



**ÇATILARDAN YAĞMURSUYU HASADI
POTANSİYELİNİN VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
BELİRLENMESİ: ORDU KENT MERKEZİ ÖRNEĞİ**

Saniye BOZDAĞ

Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR
Yüksek Lisans Tezi
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
2024

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ÇATILARDAN YAĞMURSUYU HASADI POTANSİYELİNİN VE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ: ORDU KENT MERKEZİ ÖRNEĞİ**

(Determining The Potential and Availability of Rainwater Harvesting From Roofs: Ordu City
Center Example)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saniye BOZDAĞ

Danışman: Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR

Erzurum
Nisan, 2024

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Saniye BOZDAĞ tarafından hazırlanan “ÇATILARDAN YAĞMURSUYU HASADI POTANSİYELİNİN VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ: ORDU KENT MERKEZİ ÖRNEĞİ” başlıklı çalışması 16 /04 /2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çevre Mühendisliği Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Serkan BAYAR <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Sinan KUL <i>Bayburt Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Aslı ıslak imzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans tezi olarak Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR danışmanlığında sunulan “ÇATILARDAN YAĞMURSUYU HASADI POTANSİYELİNİN VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ: ORDU KENT MERKEZİ ÖRNEĞİ” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	2	30
Kuramsal Temeller	4	30
Materyal ve Yöntem	10	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	3	20
Sonuçlar ve Öneriler	2	20
Tezin Geneli	4	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Saniye BOZDAĞ	Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR
18.4.2024	18.4.2024
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

- ☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.
- ☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

“Çatılardan Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi: Ordu Kent Merkezi Örneği” konu başlığındaki bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu kapsamda, yaptığım tez çalışmasının gerçekleştirilmesinin her aşamasında manevi desteğini, ilgisini, değerli tüm bilgi ve birikimleriyle destek ve yardımlarını esirgemeyen, idolüm, kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR’a, eğitim hayatımın ve tez çalışmamın her aşamasında manevi olarak yanımda hissettiğim rahmetli canım annem Emine BOZDAĞ’a, desteklerini esirgemeyen canım babam Mustafa BOZDAĞ’a ve canım kardeşim Cemal BOZDAĞ’a sonsuz sevgi, saygı, hürmet ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Saniye BOZDAĞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇATILARDAN YAĞMUR SUYU HASADI POTANSİYELİNİN VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ: ORDU KENT MERKEZİ ÖRNEĞİ

Saniye BOZDAĞ

Danışman: Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR

Amaç: Ordu kent merkezi örneğinde, kentte imarlı ve imarsız alanlarda yeralan konutların çatılarından, bazı kabuller yapılarak hasat edilebilir yağmur suyu potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın diğer amacı; kentte konut, ticari ve kurumsal bazı büyük binaların çatılarından hasat edilebilir yağmur suyu potansiyelinin ve bu suyun sifon suyu, zemin temizliği, araç yıkama ve yeşil alan sulamasında kullanılabilirliğinin belirlenmesidir.

Yöntem: Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama kent merkezinde bulunan toplam konut çatılarından hasat edilebilir yağmur suyu potansiyelinin hesaplanmasıdır. Ordu ili kent merkezinde imarlı ve imarsız alanlarda yeralan konut sayıları Ordu Büyükşehir Belediyesinden temin edilmiş olup konut sayısı 44.529'dur. Toplam konut sayısı, çatı alanı, ile ilin 1972-2022 yılları arasında ortalama yağış verileri dikkate alınmıştır. Yapılan hesaplamalar, her binanın çatı alanı bilgisine ulaşılamadığından, çatı alanları için farklı kabulleri ve yağış suyunun tamamının hasat edilmesi mümkün olmayacağından farklı hasat yüzdelerini içeren tahmini potansiyelin belirlenmesini içermektedir. İkinci aşama, kentte yerleşim alanı 2000 m²'nin üzerinde olan bazı konut, ticari ve kurumsal binaların çatılarından hasat edilebilir yağmur suyu potansiyelinin ve bu suların ilgili binalarda ve çevresinde kullanılabilirliğinin hesaplanmasını kapsamaktadır. Çatı alanları binaların çatı alanlarının belirlenmesinde NetCAD 8.5 yazılım programından kullanılmıştır. Bu program ile parsel içersinde bulunan mevcut binaların ortofoto ve halihazır durumlarına göre çizimleri, alan hesaplamaları ve Google Earth görüntüsüne aktarımı elde edilmektedir. NetCAD'de yapılan hesaplamalar ArcGIS desktop 10.5 içerisinde arayüzlerinden olan ArcMap 10.5'de; NetCAD'de hazırlanan çatı alan çizimlerinin açılması sağlanarak veri tabanlarına veri girişleri yapılmıştır. ArcMap 10.5 yer alan Field Calculator modulünden faydalanılarak veri tabanlarında hasat edilebilir su miktarı bölümleri hesaplanmıştır.

