aynı zamanda bu etmenleri etkileyen bir parametredir (Doğmaz, 2018). Toprak sisteminin en üst yüzeyini karakterize eder ve sızma üzerinde kesin bir etkiye sahiptir. Su havzası örtüsünü tanımlar ve su yüzeyleri, yollar, çatılar gibi tarım dışı kullanımların yanı sıra her türlü bitki örtüsünü içerir (Mishra ve Singh, 2003).

Bu çalışmada arazi kullanımı harita verisi, ESRI’nın Sentinel-2 uydusundan 2021.01.01 tarihli 10x10 m çözünürlüğündeki uydu görüntülerini elde edip işlediği ve yayınladığı internet platformundan alınmıştır (Esri Land Cover [online], 2021). Yüksek çözünürlüklü ve oldukça güncel arazi kullanımı verileri sağlaması nedeniyle bu veri tabanı tercih edilmiştir. Alınan arazi kullanımı görüntüleri paftası, havza alanına uyarlanmıştır ve beş sınıfa ayrılmıştır.

Tablo 3.4: Havza Alanı Arazi Kullanımı Oranları

Arazi Kullanımı/Örtüsü	Alan(km ²)	Alan(%)
Su	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

Tablo 3.4’te ifade edilen arazi kullanımı sayısal oranlarının havza alanındaki dağılımı Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8: Havza Arazi Kullanımı Haritası

3.2.5 Hidrolojik Toprak Grupları (HSG)

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. Diğer önemli faktörler ise toprak yapısı, hidrolik iletkenliği ve başlangıç nem

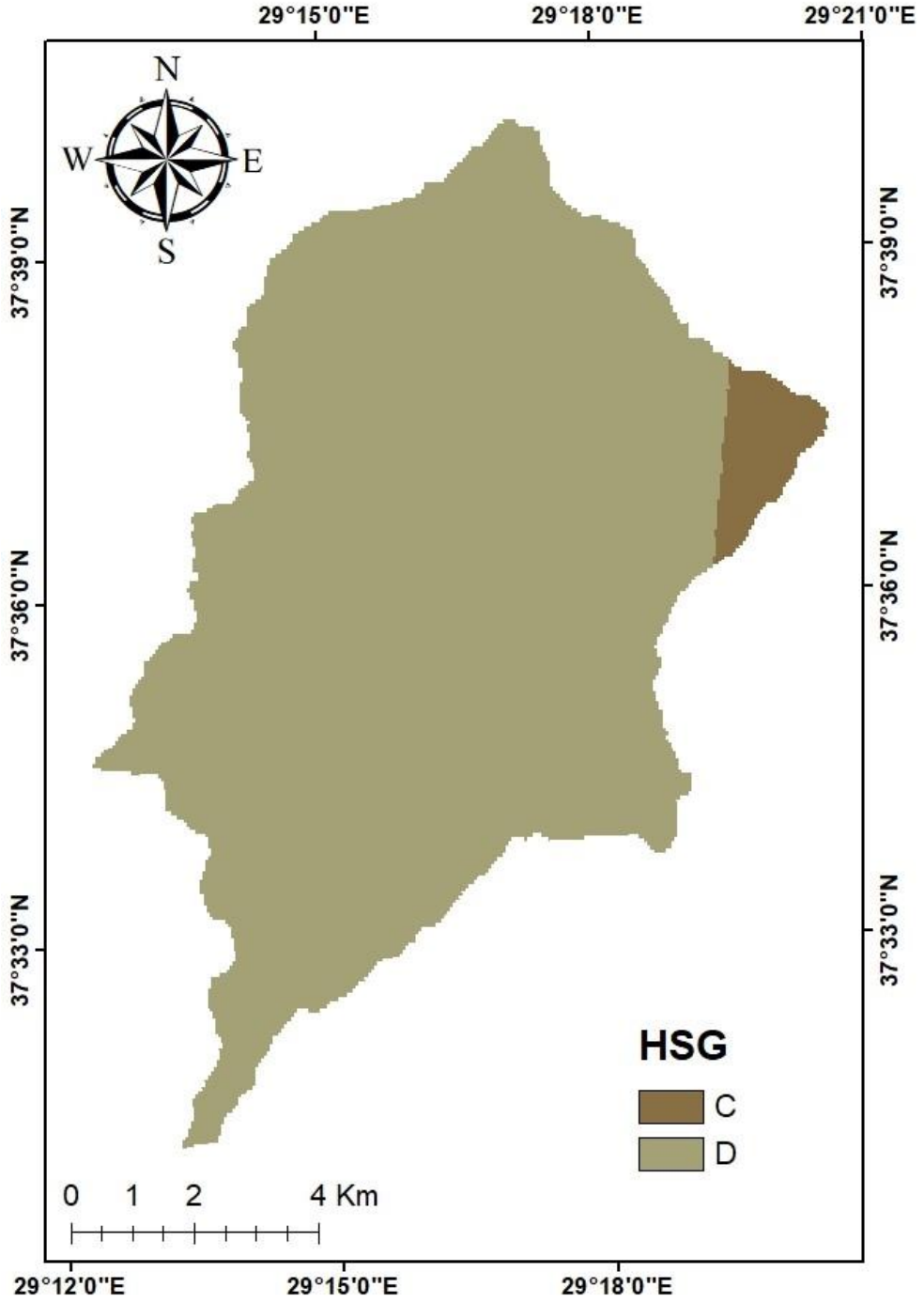
içeriğidir. İletim, suyun toprakta hareket etme hızı olarak tanımlanır ve toprak ufku tarafından kontrol edilir. Gevşek iletken kumlu bir toprak, sıkıca bir kile göre daha büyük sızma hızı sergileyecektir. İyi drenaj sistemine sahip bir toprak, aksi durumda olduğundan daha büyük sızma sergileyecektir. Farklı dokusal özelliklere sahip katmanlı bir toprak ve bunların düzenlenme sırası da genel sızmayı etkileyecektir. Kuru bir toprak, ıslak bir toprağa göre daha büyük sızma gösterecektir (Mishra ve Singh, 2003).

Toprak Koruma Servisi (SCS), sızma ve iletim hızlarına göre toprakları dört hidrolojik gruba ayırdı (Tablo 3.5) (Mishra ve Singh, 2003).

Tablo 3.5: Hidrolojik Toprak Grupları

HSG	Özellikleri	Min. Sızma Oranı (cm/sa)
A	Tamamen ıslandıklarında bile yüksek sızma oranları, yüksek su iletim hızı ve düşük akış potansiyeli sergiler. Bu tür topraklar iyi ila aşırı derecede drene edilmiş kumları veya çakılları içerir.	0.76-1.14
B	Tamamen ıslandığında orta derecede sızma oranlarına sahiptir ve temel olarak orta derecede iyi ila iyi drene edilmiş ince, orta derecede ince ila orta derecede kaba dokulu topraklardan (sığ lős ve kumlu balçık) oluşur. Bu topraklar orta düzeyde su iletimi sergiler.	0.38-0.76
C	Tamamen ıslandığında 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 ila hafif dokuya sahiptir. Bu topraklar yavaş bir su iletim hızı sergiler.	0.13-0.38
D	Tamamen ıslandıklarında 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

Hidrolojik toprak grubu verisi olarak Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) internet platformundan yayınladığı Digital Soil Map of the World kullanılmıştır. Alınan harita havza alanına uyarlanmış ve toprak gruplarına göre sınıflandırılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Havza Hidrolojik Toprak Grubu Haritası

Şekil 3.9’de verilen havza alanı toprak grubu dağılımının sayısal oranları Tablo 3.6’da ifade edilmiştir.

Tablo 3.6: Havza Alanı Hidrolojik Toprak Grubu Oranı

HSG	Alan(km ²)	Alan(%)
C	3.17	3.34
D	91.96	96.66
Toplam	95.13	100.00

3.3 Yağış Verilerinin Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında kullanılmış olan yağış verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden Günlük Toplam Yağış veri türünde alınmıştır. Havza alanına etki eden Serinhisar Meteoroloji İstasyonu için 18 yıllık ölçüm bulunmaktadır. Fakat çalışma için 40 yıllık yağış verisi kullanılmıştır. Bunun için öncelikle havza çevresinde bulunup, havza yağış alanına etki edecek uzun yıllar yağış ölçümü yapılmış Denizli ve Acıpayam Meteoroloji İstasyonları da eksik yılları tamamlamak için kullanılmıştır. Tamamlanan yıllarla birlikte 1982-2021 yılları arasını kapsayan 40 yıllık günlük yağış verileri elde edilmiştir.

Tablo 3.7: Meteoroloji İstasyonları Bilgileri

İstasyon No.	İstasyon Adı	Havza Adı	Rakım	Koordinat
18302	Serinhisar	Batı Akdeniz	923	29°16'41.2"D/37°35'24.0"K
17890	Acıpayam	Batı Akdeniz	941	29°20'59.3"D/37°26'01.3"K
17237	Denizli	Büyük Menderes	425	29°05'31.6"D/37°45'43.2"K

3.3.1 Thiessen Yöntemi

Thiessen yönteminin amacı, bir havza etrafındaki meteoroloji istasyonlarının yağış yüksekliği bakımından etkilerini alansal olarak tespit etmektir. Kolay uygulanabilirliği ve daha doğru sonuçlar verebilmesi nedeniyle bu yöntem tercih edilmiştir.

Bu yöntemde havza alanı, alanların içindeki her nokta en yakınındaki istasyona ait parça içinde kalacak şekilde parçalara ayrılır yani her bir istasyon kendi çevresinde bir etki alanına sahip olur. Bunu yaparken birbirine yakın istasyonlar arasına doğru parçası çizilerek istasyonlar birleştirilir. Bu doğru parçalarının her birine orta dikme çizilerek diğer orta dikmelerle kesiştirilir. Böylece her bir İstasyonun çevresinde dikmelerin sınırlandığı birer çokgen (Thiessen çokgeni) oluşturulur. Yöntemin temelinde, bu şekilde oluşturulan her bir çokgenin, içinde yer alan istasyonun yağışı ile temsil edildiği varsayımı yatmaktadır. Başka bir deyişle her bir istasyondaki yağış miktarının, yakındaki başka bir istasyona olan mesafenin yarısına kadar geçerli olduğu kabul edilmektedir (Görcelioğlu, 1983). Thiessen Yöntemi'nin formülasyonu Denklem 3.2'de verilmiştir.

$$P_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times A_i}{A} = \frac{A_1 \times P_1 + A_2 \times P_2 + \dots + A_n \times P_n}{A} \quad (3.2)$$

Burada P_{ort} ortalama yağış yüksekliğini (mm), P_i her bir yağış istasyonunun ölçtüğü yağış yüksekliğini (mm), A_i her bir istasyonun etki ettiği yağış alanını (km^2), A havzanın toplam alanını (km^2) temsil eder.

Bu çalışma için uzun yıllar yağış verisi bulunduran ve havza alanına etki edebilecek sadece iki istasyon bulunmaktadır. Bu sebeple Thiessen Yöntemi bu iki istasyon üzerinden havzanın içinde bulunduğu paftaya uygulanmıştır. Böylece Denizli ve Acıpayam istasyonlarının pafta içindeki etki alanları bulunmuştur. Bununla birlikte çalışılan havza için de bu istasyonların etki alanları bulunmuştur. Yapılan bu işlem Şekil 3.10'da özetlenmiştir. Daha anlaşılır olması amacı ile şekilde sadece istasyonları birleştiren doğru parçası ve orta dikmesinin havzayı ayıran bölümü çizilmiştir. Bulunan etki alanları, tüm havza alanına oranlanarak istasyonların havza yağış alanına etki yüzdeleri bulunmuştur. (Tablo 3.8). Bulunan bu yüzdeler Acıpayam ve Denizli istasyonlarının her yılının günlük yağış değeriyle çarpılmıştır. İki istasyonun ağırlıklı değerleri toplanarak havza için 40 yıllık ortalama yağış değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3.8: Thiessen Yöntemi İstasyon Etki Yüzdeleri

İstasyon	Etki(%)
Denizli	16.91
Acıpayam	83.09



Şekil 3.10: Havza Alanı için Thiessen Yöntemi

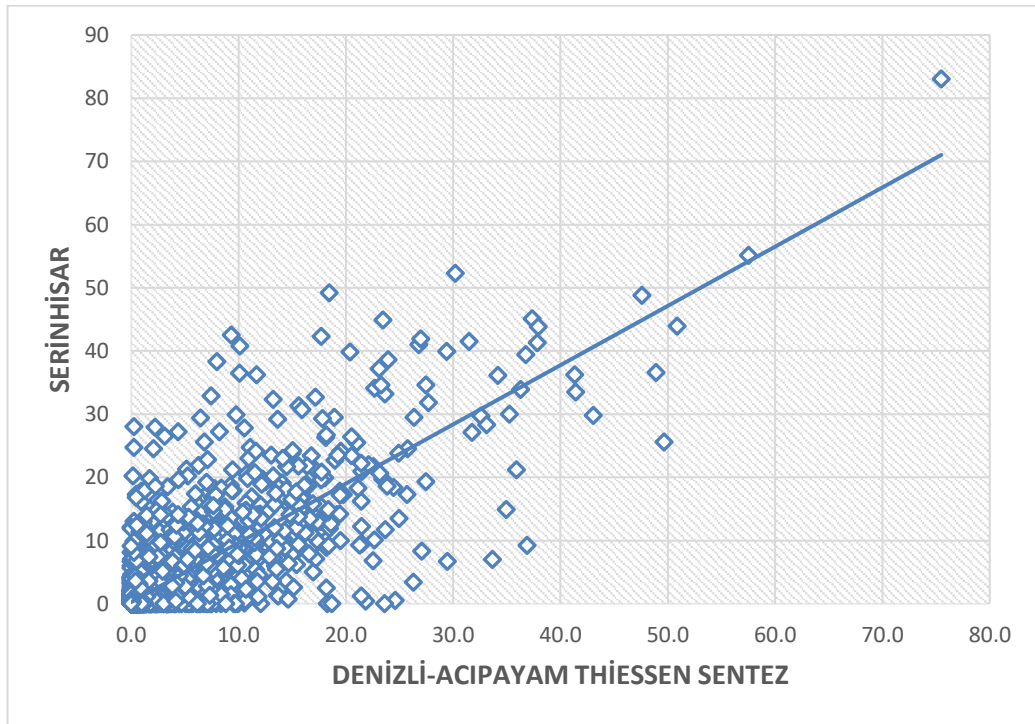
3.3.2 Basit Doğrusal Regresyon

Doğrusal regresyon, sayısal bir bağımlı değişken (y) ile bir veya daha fazla bağımsız değişken (x) arasındaki ilişkiyi modelleme yaklaşımı olarak tanımlanabilir. Regresyon modelindeki bağımsız değişken sayısı bir olduğunda model basit doğrusal regresyon olarak tanımlanır. Doğrusal regresyon analizi, belirlenmek istenen değişkenden daha kolay veya daha erken saptanabilen değişkenlerden yola çıkarak

belirlenmek istenen değişkeni tahmin eden bir model oluşturmaktır. Modeldeki açıklayıcı bağımsız değişken sayısı birden fazla ise çoklu doğrusal regresyon olarak isimlendirilir. Doğrusal regresyonda bağımlı değişken sayısal bir değişken olmak zorundadır (Kılıç, 2013).

Basit Doğrusal Regresyonda bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkinin formülasyonu $y = ax+b$ olarak kabul edilir. Buradaki b değeri analitik yöntemde sabit hata ölçüsüdür. Bununla birlikte analitik yöntemde oransal hata ölçüsü ise a değerine yani regresyon katsayısına karşılık gelir (Kılıç, 2013).

Model için bulunan p anlamlılık değeri 0.05'ten küçük olduğunda regresyon katsayısı 0'dan farklı olur yani iki değişken arasındaki ilişki istatistiksel olarak önem arz eder, ayrıca iki değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğu da kabul edilir. Modelin uygunluk göstergesi R^2 olarak ifade edilir ve R^2 değeri 1'e yaklaşıkça model daha da iyileşir (Kılıç, 2013). Buna karşın korelasyon katsayısı olan r, 0.80'in üstünde ise bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında güçlü bir ilişki, 0.50'in altında olduğu durumlarda ise bu değişkenler arasında zayıf bir ilişki olduğu kabul edilir.



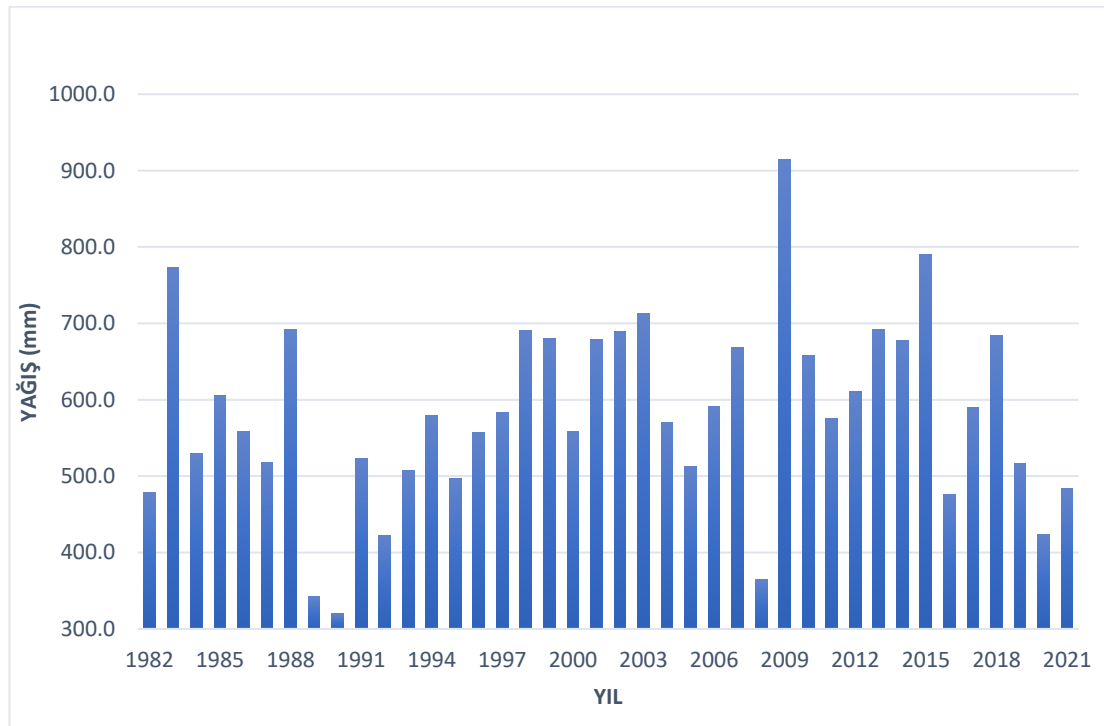
Şekil 3.11: Doğrusal Regresyon Saçılım Grafiği ve En Uygun Doğru

Thiessen Yöntemi ile sentezlenen yıllık yağış verileri ve Serinhisar'ın mevcut yağış verilerine, Microsoft Office Excel programı yardımı ile Basit Doğrusal Regresyon Analizi uygulanmıştır. 18 yılın günlük toplam yağış verileri karşılaştırılarak Şekil 3.11'deki saçılım grafiği elde edilmiştir. Bu karşılaştırmada korelasyon katsayısı, $r = 0.82$ hesaplanmıştır. Böylece iki veri grubu arasında güçlü bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.

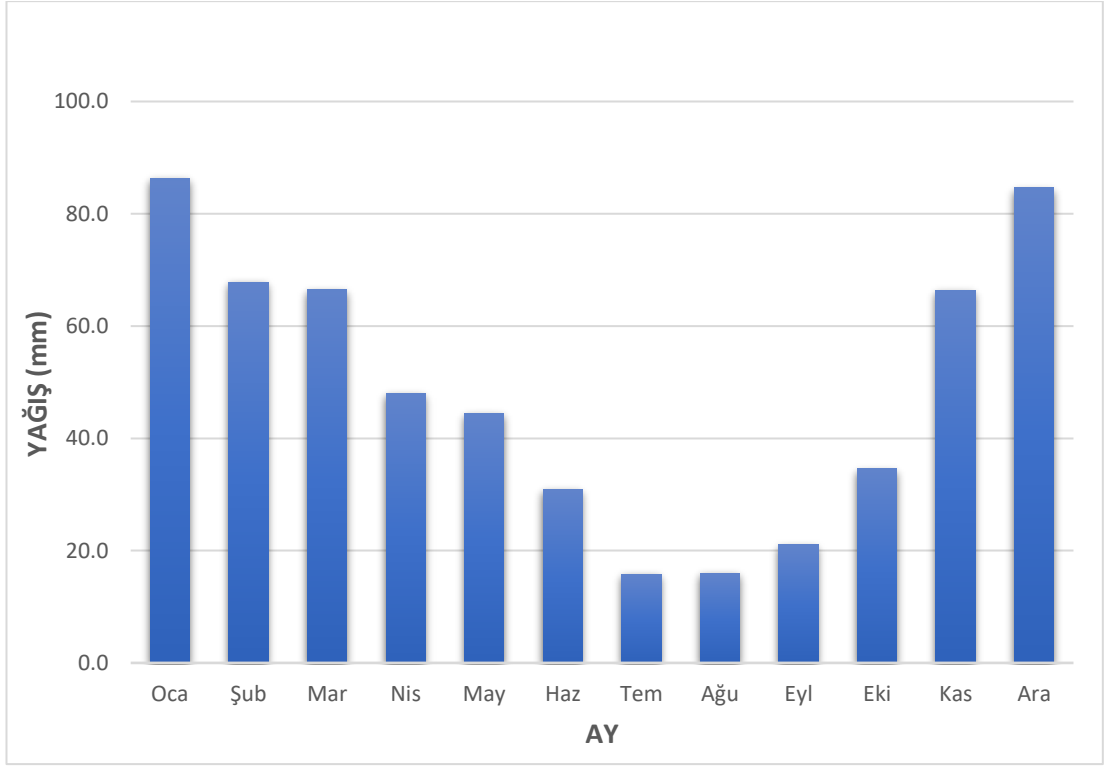
En uygun doğrunun denklemi (regresyon denklemi); y , Serinhisar'ın tahmin edilecek yağış verileri ve x , mevcut 40 yıllık yağış verisi olmak üzere Denklem 3.3'te verilmiştir. Bu denklem Serinhisar'ın eksik yağış verilerinin tamamlanmasında kullanılmıştır.

$$y = 0.9372x + 0.2746 \quad (3.3)$$

İşlenen yağış verileri yıllık ortalama yağışın 582.4 mm olduğunu göstermektedir. Elde edilen yağış verileri Şekil 3.12 ve 3.13'te grafikler halinde özetlenmiştir.