Bulgular: Kent merkezinde toplam konutların çatı yüzey alanları için çatı alanları 100, 150 ve 200 m²/konut olarak yapılan kabuller doğrultusunda, tüm konut çatıları için, kayıpsız olarak hesaplanan yağmur suyu miktarları sırasıyla 4.213.480,93 m³/yıl, 6.320.221,39 m³/yıl ve 8.426.961,85 m³/yıl olarak bulunmuştur. Kentin en az yağış alan Mayıs ayı için 100 m² çatı alanı için %50 hasat yüzdesine göre 117.683,47 m³/ay, en fazla yağış alan Ekim ayı için 100 m² çatı alanı için %50 hasat yüzdesine göre 269.531,81 m³/ay çatılardan gelen yağış miktarlarıdır.

Kent merkezinde konutların tamamı için toplam hasat edilebilir yağmur suyu miktarları farklı çatı alanları kabulleri ve uygulamada çatılara düşen yağmurun tamamının hasat edilemeyeceği dikkate alınarak hasat yüzdesi kabulleri ile farklı senaryolar üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Örneğin 100 m² çatı alanı için %50 hasat yüzdesine göre 2.106.740,47 m³/yıl hasat edilebilir yıllık yağmursuyu miktarını vermektedir. İlaveten hesaplanan bu değerlerin eşdeğer yüzde ve eşdeğer gün değerleri belirlenmiştir. 2.106.740,47 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu 27,28 eşdeğer yüzde ve 99,56 eşdeğer güne denk gelmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde seçilen konutlar Güneşkent Sitesi, Memurkent TOKİ; seçilen ticari binalar Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi; seçilen kurumsal binalar Ordu Büyükşehir Belediye binası, Kültür Sanat Merkezi ve Ordu Üniversitesi Kampüs binalarıdır. Seçilen binaların çatıları NetCAD 8.5 programında çizilmiş ve çatı alanları hesaplanmıştır. ArcGIS 10.5 arayüzü olan ArcMap 10.5 programı ile her bir binaya ait çatı alanlarından hasad

edilebilir yağmursuyu miktarları belirlenmiştir. Bu binalardan hasat edilebilir yağmur sularının sifon suyu, zemin temizliği, araç yıkama ve binaların çevresinde yeşil alan sulamasıyla ilgili tüketilebilecek su miktarı karşılama oranları tespit edilmiştir.

Sonuç: Ordu kent merkezi konut çatılarının tamamı için muhtemel yağmur suyu potansiyelleri belirlenmiştir ve senaryolar dahilinde elde edilen sonuçlar yağmur suyunun önemli bir alternatif su kaynağı olduğunu göstermektedir. Ayrıca seçilen konut, ticari ve kurumsal bina çatılarından hasat edilebilir su potansiyellerinin ilgili binaların zemin temizliği, sifon suyu kullanımı, araçların yıkanması ve bina çevresi yeşil alanların sulanmasında önemli miktarlarda katkı sağlayabileceği yapılan hesaplamalarla teyit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağmursuyu Hasadı, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), NetCAD, ArcGIS-ArcMap

Nisan 2024, 89 sayfa



ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINING THE POTENTIAL AND AVAILABILITY OF RAINWATER HARVESTING FROM ROOFS: ORDU CITY CENTER EXAMPLE

Saniye BOZDAĞ

Supervisor: Prof. Dr. Filiz Nuran ACAR

Purpose: In the case of the Ordu city center, it is aimed to determine the harvestable rainwater potential from the roofs of residential buildings located in zoned and unzoned areas in the city by making some assumptions. The other aim of the study is to determine the harvestable rainwater potential from the roofs of some large residential, commercial, and institutional buildings in the city and the use of this water for flush water, floor cleaning, vehicle washing, and green area irrigation.