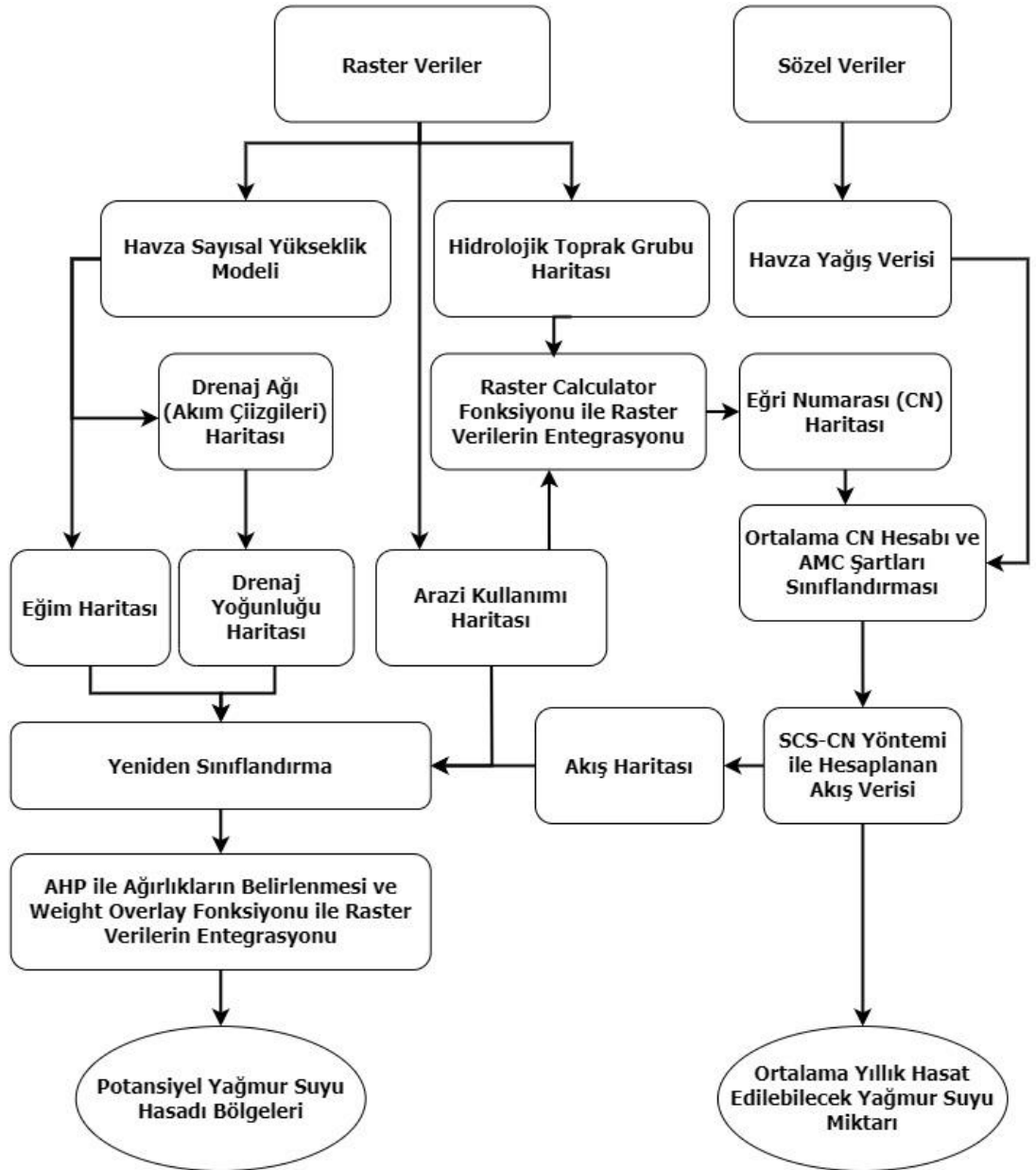
Şekil 3.12: Havza Yıllık Toplam Yağışları



Şekil 3.13: Havza Aylık Ortalama Yağışları

4. YÖNTEM

Bu bölümde, bir önceki bölümde bahsedilen verilerin kullanımı ve ağırlıklı olarak kullanılacak yöntemler olan SCS-CN Metodu ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Sürecinden teorik olarak bahsedilmiştir. Aşağıda verilen akış şemasında yöntemin süreçleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Yöntem Akış Diyagramı

4.1 SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number) Metodu

Toprak Koruma Hizmeti-Eğri Numarası (SCS-CN) yöntemi 1930'ların sonlarında ve 1940'ların başlarında gerçekleştirilen kapsamlı saha araştırmalarının yanı sıra Mockus (1949), Sherman (1949), Andrews (1954) ve Ogrosky (1956) gibi araştırmacıların yaptıkları çalışmaların sonucu olarak 1954'te geliştirildi. Küçük tarım, orman ve kentsel havzalardan belirli bir yağış olayı için yüzey akışının hacmini hesaplamak için en popüler yöntemlerden biridir. Yöntem basit, anlaşılması ve uygulanması kolay, kararlı ve ölçülmemiş su havzaları için kullanışlıdır. Geniş uygulanabilirliği ve kabul edilebilirliğinin başlıca nedeni, yüzey akışına neden olan toprak tipi, arazi kullanımı, yüzey durumu ve önceki nem durumu gibi havza özelliklerinin çoğunu hesaba katması gerçeğinde yatmaktadır (Mishra ve Singh, 2003).

SCS-CN yöntemi, su dengesi denklemine ve iki temel hipoteze dayanmaktadır:

$$P = I_a + F + Q \quad (4.1)$$

Su dengesi denklemi (4.1).

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad (4.2)$$

İlk hipotez, orantılı eşitlik hipotezi, gerçek doğrudan yüzey akışının, toplam yağış veya maksimum potansiyel yüzey akışına oranını, gerçek sızma miktarının, potansiyel maksimum tutma miktarına oranına eşitler (4.2).

$$I_a = \lambda_R S \quad (4.3)$$

İkinci hipotez, ilk soyutlamayı, potansiyel maksimum tutma ile ilişkilendirir (4.3).

(4.1)'den (4.3)'e kadar olan denklemlerde P toplam yağışı, I_a ilk soyutlamayı, F I_a hariç kümülatif sızmayı, Q doğrudan akışı ve S potansiyel maksimum sızma veya tutmayı temsil etmekle birlikte tüm miktarlar derinlik veya hacimsel birimlerdir (McCuen, 2002).

SCS-CN yönteminin S parametresi toprak tipine, arazi kullanımına, hidrolojik duruma ve önceki nem durumuna (AMC) bağlıdır. İlk soyutlama, durdurma, yüzeyde depolama ve sızma gibi kısa vadeli kayıpları hesaba katar. Jeolojik ve iklimsel faktörlere bağlı λ_R ise bölgesel bir parametre olarak görülmektedir. Mevcut SCS-CN yöntemi, pratik uygulamalar için λ_R değerinin 0.2'ye eşit olduğunu varsayar.

(4.1) ve (4.2) denklemleri birleştirilerek, SCS-CN yönteminin popüler formu (4.4) elde edilir.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (4.4)$$

Denklem (4.4) ve (4.3)'teki λ_R değeri 0.2 kabul edilip birleştirildiğinde denklemin son formu (4.5) elde edilir.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (4.5)$$

Denklem (4.5) $P > 0.2S$ olan durumlarda geçerlidir, aksi haldeki durumlarda $Q = 0$ olur.

Mevcut SCS-CN yöntemi, günlük yağışlardan yüzey akışını hesaplamak için tek parametrelili bir modeldir. Rallison (1980) denklem (4.5)'deki S parametresinin fiziksel önemini şu şekilde tanımlamıştır: "S bir sabit olmakla birlikte verilen yağış ve havza koşulları için meydana gelebilecek maksimum P-Q farkıdır. Toprak yüzeyindeki sızma hızı veya toprak profilinde mevcut su depolama miktarı ile sınırlı olan S, bunlardan küçük olan değerdir. Toprak yüzeyindeki sızma oranları yağış etkisinden güçlü bir şekilde etkilendiği için yağış yoğunluğundan güçlü bir şekilde etkilenirler." Bu açıklama, sızma hızının büyüklüğünü, toprakta yersiz su tutma hacmiyle karşılaştırır (Mishra ve Singh, 2003).

Denklem (4.5)'deki S parametresi, $0 \leq S \leq \infty$ aralığında değişmekle birlikte daha çekici bir aralıkta değişen boyutsuz bir eğri numarasına (CN) eşlenerek $0 \leq CN \leq 100$ aralığıyla aşağıdaki eşitlikte (4.6) ifade edilir.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4.6)$$

S ve CN arasındaki temel fark, birincisi [L] boyutunda bir nicelik iken diğeri ise boyutsuz bir niceliktir. Ayrıca CN teorik olarak 0 ila 100 arasında değişirken, pratik tasarım ve yaygın tasarım değerleri 40 ila 98 arasında değişir (Mulle, 1991).

Denklem 4.5'te elde edilen akışın oluşturacağı su hacminin (Q_v) hesabı ise havza alanı (A) ve akış miktarının çarpılması ile elde edilir (4.7).

$$Q_v = Q \times A \quad (4.7)$$

4.1.1 Eğri Numarası (CN)

Eğri numarası hesaplanırken, S'ye etki eden faktörlerden arazi kullanımı/örtüsü (LU/LC), sınıflandırılmış toprak tipi olan hidrolojik toprak grubu (HSG) ve yağış miktarına bağlı olan önceki nem durumu (AMC) kullanılır. Tablo 4.1'den de anlaşılacağı üzere farklı hidrolojik toprak grupları ve arazi kullanım türleri farklı eğri numaralarına sahip olurlar.

Tablo 4.1: Eğri Numaraları (Cronshey, 1986)

Arazi Kullanımı/Örtüsü	Hidrolojik Toprak Grubu			
	A	B	C	D
Sulak Alan/Su	100	100	100	100
Yüksek Yoğunluklu Yerleşim	77	85	90	92
Orta Yoğunluklu Yerleşim	57	72	81	86
Düşük Yoğunluklu Yerleşim	46	65	77	82
Açık Alanlar(Park, yeşil alanlar, vb.)	49	69	79	84
Geçirimsiz Alanlar(Yol, çatı, otopark)	98	98	98	98
Ticari Alanlar	89	92	94	95
Çıplak Toprak/Dağ	77	86	91	94
Tarım Alanı (Sıra bitkileri)	67	78	85	89
Tarım Alanı (İnce tane)	63	75	83	87
Tarım Alanı (Yakın tohumlu)	66	77	85	89
Orman (Sık)	30	55	70	77
Orman (Orta Yoğunluklu)	36	60	73	79
Orman (Seyrek)	45	66	77	83
Çayır, Sürekli Çim	30	58	71	78
Mera, Otlak	68	79	86	89

4.1.2 CBS Yardımı ile Eğri Numarasının (CN) Hesabı

Havza içindeki bölgelerin eğri numaraları belirlendikten sonra, bu değerlerin alansal dağılımlarının toplamı tüm alana oranlanarak (Denklem 4.8) tek bir CN değeri elde edilir ve S'in bulunmasında bu değer kullanılır.

$$CN_W = \frac{\sum(CN_i \times A_i)}{A} \quad (4.8)$$

4.1.3 Önceki Nem İçeriği (AMC) ve Eğri Numarası Değerleri

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 (Mishra ve Singh, 2003).

Toprağın önceki nem durumunu (AMC) tanımlamak için hidrolojik literatürde genellikle kullanılan üç kavram vardır. Bunlar, önceki yağış indeksi (API), önceki temel akış indeksi (ABFI) ve toprak nem indeksidir (SMI). API, önceki yağış miktarına dayanmaktadır. Öncül terimi önceki 5 ila 30 gün arasında değişir. Bununla birlikte, belirli bir süredeki önceki yağışlarla toprak nemini değiştirmek için açık bir kılavuz yoktur. The National Engineering Handbook, AMC için API olarak önceki 5 günlük yağışı kullanır ve genellikle pratikte kullanılır. Önceki nem durumu, AMC-I, AMC-II ve AMC-III olmak üzere üç düzeyde sınıflandırılır (Tablo 4.2). AMC-I bir toprağın kuru durumunu, AMC-II normal veya ortalama ve AMC-III, havzanın ıslak durumunu ifade eder. Bu nedenle, AMC-I'e karşılık gelen CN_I , kuru eğri numarasını veya en düşük akış potansiyelini belirtir; AMC-III'e karşılık gelen CN_{III} , ıslak eğri numarasını veya en yüksek akış potansiyeline karşılık gelir ve AMC-II'ye karşılık gelen CN_{II} , ortalama eğri numarasını veya ortalama akış potansiyeline karşılık gelir. Başka bir deyişle, önceki

nem veya yağış miktarı ne kadar yüksekse, CN daha yüksek ve havzanın akış potansiyeli daha yüksek olur (Mishra ve Singh, 2003).

Tablo 4.2: Antecedent Nem İçeriği İçin Belirlenen Kategoriler.

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

AMC kavramı, toprakların sınıflandırılması altında açıklandığı gibi, toprak ıslaklığı açısından da görselleştirilebilir. Tamamen ıslak bir toprak, minimum sızıntı oranını ve dolayısıyla maksimum akış hızını verir. Bu nedenle, bu AMC'ler ayrıca toprak ıslaklık seviyelerine de atıfta bulunur. AMC-I, toprağın hiç ıslak olmadığını, maksimum sızma hızına veya minimum akış hızına izin veren kuru durumu ifade eder. Öte yandan, AMC-III, toprağın neredeyse tamamen ıslak durumunu ifade eder, minimum infiltrasyon hızı sağlar ve buna bağlı olarak maksimum akış hızı üretir. AMC-II, bu iki ekstrem koşulun ortasında kalan normal durumu ifade eder (Mishra ve Singh, 2003).

Denklem 4.8'de bulunan ağırlıklı CN değeri CN_{II} 'ye eşit olmakla beraber AMC durumlarına karşılık gelen CN değerlerinin belirlenmesi Denklem 4.9 ve 4.10'da verilmiştir.

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (4.9)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 + 0.13CN_{II}} \quad (4.10)$$

4.2 İdeal Yağmur Suyu Hasadı Sahaları Belirlemek için Kullanılan Uygulamalar

YSH için uygun yerlerin seçiminin farklı kriterleri, çeşitli uygulamalar kullanılarak bir araca entegre edilebilir. Ammar ve diğ. (2016), son otuz yılda kurak ve yarı kurak bölgelerde YSH için uygun yer belirlemek için kullanılan uygulamaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA), Hidrolojik Modelleme (HM) ile CBS ve UA, Çok Kriterli Analiz (Multi-Criteria Analysis-MCA) ile entegre HM ve CBS/UA, MCA ile entegre CBS olmak üzere dört ana gruba ayırmıştır. Bununla birlikte, her yöntemin avantajları ve dezavantajları olan özel gereksinimler vardır (Al-Komaim, 2018).

4.2.1 CBS ve UA

UA verileri tarafından desteklenen CBS verileri, uygun YSH sahalarının tanımlanması için efektif, maliyet ve zaman kazandıran yöntemler sağlar. Bu araç, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte son yıllarda önemli ölçüde ilerlemiştir. Yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüğe sahip bilgiler, CBS ortamlarında işlenmeden ve analiz edilmeden önce UA'dan türetilir (Ammar ve diğ., 2016). CBS, çoğu gelişmekte olan ülkede sıklıkla görülen, özellikle sınırlı veriye sahip alanlarda bilgi çıkarmak için çok yararlı bir araç olarak kabul edilmektedir (Mahmoud, 2014).

CBS ve UA hem hataların tanımlanmasını hem de kalite kontrolünü destekleyen bir veri inceleme yeteneği sağlar. Bu yöntem ayrıca haritalar aracılığıyla okunması/kullanımı kolay bilgiler üretir ve ayrıca herhangi bir örüntünün daha iyi anlaşılması için iyi bir fırsat sunar. Bu uygulama, önceki paragrafta bahsedilen diğer uygulamalara kıyasla uygun maliyetli olmasına rağmen, uygun sahaları doğrulamak için YSH sistemlerini uygulamadan önce saha araştırmaları gerektirir. Ayrıca, verilerin kalitesi (uzaysal ve zamansal çözünürlük) ve kullanılabilirliği CBS/UA yönteminin doğruluğunu etkiler (Al-Komaim, 2018).

4.2.2 Hidrolojik Modelleme ile CBS ve UA

Akış bilgisi, YSH uygun sahalarının tanımlanması için önemli bir veridir. Hidrolojik modelleme, Toprak Koruma Hizmeti-Eğri Numarası (SCS-CN) ve Thornthwaite ve Mather (TM) modelleri gibi akışı simüle etmek için çeşitli yöntemlere sahiptir (Ammar ve diğ., 2016). CBS/UA yöntemleriyle HM, uygun YSH sahalarını belirlemek için zaman açısından verimli ve maliyet açısından etkin bir teknik sağlar ve karar vermeyi kolaylaştırmak için rasyonel bir yol sunar.

Her hidrolojik modelin avantajları ve dezavantajları olmakla birlikte model karmaşıklığı, kullanıcılar ve veri kullanılabilirliği, sonuçların doğruluğunda önemli bir rol oynamaktadır. HM yönteminin, özellikle de SCS yaklaşımının uygulanması, YSH'nin oldukça lokasyona özgü olması nedeniyle daha ayrıntılı veriler gerektirir ve bu, geniş alanlara uygulanırken daha fazla zorluğa yol açacaktır. Ayrıca, bazı hidrolojik modeller ücretsiz olarak mevcut değildir ve bu nedenle satın alınmış bir lisans gerektirir (Al-Komaim, 2018).

4.2.3 HM ve CBS/UA ile Entegre MCA

MCA, çeşitli kriterlerin verilerini birleştiren bir analiz yöntemidir. Tüm kriterler için eşit ağırlık varsaymak yerine, her bir kriter için göreceli bir ağırlık tahmin etmek, MCA'nın ana kurallarından biridir. Ek olarak, MCA iki veya daha fazla alternatifi karşılaştırarak uygun alternatifi önerir (Banai-Kashani, 1989).

MCA, HM ve CBS gibi tekniklerin entegrasyonu, YSH uygun sahalarının tanımlanması için iyi bir araçtır. Bu entegre yöntem, tüm tekniklerin güçlü yönlerinden yararlanarak çeşitli çalışmalarda yaygın olarak uygulanmaktadır ve hem nitel hem de nicel faktörlerle başa çıkmada yüksek esnekliğe sahiptir, ancak veri açısından zengin bölgeler için önerilir (Ammar ve diğ., 2016).

4.2.4 MCA ile Entegre CBS

YSH için uygun yerlerin seçilmesine yönelik bu yöntemde, MCA, HM'yi dahil etmeden CBS ile entegre edilmiştir. Bu yöntem, farklı alan büyüklüklerine sahip farklı bölgelerde oldukça esnek ve kriterler kolayca değiştirilebilir veya güncellenebilir. MCA - CBS uygulaması, özellikle veri açısından fakir bölgelerde YSH için uygun yerleri tahmin etmekte etkili bir araçtır (Ammar ve diğ., 2016). Ayrıca Tumbo ve diğ. (2016) MCA-CBS yöntemi ile oluşturulan uygunluk haritasını, yerli çiftçilerin bilgisine dayalı olarak elde edilen mevcut YSH teknolojileri ile karşılaştırmıştır. Sonuçlar, YSH teknolojilerinin yüksek bir yüzdesinin çok yüksek uygunluk seviyelerinde bulunduğunu göstermiştir. Bu yöntemin sonuçları ile çiftçilerin yerel deneyimlerinin güçlü bir şekilde eşleşmesi, onu güçlü bir yöntem haline getirmektedir.

4.3 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde karmaşık yapıda olan problemlerin çözülmesindeki tek ölçütlü analiz modellerinin yetersiz kaldığı bilinmektedir. Tek ölçütlü analizlerdeki temel varsayım, modeldeki diğer ölçütlerin etkilerinin sabit kabul edilmesi ve her yinelemede tek bir ölçütün göz önünde bulundurulmasıdır. Fakat, gerçekte olaylar ve objeler sadece tek bir faktörün etkisi altında olmadan, fazla sayıda iç ve dış faktörün ortak etkisi altında oluşmakta ve kompleks bir yapı sergilemektedir. Dolayısıyla olayların ve objelerin, birden fazla değişkenli yorumların ortak etkilerine göre tanımlanarak şekillenmesi daha doğru olacaktır. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin kullanım amacı, kriter ve alternatif sayılarının birden fazla olduğu durumlarda karar verme mekanizmasını kontrol altında tutup karar sonucunu mümkün olduğu kadar kolay ve doğru bir biçimde elde etmektir (Saral, 2010).

Bu yöntemin kullanılmasının amacı, havza içindeki en uygun YSH bölgelerini belirlemektir. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, farklı kriterlere dayalı CBS tabanlı karar vermede çok yaygın bir yöntemdir. Bununla birlikte, karar faktörlere veya kısıtlamalara dayanabilir. Faktörler bir alanın uygunluğunu artırır ve kısıtlamalar uygunluğu sınırlar (Al-Komaim, 2018).