Method: The study consists of two stages. The first stage is the calculation of the harvestable rainwater potential from the total residential roofs in the city center. The number of dwellings in Ordu city center in zoned and unzoned areas was obtained from Ordu Metropolitan Municipality and the number of dwellings is 44.529. The total number of dwellings, roof area, and the average rainfall data of the province between 1972 and 2022 were taken into consideration. The calculations include the determination of the estimated potential, which includes different assumptions for roof areas since the roof area of each building is not available, and different harvesting percentages since it will not be possible to harvest all of the rainwater. The second stage includes the calculation of the harvestable rainwater potential from the roofs of some residential, commercial, and institutional buildings with a residential area of more than 2.000 m² in the city and the usability of this water in and around the relevant buildings. NetCAD 8.5 software program is used to determine the roof areas of the buildings. With this program, drawings of the existing buildings within the parcel according to the current and auto photo status, area calculations and transfer to Google Earth image are obtained. The calculations made in NetCAD are made in ArcMap 10.5, one of the interfaces in ArcGIS desktop 10.5; data entries are made to databases by opening the roof area drawings prepared in NetCAD. The Field Calculator module in ArcMap 10.5 is used to calculate the harvestable water amount sections in the databases.

Findings: In line with the assumptions made for the roof surface areas of 100, 150, and 200 m²/housing for the total roof surface areas of the houses in the city center, the amounts of rainwater calculated without loss for all residential roofs are found to be 4.213.480,93 m³/year, 6.320.221,39 m³/year and 8.426.961,85 m³/year, respectively. According to the %50 harvesting percentage for 100 m² roof area, 117.683,47 m³/month for May, the month with the lowest rainfall, and 269.531,81 m³/month for October, the month with the highest rainfall, according to the %50 harvesting percentage for 100 m² roof area.

The total amount of harvestable stormwater for all of the houses in the city center is calculated over different scenarios with different roof area assumptions and harvest percentage assumptions considering that not all of the rain falling on the roofs can be harvested in practice. For example, for a roof area of 100 m², 2.106.740,47 m³/year of harvestable annual stormwater amount is given according to a %50 harvest percentage. In addition, the equivalent percentage and equivalent day values of these calculated values are determined. 2.106.740,47 m³/year of harvestable stormwater corresponds to 27,28 equivalent percent and 99,56 equivalent days.

In the second part of the study, the selected residential buildings are Güneşkent Housing Estate, Memurkent TOKİ; the selected commercial buildings are Sayılı Limited Ata Small Industrial Site; the selected institutional buildings are Ordu Metropolitan Municipality building, Culture

and Art Center and Ordu University Campus buildings. The roofs of the selected buildings are drawn in the NetCAD 8.5 program and roof areas are calculated. With ArcMap 10.5 program with ArcGIS 10.5 interface, the amount of harvestable stormwater from the roof areas of each building is determined. The coverage ratios of harvestable rainwater from these buildings to the amount of water that can be consumed for flush water, floor cleaning, vehicle washing, and green area irrigation around the buildings are determined.

Results: Potential rainwater potentials have been identified for all residential roofs in Ordu city center and the results obtained within the scenarios show that rainwater is an important alternative water source. It is also confirmed by the calculations that the harvestable water potentials from the selected residential, commercial, and institutional building roofs can contribute significant amounts to the floor cleaning of the relevant buildings, flush water use, washing of vehicles, and irrigation of green areas around the building.

Keywords: Rainwater Harvesting, CBS, NetCAD, ArcGIS-ArcMap

April 2024, 89 pages



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ.....	xii
GİRİŞ	1
KURAMSAL TEMELLER	4
Su Kullanımı	4
Su Krizi ve Su Kıtlığı.....	7
Kentleşme ve Kentleşmenin Su Döngüsüne Etkisi.....	9
Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi ve Suyun Korunması.....	13
Yağmur Suyu Hasadı	15
MATERYAL VE YÖNTEM	22
Ordu İli Konumu, Demografisi	22
Ordu İlinin İklimsel ve Hidrolojik Özellikleri.....	22
Ordu İlinde Yağmursuyu Kaybı- Taşkın ve Seller.....	22
Çalışma Sahası.....	23
Kent Merkezi İçin Yağmur Suyu Hasadı Çalışmaları	23
Çatılardan Yağmursuyu Hasadı Hesabı	26
Toprakta Bulunan Kullanılabilir Suyun Bitki Tarafından Tüketilmesi	28
Meteorolojik Veriler.....	28
Çatı Malzeme Katsayısı	28
Çatı Yüzey Alanlarının Belirlenmesi	29
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	31
Konut Bina Sayılarına Göre Çatı Yüzeyi Toplam Yağmursuyu Potansiyelinin Belirlenmesi	31

Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Kentteki Bazı Bina Çatılarından Yağmursuyu Hasadı Potansiyellerinin Belirlenmesi ve Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi.....	43
Konutlar	44
Güneşkent Sitesi	44
Memurkent TOKİ.....	48
Ticari Alanlar.....	52
Sayıllı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi	52
Kurumsal Binalar	55
Ordu Büyükşehir Belediye Binası	55
Ordu Kültür Sanat Merkezi	58
Ordu Üniversitesi ve Kampüsü	60
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
Kent Merkezindeki Konutlardan Yağmur Suyu Hasadı	66
Kent Merkezinde Konut, Ticari ve Kurumsal Bazı Büyük Binalardan Yağmur Suyu Hasadı.....	67
Konut.....	68
Ticari	68
Kurumsal.....	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	75

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. İklim Tehlikeleri ve Bunların Kentsel Sistemler Üzerindeki Etkileri.....	12
Tablo 2. Kentleşmenin Hidrolojik Döngü Üzerindeki Etkisi	13
Tablo 3. Ordu İline Ait 1972-2023 Yıllarında Taşkın ve Sel Afetleri	24
Tablo 4. Hesaplamalarda Kullanılan Eşitlikler	26
Tablo 5. Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarının Sulama Suyu, Sifon Suyu, Zemin Temizleme Su İhtiyacı ve Araç Yıkama Su İhtiyacı İle İlgili Eşitlikler	27
Tablo 6. Su Uygulama Yöntemi ve Yüzdeleri.....	28
Tablo 7. Ordu İline Ait 1972-2022 Yıllarına Ait Meteorolojik Veriler	28
Tablo 8. Çatı Malzeme Katsayısı	29
Tablo 9. Tez Çalışmasında Kullanılacak Programlar ve Kullanım Amaçları	29
Tablo 10. Ordu İli Kent Merkezi (Altınordu İlçesi) Mahalleleri ve Bina Sayısı.....	33
Tablo 11. Çatı Alanı Kabullerine Göre Yıllık Toplam Yağmur Suyu Miktarları	37
Tablo 12. Hasat Yüzdesine Göre Yıllık Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarları, Eşdeğer Yüzde ve Eşdeğer Gün Değerleri	40
Tablo 13. En Yağışlı Ay (Ekim) İçin Aylık Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarları, Eşdeğer Yüzde ve Eşdeğer Gün Değerleri	41
Tablo 14. En Kurak Ay (Mayıs) İçin Aylık Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarları, Eşdeğer Yüzde ve Eşdeğer Gün Değerleri	42
Tablo 15. Güneşkent Sitesi Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları	45
Tablo 16. Memurkent TOKİ Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları.....	50
Tablo 17. Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları	54
Tablo 18. Ordu Büyükşehir Belediyesinin Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları	56
Tablo 19. Ordu Kültür Sanat Merkezi Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları ..	59
Tablo 20. Ordu Üniversitesi ve Kampüsünün Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Küresel su kullanımı	4
Şekil 2. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımı	5
Şekil 3. Kentsel su döngüsü	11
Şekil 4. Şehirlerde kentsel su yönetimi: tarihsel, güncel ve gelecekteki rejimler	14
Şekil 5. Pasif yağmur suyu hasadı örnekleri	17
Şekil 6. Aktif yağmur suyu toplama sistemleri örnekleri	19
Şekil 7. Çatılardan yağmur suyu hasadı	20
Şekil 8. Çatılardan yağmur suyu toplamada gerekli elemanlar	20
Şekil 9. Ordu ili kent merkezinde meydana gelen sel fotoğrafları	25
Şekil 10. Ordu ili Altınordu ilçesi mahalle sınırları.....	32
Şekil 11. Ordu ili kent merkezi ve mahalle sınırları uydu görüntüsü	32
Şekil 12. Konut çatı yüzeylerinden aylara göre hasat edilebilir muhtemel yağmur suyu miktarları	38
Şekil 13. Güneşkent Sitesi ortofoto görüntüsü.....	44
Şekil 14. Güneşkent Sitesinin alansal taraması.....	45
Şekil 15. Memurkent TOKİ ortofoto görüntüsü	48
Şekil 16. Memurkent TOKİ alansal taraması.....	49
Şekil 17. Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesinin ortofoto görüntüsü	52
Şekil 18. Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi alanı alansal taraması	53
Şekil 19. Ordu Büyükşehir Belediye binasının ortofoto görüntüsü	55
Şekil 20. Ordu Büyükşehir Belediye binasının alan taraması	56
Şekil 21. Ordu Kültür Sanat Merkezi binasının ortofoto görüntüsü	58
Şekil 22. Ordu Kültür Sanat Merkezi binası alansal taraması.....	58
Şekil 23. Ordu Üniversitesi ve Kampüsü ortofoto görüntüsü	61
Şekil 24. Ordu Üniversitesi ve Kampüsü bölgesinin alansal taraması	61