CBS ile entegre edilebilen birçok Çok Kriterli Karar Verme yöntemi bulunmaktadır ve bu yöntemler aşağıda verilmiştir (Saral, 2010).

- Ağırlıklı Çarpım Yöntemi (Weighted Product Method)
- Analitik Hiyerarşi Yöntemi (Analytic Hierarchy Process)
- Basit Ağırlıklı Toplam Yöntemi (Simple Additive Weighting Method)
- Bulanık Ağırlıklı Toplam Yöntemi (Fuzzy Additive Weighting Method)
- Bulanık Mantık İşlemi (Fuzzy Aggregation Operation)
- Değer/Fayda Fonksiyonu Yaklaşımı (Value/Utility Function Approach)
- İdeal Nokta Yöntemi (Ideal Point Method)-Örn: TOPSIS
- Sıralı Ağırlıklı Ortalama (Ordered Weighted Average)
- Uyum Yöntemi (Concordance Method)-Örn: ELECTRE

4.3.1 Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process - AHP), karmaşık karar vermeyi ele almak için etkili bir yöntemdir ve bir kararın hem öznel hem de nesnel yönlerini yakalamaya yardımcı olur. Bu yöntem ilk olarak Saaty (1980) tarafından geliştirilmiştir (Al-Komaim, 2018). 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 (Bozdoğan ve Canpolat, 2022). Kısacası AHP, karar vericinin tüm alternatifleri tüm kriterler altında değerlendirerek, göreceli önemlerine göre ikili karşılaştırmalar yapmasına dayanmaktadır (Saral, 2010).

Modelde, problem olarak düşünülen faktöre yönelik bir amaç ve bu amaca yönelik ölçütler, alt ölçütler ve seçenekler belirlenir, akışa dahil edilen problemin kriterlerine önem değeri verilir. Hiyerarşi içerisinde her bir kriter, kendisinden bir önceki kritere bağlı olarak çalışır ve bu kritere göre önemi hesaplanarak modele dahil edilir. Bu kriterlere yönelik önem katsayılarının ve ikili karşılaştırmalı matrisinin (4.11) oluşturulmasında Tablo 4.3'teki ölçek kullanılmaktadır (Bozdoğan ve Canpolat, 2022).

Tablo 4.3: Saaty'in Tercih Ölçeği (Saaty, 1980)

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

4.3.1.1 İkili Karşılaştırma Matrisi

Kriterlerin öneminin birbirine göre karşılaştırıldığı bu matris, boyutu kriter sayısı büyüklüğünde bir kare matris olmakla birlikte Tablo 4.3'teki karşılaştırma değerlerine göre oluşur.

$$\begin{bmatrix} a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Bu matris (4.11) oluşturulurken ilgili kriterin kendisi ile karşılaştırıldığı satır olan matrisin köşegen değeri 1 değerini alırken, karşılıklı satır ve sütunlar birbirinin tersi değerini alırlar (4.12).

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (4.12)$$

4.3.1.2 Normalleştirilmiş Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlıkların Elde Edilmesi

İkili karşılaştırma matrisinin her elemanı, bulunduğu sütunun toplamına bölünerek normalleştirilmiş karşılaştırma matrisi oluşturulur (4.13). Bu matrisin satırlarının ortalaması, o satırdaki kriterin ağırlık değerini verir.

$$a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.13)$$

4.3.1.3 Tutarlılık Oranının Hesabı

Analitik Hiyerarşi Sürecinde meydana gelebilecek olası tutarsızlıklar, Consistency Ratio - CR (Tutarlılık Oranı) olarak tanımlanan bir değer ile değerlendirilebilir. Consistency Ratio, Denklem 4.14'teki gibi hesaplanır ve bu değer üst limiti 0.10 (%10)'dur. Yani bu değer 0.10'dan düşük ise genel olarak oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin ve elde edilen ağırlık değerlerinin tutarlılığından, fakat değer 0.10'dan fazla ise genel olarak bir tutarsızlığın olduğundan bahsedilebilir. Böyle bir durum ile karşılaşıldığında ikili karşılaştırma matrisindeki kriterler arasında verilmiş olan önem katsayıları değiştirilerek bu değer tutarlılığı sağlayacak hale getirilmelidir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.14)$$

Burada RI – Random Index (Rastgelelik İndeksi) Tablo 4.4'e göre belirlenmekle birlikte, CI - Consistency Index (Tutarlılık İndeksi), Denklem 4.15 ile hesaplanır. Bu hesaplamalarda n, kriter sayısıdır.

Tablo 4.4: Rastgelelik İndeksi Değerleri (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4.15)$$

Burada λ , 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.

4.3.2 Potansiyel YSH Bölgeleri Belirlemek için Kriterler

Potansiyel yağmur suyu hasadı bölgelerini seçmek için Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından listelenen altı temel faktör iklim, hidroloji, topografya, tarım bilimi, topraklar ve sosyoekonomidir (Kahinda ve diğ., 2008). Veri eksikliği ve sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırmak için sosyoekonomik faktörlerin yanı sıra toprak sınıflarının havzaya dağılımı çok değişken olmaması nedeniyle fazla sınıfa ayırlamayacağı ve diğer kriterlerle uyumsuzluk yaratacağı için toprak sınıfları da dikkate alınmamıştır.

4.3.2.1 Eğim

Alanın eğimi veya topografik özellikleri, yağmur suyu hasadı 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 (Al-Ghobari ve Dewidar, 2021).

4.3.2.2 Drenaj Yoğunluğu

YSH uygun bölgeleri belirlemede etkili bir diğer kriter de drenaj yoğunluğudur. Nehirlerden çok uzakta bulunan alanlar, buharlaşma ve sızıntı 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 (Kumar ve Jhariya, 2016).

4.3.2.3 Arazi Kullanımı

YSH için uygun alanların belirlenmesini etkileyen faktörlerden biri de arazi kullanımı/örtüsüdür. Bu kriter hem arazi kullanımı değişikliklerini hem de yağış

nehir havzalarının hidrolojik reaksiyonunu etkiler. Esasen arazi kullanımı, yağış ve akış ile ilişkili olmakla birlikte akışın gerçekleşmesi için yeterliliği sağlar. 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 (Al-Ghobari ve Dewidar, 2021).

4.3.2.4 Akış Potansiyeli

Direkt olarak yağmur suyu hasadının kaynağı olacak yüzey suyu ile ilgili olduğu için en önemli kriterdir. Alanın akış potansiyeli, yüzey suyunun beslenmesini ve hareketini etkiler (Kumar ve Jhariya, 2016).

5. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

Bu bölümde Serinhisar Havzası için hasat edilebilecek yağmur suyu miktarının hesabı ile birlikte havza içinde yağmur suyu hasadı yapılabilecek ideal bölgelerin belirlenmesi sırasındaki sayısal süreçler ve sonuçları ayrı başlıklar altında adım adım verilmiştir.

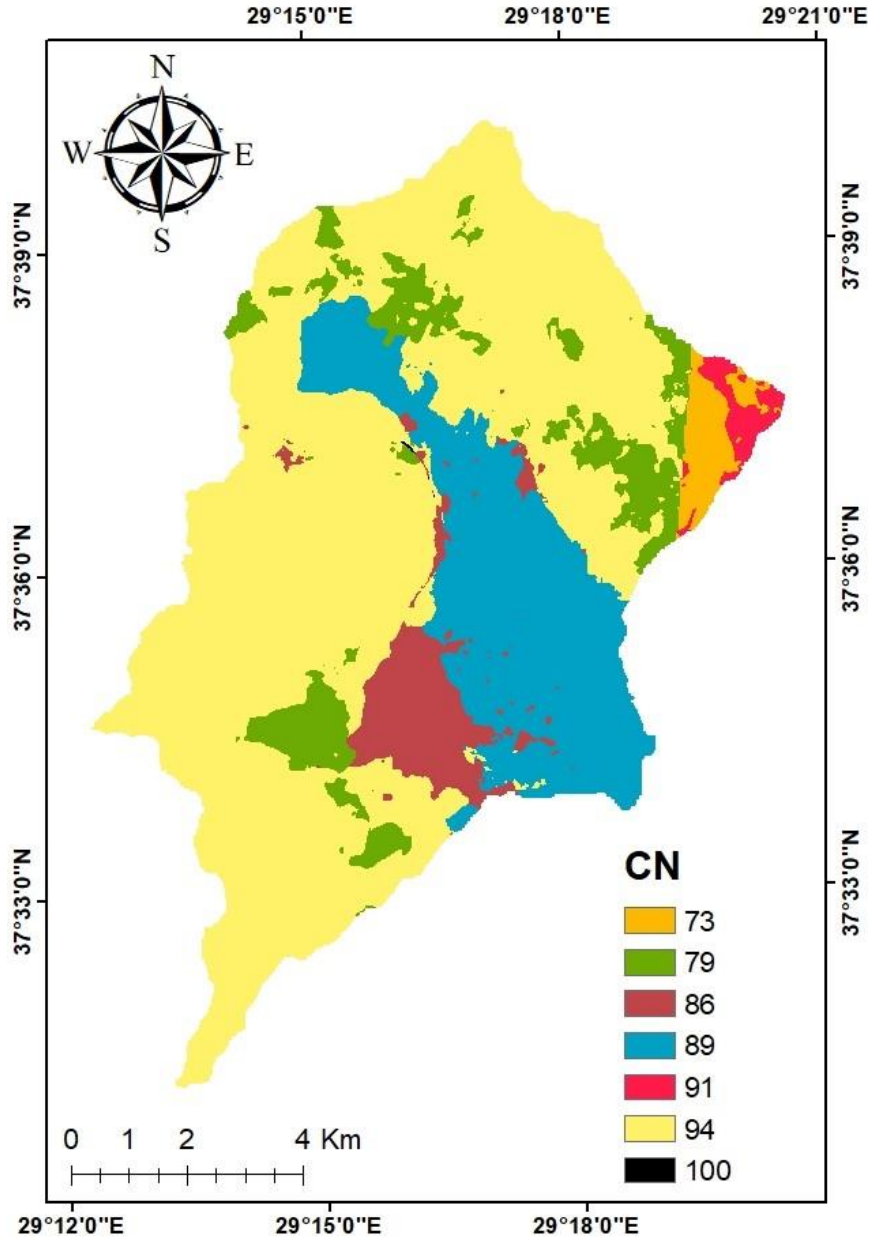
5.1 Eğri Numarası (CN) Değerlerinin Hesabı

Raster veri olarak bulunan arazi kullanımı ve hidrolojik toprak grubu haritalarının birbiriyle eşleştirilmesini sağlayan kodların (EK A) “Raster Calculator” işleminde kullanılması sonucu eğri numaralarını içeren yeni bir harita elde edilmiştir (Şekil 5.1).

Elde edilen 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 düşük yağışın büyük bir bölümünün akışa dönüştüğünden bahsedilebilir. CN numaralarının alansal dağılımının sayısal değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Haritada, havza alanı üzerinde hidrolojik toprak gruplarının sadece iki sınıfta (C ve D) ve homojen bir şekilde dağılması sebebiyle havza alanındaki CN değerlerinin dağılımı arazi kullanımı haritasının dağılımına benzerlik göstermiştir.