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ArcGIS	: Arc Geographic Information System
BM	: Birleşmiş Milletler
°C	: Santigrat Derece
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
EPOK	: Ölçü Zamanı Veya Ölçü Aralığı Veya Data Frekansı
f	: Toprakta bulunan kullanılabilir suyun bitki tarafından tüketilmesine izin verilen yüzdesi
h	: Su yüksekliği
Ht	: Toprağa verilmesi gereken su miktarı
ITRF	: Internet Research Task Force
IWA	: Uluslararası Su Birliği
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
km²	: Kilometrekare
km³	: Kilometreküp
L	: Litre
m	: Metre
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
mm	: Milimetre
NetCAD	: Networked Computer Aided Design
OSKİ	: Ordu Su ve Kanalizasyon İdaresi
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UN	: United Nations
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

GİRİŞ

Dünyada doğal su döngüsünde ve su kalitesinde meydana gelen değişiklikler gün geçtikçe daha hissedilir hale gelmiştir. Bu değişikliklerin en önemli nedeni iklim değişikliğidir. Doğal su döngüsünde herhangi bir su kaybı olmadığı için su kaynakları sabittir. Ancak iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle suyun dünyada bulunduğu yer ve zamandaki değişiklikler; şiddetli yağışların artması veya yağışsızlık olarak yağış rejimindeki değişiklikler, su kalitesindeki değişiklikler, yüzey akışındaki değişiklikler, infiltrasyonun azalması, yeraltı sularının beslenememesi, taşkınlar, kuraklıklar, su sıcaklıklarındaki artış, buzulların erimeye başlaması olarak gözlenmektedir. Bu etkiler su krizi kavramı ile ifade edilmektedir. Su krizinin en önemli nedeni iklim değişikliği olmakla birlikte evsel ve endüstriyel kaynaklı atıksuların büyük çoğunluğunun arıtılmadan alıcı ortamlara verilmesi, arıtılmış suların yeniden kullanımının düşük seviyede olması, nüfusun hızlı artışı ve nüfusun pek çok ülkede kentlere doğru kayması nedeniyle hızlı kentleşme, ülkelerin gelişmişlikleriyle orantılı olarak ihtiyaçtan fazla su kullanımı, zorunlu göçler su krizinin diğer nedenleri arasındadır. Su krizi küresel ölçekte kent ölçeğine kadar doğrudan ve dolaylı olarak tüm ekosistemi olumsuz etkilemektedir.

Küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının azaltılarak sıcaklık artışının kontrol altına alınmasıyla iklim değişikliğinin etkilerinin sınırlandırabilmesi küresel suyun sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlayacaktır.

Kent ölçeğinde günlük yaşam suyun mevcudiyetine ve kalitesine göre planlanmaktadır. Bu nedenle, giderek artan kentleşme eğilimleri dikkate alındığında, kentlerde suyun temin edilmesinden suyun korunmasına kadar birçok işlemin entegrasyonu sürdürülebilir su yönetimi için gereklidir. Entegre su yönetimi oluşturulurken kentlerde su döngüsünün korunmasına özen gösterilmelidir. Kentlerde su döngüsünü etkileyen en önemli faktörlerden biri geçirimsiz yüzeylerdir. Geçirimsiz yüzeylerdeki artış nedeniyle yağış sularının yüzeysel akışa geçen oranı doğal su döngüsünün çok üzerindedir. Doğal geçirimli yüzeylerde yağışın %10'u yüzeysel akışa geçerken kentlerde geçirimsizliği yüksek zeminlerde akışa geçen oran %55'e çıkmaktadır (Xie, vd., 2006; Toyran, 2022). Bu durum infiltrasyon oranının düşmesine neden olarak yeraltı suyunun beslenmesini engellemektedir. Benzer şekilde evaporasyon, evapotranspirasyon oranları da değişmekte ve su döngüsü bozulmaktadır. Kentsel suyun sürdürülebilirliği, doğal su döngüsünün örnek alınmasıyla başka bir ifadeyle doğal su döngüsündeki gibi akış, infiltrasyon, evaporasyon, evapotranspirasyon oranlarının dengelenebilmesiyle sağlanabilir.

Kentlerde özellikle yollarda kullanılan geçirimsiz malzemeler nedeniyle akışa geçen su taşkın ve sellere neden olmaktadır. Bu durum kanalizasyonların taşması ve atıksuların yağış sularıyla karışarak akışa geçmesiyle sonuçlanmaktadır. Aynı zamanda akışa geçen yağış suları şehrin tüm kirliliğini bünyesine almaktadır. Sonuç olarak kentlerde hem su kaybı yaşanmakta hem de yağış suları kirlenerek diğer alıcı ortamlara ulaşmaktadır. Bu şekilde korunamayan ve kent yaşamında zemin temizliğinde, araç temizliğinde, sifon suyu olarak, peyzaj alanlarının sulanmasında kullanılabilirliği olan yağış sularının yerine arıtılmış içme suyu kullanılmaktadır. Yağış sularının kullanılabileceği pekçok işlemde gereksiz yere içme suyu kullanımı suyun arıtılması için daha fazla enerji tüketimi ve ekonomik masraf anlamına gelmektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir olmayan her durum enerji kaynakları üzerinde de baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle suyun sürdürülebilir yönetiminin en önemli bileşenlerinden biri yağmur sularının korunmasıdır. Yağmur suyunun korunmasında en basit yollardan biri yağmur suyu hasadıdır.

Yağmur suyu hasadı çok eski tarihlerden günümüze kadar gelen bir yöntemdir. Hasat edilebilir yağmur suyu potansiyeli bölgesel, iklimsel ve mevsimsel olarak değişiklik gösterir. Yağmur suyu hasadı su kıtlığı veya su stresi çeken yerleşimlerde alternatif bir su kaynağı olarak değerlendirilebilir. Su sıkıntısı olmayan yerleşimlerde de yüzeysel akışla kaybedilen suyun korunması sağlanarak içme suyu temininin azaltılması ve dolayısıyla döngüsel ekonomiye katkı sağlanabilir. Bu işlem kentlerin özellikle yüksek yerlerinde yapay göletlerin yapılması, kent içinde yağmur suyu bahçelerinin oluşturulması, geçirimsiz yüzeylerin yerine geçirimli ortamlar oluşturularak suyun toprakta tutulması ve drenajının sağlanması, yeşil çatı uygulamaları ile gerçekleştirilebilir. En kolay yol ise yağmur suyunun uygun bir şekilde depolanmasıdır. Depolama işlemi zemine temas etmiş yağmur suyunun depolanması şeklinde olabileceği gibi binaların çatılarından suyun hasat edilmesiyle de gerçekleştirilmektedir. Çatılardan hasat edilen yağmur suları yüzeye temas etmediği için daha temizdir. Konuyla ilgili olarak 23 Ocak 2021 tarihinde, 31373 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” madde 5’e göre 2000 m² alan üzerinde yerleşimi olan binaların çatılarından yağmur suyu hasadı yapılması zorunluğu getirilmiştir. Bu uygulamaların teşvik edilmesi ve zorunlu hale getirilmesi kentlerde suyun sürdürülebilir yönetimi için en çevre dostu yaklaşım olacaktır.