Tablo 5.1: Havza Alanı Eğri Numaraları (CN) Oranları

CN	Alan(km ²)	Alan(%)
73	2.03	2.14
79	8.15	8.56
86	5.34	5.61
89	18.80	19.76
91	1.12	1.17
94	59.68	62.74
100	0.01	0.02
Toplam	95.13	100.00



Şekil 5.1: Havza Eğri Numarası (CN) Haritası

Bu alansal dağılımların ağırlıklandırılması ile havza ortalama eğri numarası değeri (CN_{II}) hesaplanmıştır ve bu değerden hareketle diğer AMC koşulları için olan eğri numarası değerleri hesaplanmıştır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2: Havza Ortalama Eğri Numarası Değerleri

CN_I	CN_{II}	CN_{III}
80.56	90.80	95.78

Elde edilen ortalama CN değerleri akış değerlerinin hesabında S'in belirlenmesinde kullanılmıştır.

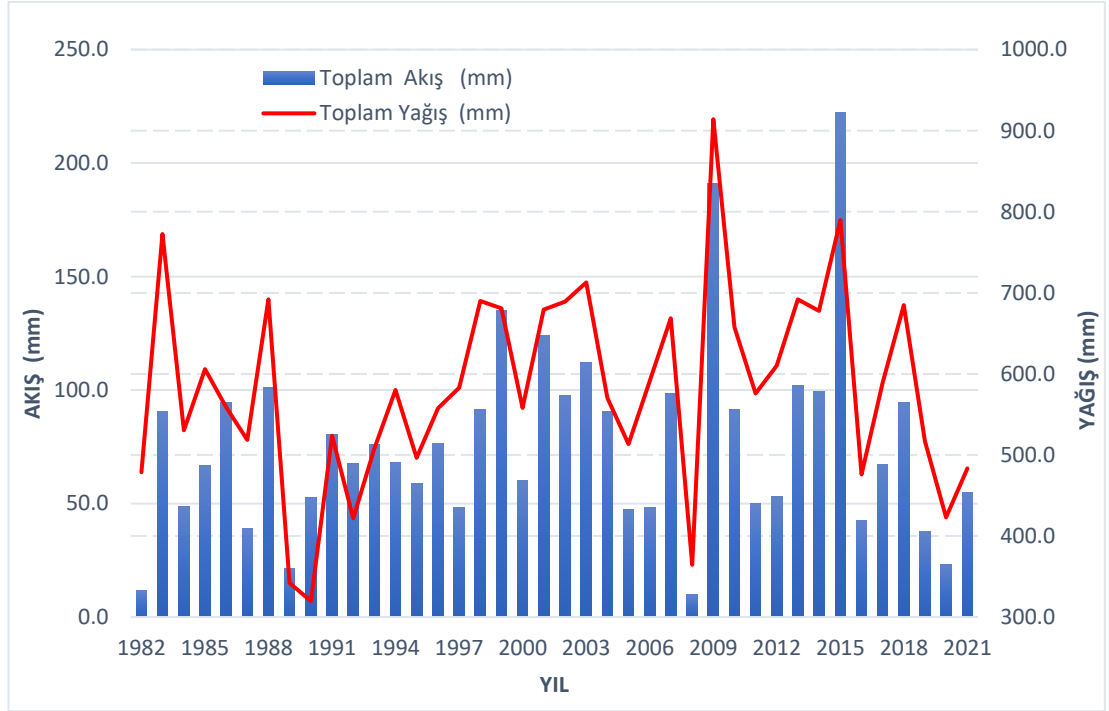
5.2 SCS-CN Metodu ile Akış Değerlerinin Hesabı

SCS-CN Metodunda bahsi geçen formüller ve hesap adımları Microsoft Office Excel programına işlenerek yağış verisinin her yılına uygulanmıştır ve yıllık toplam akışlar elde edilmiştir. Yapılan programlamada AMC koşulu, kendinden önceki 5 satırın toplamının alacağı değere göre belirlenmektedir. Excel hesap tablosu bir aylık örnek olarak Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3: SCS-CN Metodu Örnek Excel Hesap Tablosu

Tarih	P-Yağış (mm)	AMC Koşulu	CN	S(mm)	Q-Akış (mm)	Q-Akış (m ³)
1.12.2018	0.3	I	80.6	61.3	0.0	0
2.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
3.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
4.12.2018	2.4	I	80.6	61.3	0.0	0
5.12.2018	0.5	I	80.6	61.3	0.0	0
6.12.2018	14.1	I	80.6	61.3	0.1	5092
7.12.2018	1.7	II	90.8	25.8	0.0	0
8.12.2018	0.0	II	90.8	25.8	0.0	0
9.12.2018	0.0	II	90.8	25.8	0.0	0
10.12.2018	20.2	II	90.8	25.8	5.6	528144
11.12.2018	20.2	III	95.8	11.2	11.1	1052565
12.12.2018	12.1	III	95.8	11.2	4.6	439318
13.12.2018	0.0	III	95.8	11.2	0.0	0
14.12.2018	6.2	III	95.8	11.2	1.0	98476
15.12.2018	4.9	III	95.8	11.2	0.5	48613
16.12.2018	0.3	III	95.8	11.2	0.0	0
17.12.2018	1.3	II	90.8	25.8	0.0	0
18.12.2018	1.1	I	80.6	61.3	0.0	0
19.12.2018	11.5	II	90.8	25.8	1.3	119508
20.12.2018	0.0	II	90.8	25.8	0.0	0
21.12.2018	0.0	II	90.8	25.8	0.0	0
22.12.2018	0.0	II	90.8	25.8	0.0	0
23.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
24.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
25.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
26.12.2018	12.4	I	80.6	61.3	0.0	30
27.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
28.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
29.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
30.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0
31.12.2018	0.0	I	80.6	61.3	0.0	0

Örnek hesap tablosundaki hesaplama, yıllık olarak yapılarak tüm yılların akış derinlikleri ve hacimleri elde edilmiştir. Yıllık toplam akış derinliği değerleri, Şekil 5.2'deki grafikte yağış değerleri ile karşılaştırılarak özetlenmiştir. Bu karşılaştırmada yağış çizgisinin akış sütununa yaklaştığı veya kestiği yıllar, diğer yıllara göre yağışın akışa dönüşme yüzdesinin yüksek olduğu yıllar olarak gözlemlenmiştir. Hesaplanan bu değerler ayrıca EK B'de tablo olarak verilmiştir.

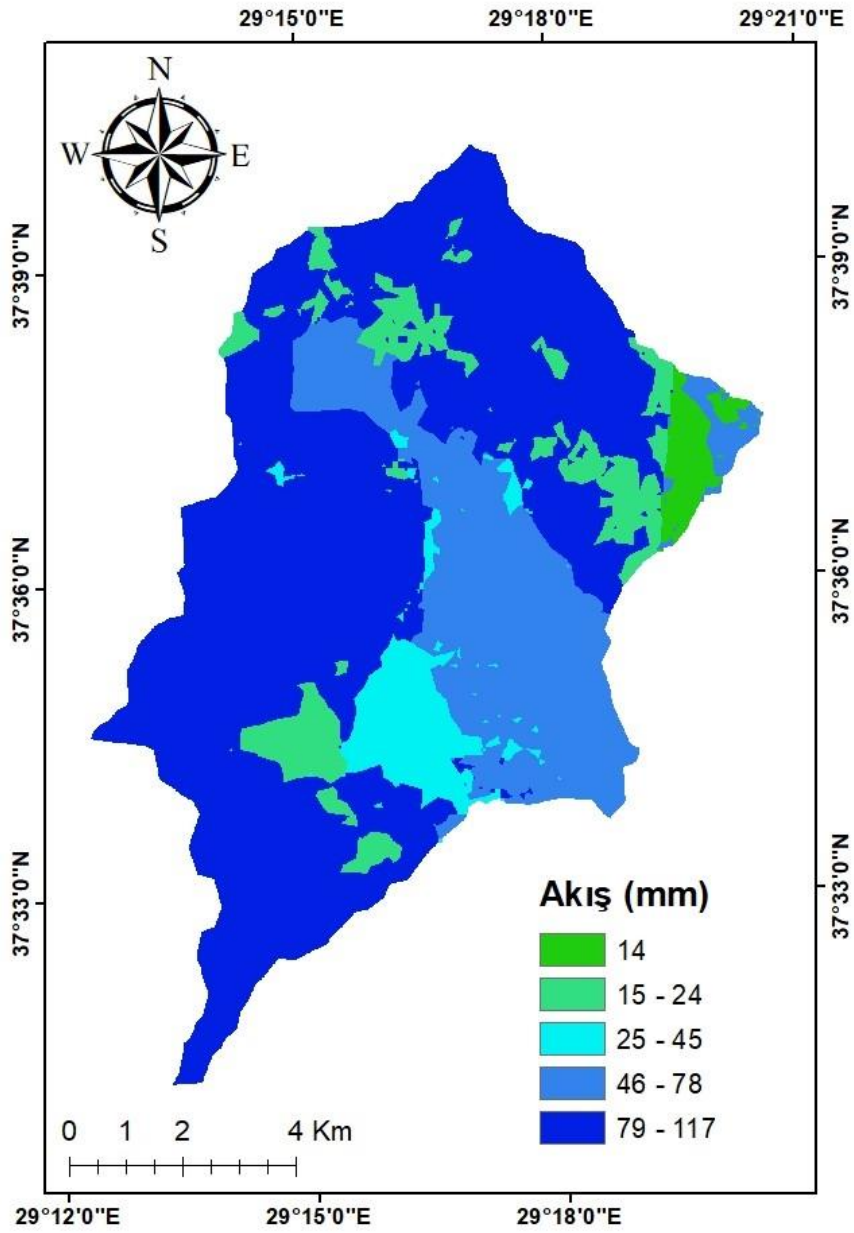


Şekil 5.2: Karşılaştırmalı Yıllık Toplam Yağış-Akış Grafiği

Akış yüzdelerinin genel olarak düşük olmasının sebebi bölgedeki yağışlı gün sayısının düşük olmasından kaynaklı olarak önceki nem durumu koşullarının kuru koşullarda olmasıdır. Kuru koşullardaki CN katsayısının düşük olmasıyla birlikte potansiyel maksimum sızmanın (S) artması sonucu yağın yağmur toprak tarafından tutulur. Aynı şekilde yağışlı olan bazı günlerin, yağış miktarının az olması ve toprağın nem durumunun kuru koşullarda olmasından dolayı yağın yağmurun toprak tarafından tutulduğu ve akışa geçemediği görülür. Bu nedenle yağışların düzensiz olduğu bölgelerde akışa geçme yüzdesi az olur. Havza alanı bölgesi de bu şekilde kabul edilebilir.

5.3 Akış Potansiyeli Haritasının Elde Edilmesi

Akış potansiyeli haritası, havza alanındaki CN değerlerinin dağılımına göre oluşturulmuştur. Havza alanında dağılan 6 farklı CN değerinden her biri ağırlıklı CN değeri kabul edilerek oluşturacağı akışlar elde edilmiştir ve CN haritasına işlenmiştir. Böylece potansiyel yağmur suyu hasadı bölgelerini belirlemek için kullanılan uygunluk kriterlerinden biri olan akış potansiyeli de elde edilmiştir. Akış potansiyeli değerleri diğer kriterler gibi beş sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 5.3: Havza Akış Potansiyeli Haritası

5.4 AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kullanılacak olan kriterler, önem katsayıları verilerek birbirlerine göre karşılaştırılmış ve ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4: Kriterler Arası İkili Karşılaştırma Matrisi

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

Kriterlere birbirlerine göre önem katsayıları verilirken, önem sırası; akış potansiyeli, eğim, drenaj yoğunluğu, arazi kullanımı olarak kabul edilmiştir (Mahmood ve diğ., 2020; Mugo ve Odera, 2019).

İkili karşılaştırma matrisinin her bir sütunu ayrı ayrı toplanarak ve kendi sütunundaki her bir elemana bölünerek normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir (Tablo 5.5).

Tablo 5.5: Normalleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlıklar

Uygunluk Kriterleri	Arazi Kullanımı	Drenaj Yoğunluğu	Eğim	Akış Potansiyeli	Ağırlık (%)
Arazi Kullanımı	0.08	0.05	0.07	0.10	7.36
Drenaj Yoğunluğu	0.23	0.16	0.13	0.16	17.15
Eğim	0.31	0.32	0.27	0.25	28.40
Akış Potansiyeli	0.38	0.47	0.53	0.49	47.09

Normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisindeki her satırın elemanlarının ortalamaları alınmıştır ve kriterlerin ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.6: Matris Tutarlılığını Belirleme Değerleri

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

Tablo 5.6'daki değerler hesaplanıp göz önüne alındığında ikili karşılaştırma matrisi ve kriter ağırlıklarının tutarlı olduğu kabul edilmiştir.

5.5 Havza Yağmur Suyu Hasadı Potansiyeli

Serinhisar Havzası yağmur suyu hasadı potansiyeli, havza üzerindeki uygun bölgeler ve hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı ile belirlenmiştir.

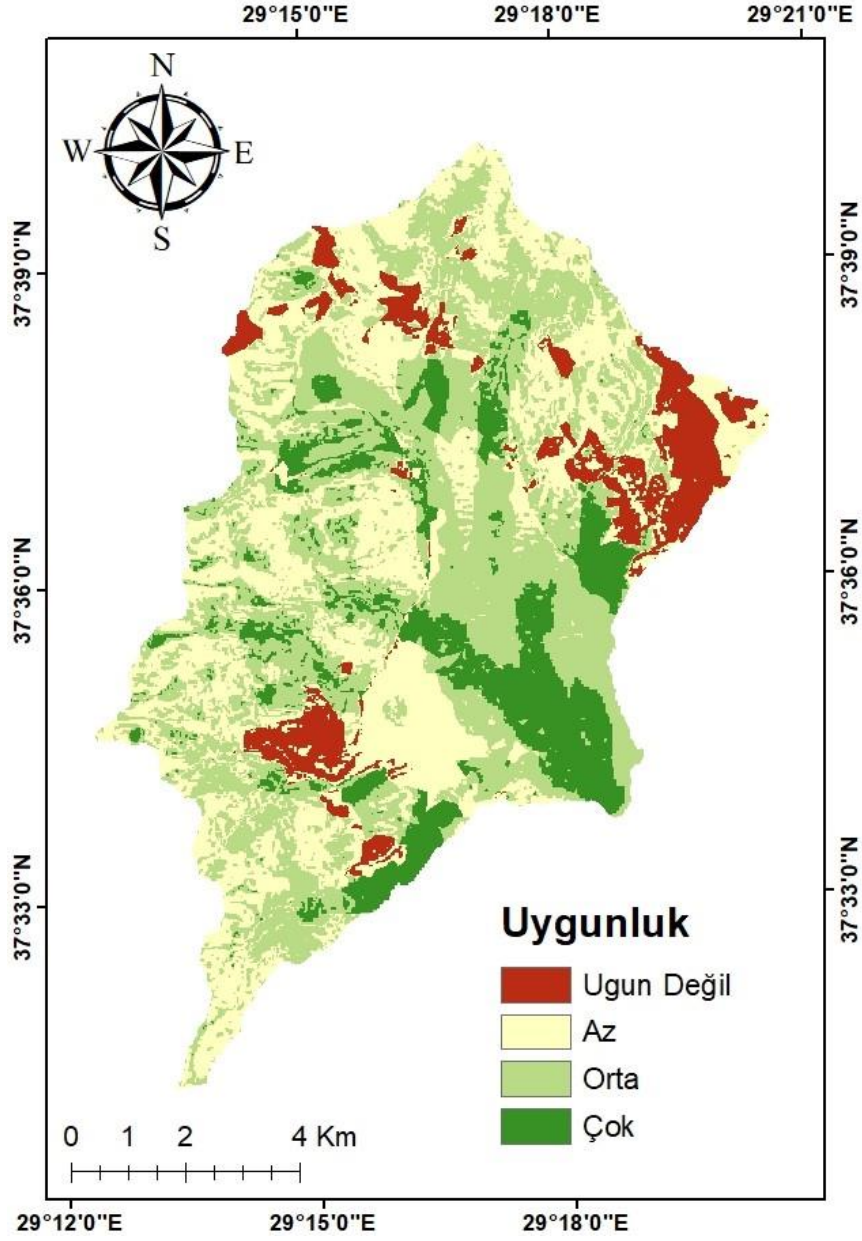
5.5.1 Potansiyel Yağmur Suyu Hasadı Bölgelerinin Belirlenmesi

AHP sonucunda elde edilen ağırlık değerleri ve haritaların CBS kullanılarak birleştirilmesinde belirlenmiş olan alt kriterlerin önem katsayıları Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7: Ayrıntılı Kriter Ağırlıkları ve Alt Kriterler

Kriter	Ağırlık (%)	Alt Sınıflandırma	Önem (1-9)
Arazi Kullanımı	7	Su	1
		Yerleşim	5
		Orman	2
		Tarım	6
		Çıplak Toprak/Dağ	8
Drenaj Yoğunluğu (m/m ²)	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

Raster veriler halindeki haritalar birleştirilmeden önce, her biri eşit piksel boyutuna (10x10m) dönüştürülmüştür. Haritalar, Tablo 5.7’deki ağırlıklara ve alt kriter önem katsayılarına göre “Weighted Overlay” işlemi kullanılarak birleştirilmiştir.



Şekil 5.4: Havza Potansiyel Yağmursuyu Hasadı Bölgeleri Haritası

Elde edilen haritada (Şekil 5.4), havzanın %8.76'sını yağmur suyu hasadına uygun olmayan bölgeler, %36.80'ini az uygun olan bölgeler, %40.54'ünü orta uygunlukta olan bölgeler ve %13.90'mı da en uygun bölgeler kaplamaktadır. Yağmur suyu hasadına en uygun bölgeler eğimin düşük olmasıyla birlikte yağmur suyu hasadı yapılarının kullanılabilceği ve aynı zamanda su akış potansiyelinin de yüksek olduğu yerler olarak düşünülebilir. Buna karşın su hasadına uygun olmayan bölgeler ise ormanlık ve eğimin yüksek olduğu bölgelerdir. Dağılım oranlarından hareketle havza alanının yarısından fazlasında yağmur suyu hasadı yapılabileceği kabul edilmiştir.

5.5.2 Hasat Edilebilecek Potansiyel Yağmur Suyu

Eksik yılları sentezlenip 40 yıla tamamlanan günlük yağış verilerinin oluşturacağı akış derinlikleri SCS-CN metodu ile hesaplanmıştır. Hesaplanan günlük akış verilerinin toplamında oluşan yıllık akış değerlerinin ortalaması alındığında havzadan yıllık elde edilebilecek akış derinliği ve hacmi belirlenmiştir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8: Yıllık Ortalama Yağış ve Akış Miktarları

Yıllık Ortalama Yağış (mm)	582.4
Yıllık Ortalama Akış (mm)	76.1
Akış Yüzdesi (%)	13.1
Yıllık Ortalama Akış (m ³)	7,244,147

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında CBS kullanılarak uydu görüntüleri ile havza modellemesi yapılmıştır. Modellenen havzaya arazi kullanımı ve hidrolojik toprak grubu haritaları eklenmiştir. Yağış verileri, havza alanına etki eden ve uzun yıllar yağış verisi barındıran Denizli ve Acıpayam meteoroloji istasyonlarına Thiessen yöntemi uygulanıp elde edilen yağış verileri ile Serinhisar meteoroloji istasyonunun mevcut yağış verileri basit doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonucu elde edilen denklem ile Serinhisar'ın 1982-2021 yılları eksik yağış verileri tamamlanmıştır. SCS-CN metodu ve havza modeli birbirine entegre edilerek, tamamlanmış yağış verilerinin havza üzerinde oluşturacağı yüzey akışı hesaplanmıştır ve bu akış verileri havza modeline işlenmiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, CBS ile entegre edilerek, havzadaki potansiyel yağmur suyu hasadı bölgeleri 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 yağmur suyu hasadı yapılarına uygunluğu bakımından değerlendirilmiştir.

Çalışmada yağmur suyu hasadının önemi belirtilerek örnek yağmur suyu hasadı projelerine yer verilmiş olup tarımsal yağmur suyu hasadı ve tekniklerine değinilmiştir.

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

Çalışma sonucunda Serinhisar havzasının yağmur suyu hasadı potansiyeli belirlenmiştir. İlçe merkezindeki tarım arazilerinin konumu ve yıllık kullanılan sulama suyu göz önünde bulundurulduğunda bu sulamanın tamamı toplanabilecek

yağmur suları ile karşılanabilir. Ayrıca ilçe sınırları içindeki tarım arazilerinin su ihtiyacı kabaca hesaplandığında bu ihtiyacın yaklaşık %40 kadarı yağmur suları ile karşılanabilir. İlçedeki sulanan tarım arazilerinin tümünün sulama ihtiyacı pompaj kuyularından çekilen sular ile karşılanmaktadır. Yağmur suları ile yapılabilecek sulama, pompaj kuyularının kullanımına alternatif olacaktır. Böylece yeraltı suyu seviyesi de korunmuş olacaktır. Ayrıca sulamada içme suyu kullanımının da önüne geçilerek içme suyunun üzerindeki yükü birlikte bölgedeki içme suyu problemi de azalacaktır.

Sonraki çalışmalarda potansiyel bölgeler üzerinde farklı yağmur suyu hasadı yapıları özelinde yapılacak uygun yer seçimi çalışmalarıyla birlikte çalışmanın daha büyük ölçekteki havzalarda uygulanması düşünülmektedir.