Ordu ili ülkemizde yüksek yağış alan bir bölgedir. Kentte mevcut durumda su temininde bir sıkıntı olmamasına rağmen, iklim değişikliği etkileriyle, ilerleyen yıllarda su sıkıntısı olmayacağı hususunda bir garanti yoktur. Kentte yağmur sularıyla ilgili problem daha çok son yıllarda meydana gelen şiddetli yağışların yol açtığı taşkın ve sel felaketlerinin sayısındaki artıştır. Bu durum kent merkezinde yağmur sularının korunamayarak kaybına neden

olmaktadır. Bu çalışma, Ordu ili kent merkezinde çatı yüzeylerinden hasat edilebilir yağmur suyu potansiyellerinin bazı kabuller dahilinde tahmin edilmesi ve bu suyun tekrar kullanılabilirliğinin incelenmesini içermektedir. Yağış sularındaki kayıpların azaltılması için çatı yüzeylerinden hasat edilebilir yağmur suyu potansiyelleri ve kullanılabilirliği tahminlerin yapılmasının kentlerde sürdürülebilir su yönetimine örnek teşkil etmesi ve bu değerlendirmelerin uygulamaya geçirilmesi için itici bir destek olması amaçlanmıştır.



KURAMSAL TEMELLER

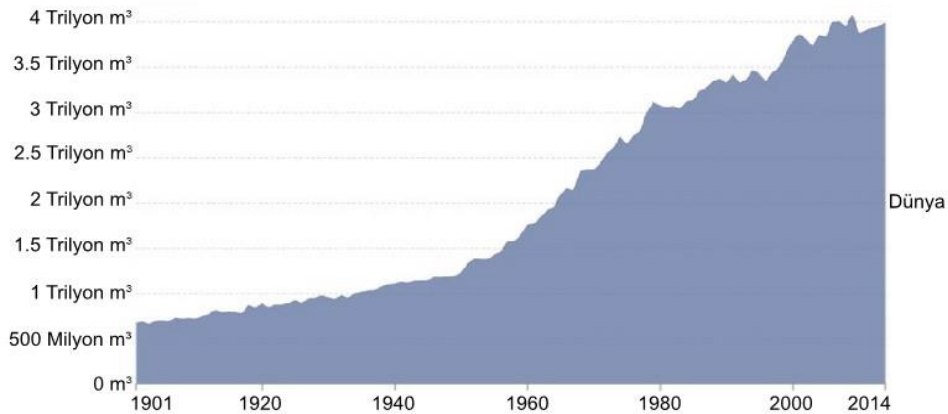
Su Kullanımı

Su,

- yaşam formları, biyosferdeki canlılar,
- doğal süreçler,
- toplumlar,
- ülke ekonomileri,
- gelecek nesiller