Tespit edilen potansiyel yağmur suyu hasadı bölgelerinde daha sağlam veri setleriyle bölge üzerinde saha çalışmaları ve ayrıntılı çalışmalar yapılarak uygun yağmur suyu hasadı yapılarının projelendirilmesi ve sulamada yağmur sularının kullanımının sağlanması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

Abbasi, N. A., Xu, X., Lucas-Borja, M. E., Dang, W. and Liu, B., “The use of check dams in watershed management projects: Examples from around the world”, *Science of The Total Environment*, 676, 683-691, (2019).

Agarwal, R., Garg, P. K. and Garg, R. D., “Remote Sensing and GIS Based Approach for Identification of Artificial Recharge Sites”, *Water Resources Management*, 27(7), 2671-2689, (2013).

Aladenola, O. O. and Adeboye, O. B., “Assessing the Potential for Rainwater Harvesting”, *Water Resources Management*, 24(10), 2129-2137, (2009).

Al-Ghobari, H. and Dewidar, A. Z., “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).

Al-Komaim, M. D. A., “Site Suitability Analysis for Different Indigenous Rainwater Harvesting Systems - A Case Study of Sana’a Water Basin”, Master's Thesis, *Wageningen University and Research* (2018).

Altıparmak, S. ve Türkoğlu, N., “Yakacık Çayı Havzasının (Hatay) Morfometrik Analizi”, *The Journal of the Faculty of Languages and History-Geography*, 58(1), 353-374, (2018).

Ammar, A., Riksen, M., Ouessar, M. and 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).

Banai-Kashani, R., “A new method for site suitability analysis: The analytic hierarchy process”, *Environmental Management*, 13(6), 685-693, (1989).

Behzadian, K. and Kapelan, Z., “Advantages of integrated and sustainability based assessment for metabolism based strategic planning of urban water systems”, *Science of The Total Environment*, 527-528, 220-231, (2015).

Bozdoğan, M. and Canpolat, E., “Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) İle Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası’nın Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi”, *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(1), 33-53, (2022).

Cronshey, R., *Urban hydrology for small watersheds*, Washington DC ,USA: US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division, (1986).

DSİ Genel Müdürlüğü, “Denizli-Serinhisar İlçe Merkezi Arazileri Çaykesiği, Kavaklar, Sarp, Hamamcıçeşmesi, Domuzdere, Kapuz ve Değirmendere Dereleri TK İstikşaf Raporu”, Denizli, (2013).

Denizli Ticaret Borsası, “Denizli Tarım ve Hayvancılık Envanteri”, (2018).

Doğmaz, M., “Batı Akdeniz bölgesi akarsularının akım karakteristiklerinin havza fizyografik parametreleri ile belirlenmesi”, Master's Thesis, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2018).

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, (2015).

Eren, B., Aygün, A., Likos, S. and Damar, A. İ., “Yağmursuyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü Potansiyelinin Değerlendirilmesi”, *Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 1-5., (2016).

ESRI, “Esri Land Cover [online]”, (4 Haziran 2022), <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>, (2021).

Food and Agriculture Organization of the United Nations, ”Digital Soil Map of the World [online]”, (4 Haziran 2022), <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>, (1977).

Görcelioğlu, E., “Havza ortalama yağışının bulunmasında yeni bir yöntem” *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 33(1), 222-237, (1983).

Güzel, İ. and Benli, A., “Bingöl Şehir Merkezine Yakın Devlet Yollarında Yağmur Suyu Hasadı Ve Hidroelektrik Potansiyelinin İncelenmesi”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 405-417, (2020).

Horton, R. E., “Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology”, *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370, (1945).

Ibrahim, G. R. F., Rasul, A., Hamid, A. A., Ali, Z. F. and Dewana, A. A., “Suitable Site Selection for Rainwater Harvesting and Storage Case Study Using Dohuk Governorate”, *Water*, 11(4), 864, (2019).

Kahinda, J. M., Lillie, E. S. B., Taigbenu, A. E., Taute, M. and Boroto, R. J., “Developing suitability maps for rainwater harvesting in South Africa”, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(8-13), 788-799, (2008).

Kılıç, S., “Doğrusal regresyon analizi”, *Journal of Mood Disorders*, 3(2), 90-92, (2013).

Kumar, T. and Jhariya, D. C., “Identification of rainwater harvesting sites using SCS-CN methodology, remote sensing and Geographical Information System techniques”, *Geocarto International*, 32(12), 1367-1388, (2016).

Lani, N. H. M., Yusop, Z. and Syafiuddin, A., “A Review of Rainwater Harvesting in Malaysia: Prospects and Challenges”, *Water*, 10(4), 506, (2018).

Mahmood, K., Qaiser, A., Farooq, S. and Nisa, M. un. “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).

Mahmoud, S. H., “Delineation of potential sites for groundwater recharge using a GIS-based decision support system”, *Environmental Earth Sciences*, 72(9), 3429-3442, (2014).

McCuen, R. H., “Approach to Confidence Interval Estimation for Curve Numbers”, *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(1), 43-48, (2002).

Mishra, S. K. and Singh, V. P., “SCS-CN Method”, 84-146, (2003).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “Meteorolojik Parametreler [online]”, (1 Ağustos 2022), <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace>, (2022).

Mugo, G. M. and Odera, P. A., “Site selection for rainwater harvesting structures in Kiambu County-Kenya” *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 155-164, (2019).

Oweis, T., Prinz, D. and Hachum, A., *Water harvesting: indigenous knowledge for the future of the drier environments*, Aleppo, Syria: ICARDA, (2001).

Örs, İ., Safi, S., Ünlükara, A. and Yürekli, K., “Su Hasadı Teknikleri, Yapıları ve Etkileri”, *Reserach Journal of Agricultural Sciences*, 2, 65-71, (2011).

Pamuk Mengü, G. and Akkuzu, E., “Küresel Su Krizi ve Su Hasadı Teknikleri”, *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(2), 75-85, (2008).

Rahimi, R., “Helmand Bölgesi akarsularının akım karakteristiklerinin havza fizyografik parametreleri ile belirlenmesi”, Master's Thesis, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2021).

Rallison, R.E., “Origin and Evolution of the SCS runoff equation”, *Proc., A.S.C.E. Irrig. and Drain. Symp. on Watershed Management*, A.S.C.E., New York, N.Y., Vol. II, 912–924, (1980).

Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, New York: McGraw-Hill, (1980).

Saral A., “Çok Kriterli Karar Verme ve Bilgi Difüzyonu Yöntemleri Yardımıyla, Taşkın Risk Analizi Yazılımının Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü*, İstanbul, (2010).

Serinhisar Belediyesi, “Serinhisar Tarihçe [online]”, (10 Ekim 2022), <https://www.serinhisar.bel.tr/serinhisar/tarihce/>, (2022).

Tanık, A., “Yağmur Suyu Toplama, Biriktirme ve Geri Kullanımı”, *Su Kaynakları ve Kentler Konferansı*, Kahramanmaraş, (2017).

Tumbo, S., Mbilinyi, B., Mahoo, H. and Mkilamwinyi, F., “Identification of Suitable Indices for Identification of Potential Sites for Rainwater Harvesting”, *Tanzania Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), (2016).

T.C. Denizli Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, “Denizli İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu”, Denizli, (2020).

Türkiye İstatistik Kurumu, “Coğrafi İstatistik Portalı [online]”, (5 Ekim 2022), <https://cip.tuik.gov.tr/>, (2022).

United States Geological Survey, “USGS EarthExplorer [online]”, (10 Ocak 2022), <https://earthexplorer.usgs.gov/>, (2000).

Van Mullem, J. A., “Runoff and Peak Discharges Using GreenAmpt Infiltration Model”, *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3), 354-370, (1991).

Yeniçeri, M., “Yağmur Sularının Hasadı ve Aktif Olarak Tarımsal Sulamada Kullanılması”, *Journal of Disaster and Risk*, 1(2), 126-136, (2018).

EKLER

8. EKLER

EK A CN Haritası Oluşturulurken Kullanılan Kod

Con(("rasterlulc"==1),100,

Con(("rasterlulc"==2) & ("rastersoil"==3),81,

Con(("rasterlulc"==2) & ("rastersoil"==4),86,

Con(("rasterlulc"==3) & ("rastersoil"==3),73,

Con(("rasterlulc"==3) & ("rastersoil"==4),79,

Con(("rasterlulc"==4) & ("rastersoil"==3),85,

Con(("rasterlulc"==4) & ("rastersoil"==4),89,

Con(("rasterlulc"==5) & ("rastersoil"==3),91,

Con(("rasterlulc"==5) & ("rastersoil"==4),94, 0)))))))))

EK B Havza Yıllık Toplam Yağış ve Akış Değerleri

Tablo EK B.1: Havza Yıllık Toplam Yağış ve Akış Değerleri

Yıl	Toplam Yağış (mm)	Toplam Akış (mm)	Akış Yüzdesi (%)	Toplam Akış (m ³)
1982	478.6	11.8	2.5	1,118,265
1983	772.6	90.7	11.7	8,628,545
1984	530.2	48.8	9.2	4,641,689
1985	606.0	66.7	11.0	6,341,116
1986	559.0	94.7	16.9	9,005,511
1987	518.4	38.8	7.5	3,691,671
1988	692.0	101.3	14.6	9,633,671

Tablo EK B.1 (devam): Havza Yıllık Toplam Yağış ve Akış Değerleri

Yıl	Toplam Yağış (mm)	Toplam Akış (mm)	Akış Yüzdesi (%)	Toplam Akış (m ³)
1989	341.9	21.3	6.2	2,028,547
1990	319.7	52.5	16.4	4,990,738
1991	523.7	80.5	15.4	7,654,275
1992	421.9	67.7	16.0	6,435,757
1993	507.7	76.1	15.0	7,238,902
1994	580.0	68.1	11.7	6,479,015
1995	496.4	58.9	11.9	5,599,597
1996	557.5	76.5	13.7	7,282,066
1997	583.0	48.4	8.3	4,602,317
1998	690.1	91.4	13.2	8,691,559
1999	680.8	134.9	19.8	12,834,556
2000	557.9	60.0	10.8	5,709,046
2001	679.2	123.8	18.2	11,781,018
2002	689.3	97.4	14.1	9,270,201
2003	712.9	112.2	15.7	10,678,021
2004	570.4	90.4	15.8	8,595,587
2005	513.2	47.4	9.2	4,506,157
2006	590.9	48.1	8.1	4,579,529
2007	668.7	98.4	14.7	9,359,441
2008	364.5	10.0	2.7	950,075
2009	914.1	190.9	20.9	18,161,945
2010	657.7	91.5	13.9	8,700,179
2011	575.8	50.1	8.7	4,764,174
2012	610.2	53.0	8.7	5,043,842
2013	692.1	102.1	14.8	9,716,869
2014	677.6	99.4	14.7	9,452,632
2015	789.9	222.4	28.2	21,156,036
2016	476.0	42.4	8.9	4,034,187
2017	589.3	67.4	11.4	6,408,963
2018	684.6	94.4	13.8	8,982,424
2019	516.8	37.7	7.3	3,590,213
2020	423.0	23.4	5.5	2,223,387
2021	483.4	54.7	11.3	5,204,166
	: Tamamlanmış Eksik Yıllar			