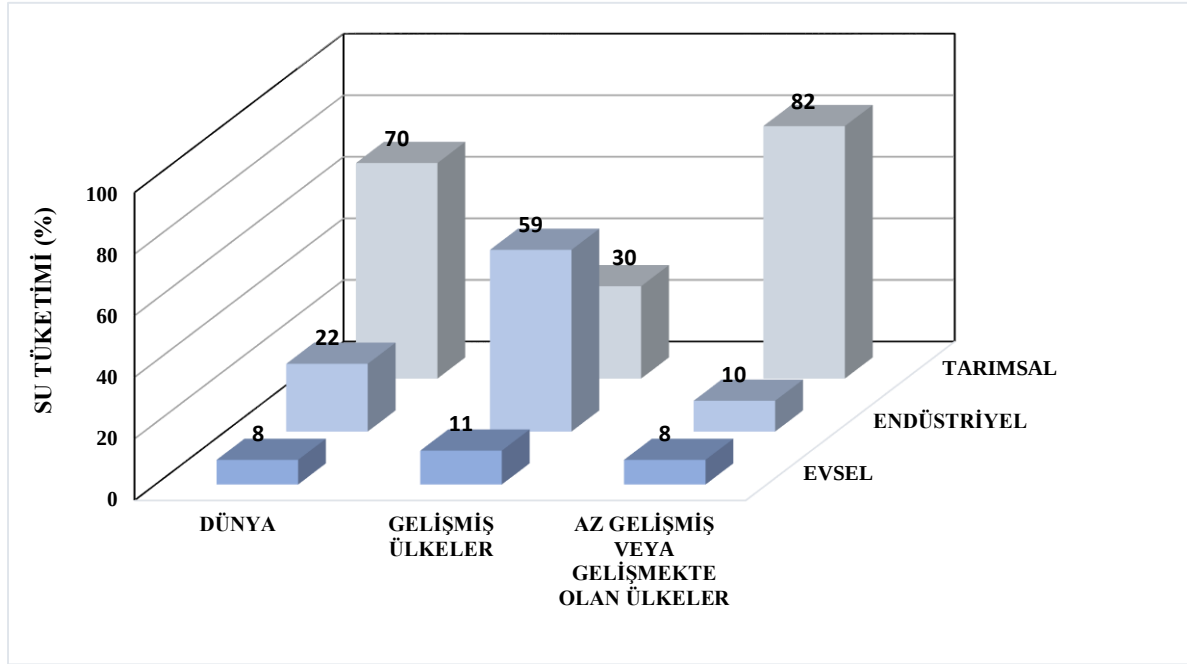
için temel ihtiyaçlardan biridir. Toplam dünya suyu sabittir ancak su terleme, buharlaşma, yağış, yüzey akışı, sızma ve diğer doğal süreçlerle sürekli olarak hidrolojik bir döngüden geçmektedir (Kurunthachalam, 2014). Dünyadaki 1,386 milyar km^3 suyun yalnızca %2,5'i tatlı sudur. Tatlı suyun üçte ikisi kutup ve dağlık bölgelerde kar ve buzulları oluşturmaktadır (Anderson, 2003). Yani küresel suyun yaklaşık olarak %1'i insanların kullanımına açıktır (Jenerette ve Larsen, 2006). Bu suyun %98'den fazlası yeraltı suyu olarak oluşurken, %2'den azı akarsularda ve göllerde mevcuttur. Dolayısıyla tatlı su sınırlı bir kaynaktır. Su arzının sınırlı olduğu bu ortamda, dünya çapında insani kullanım için çekilen toplam su 1950 yılında $1.382 \text{ km}^3/\text{yıl}$ iken bu değer gün geçtikçe artmaktadır. 2025 yılına kadar insan su tüketiminin $5.235 \text{ km}^3/\text{yıl}$ olacağı öngörülmektedir (Jenerette ve Larsen, 2006).

Su insanlar tarafından tarım, endüstriyel ve evsel kullanımda tüketilmektedir. Dünyada tarım, endüstriyel ve evsel kullanım için çekilen küresel tatlı suyun 1900-2014 yılları arasındaki değerleri Şekil 1'de görülmektedir (Our World in Data, 2018).



Şekil 1. Küresel su kullanımı (Our World in Data, 2018)

Su kullanımı ile ilgili dağılım ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre tarımsal, endüstriyel ve evsel kullanımda farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar Şekil 2’de özetlenmiştir.



Şekil 2. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımı (Aküzüm vd., 2010’dan uyarlanmıştır.)

Su kullanımı açısından tarımsal faaliyetler dünyadaki diğer tüm sektörlerin önüne geçmektedir. Tarım sektörünün su kaynakları kullanımı; sulama, hayvancılık, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılan suyu içermektedir. Kullanıma açık toplam suyu, az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler, yüksek oranda tarımda sulama için tüketmektedirler. Burada önemli problem az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde sulama amacıyla çekilen suyun %15 ila %35’inin sürdürülemez bir şekilde kullanılmasıdır. Bu ülkelerde ekili araziler 1964’ten bu yana %24 oranında artmıştır. Buna karşılık sulanan alanların büyüklüğünün 1970 ile 1995 yılları arasında iki kattan fazla artması, suyun etkin bir şekilde kullanılmadığı gerçeğini ortaya koymaktadır (Lui vd., 2011; Plessis, 2017). 2050 yılına kadar küresel nüfus artışıyla ilişkili olarak gıda talebi %70 artacaktır (Kibona vd., 2009; Lui vd., 2011; UN, 2012). Tarımsal üretimi artırmak için dünyanın hem su hem de enerji tüketiminin artacak olması farklı su kullanım sektörleri arasında rekabetin yoğunlaşmasına yol açarak dünyanın su kaynakları üzerinde daha fazla baskı oluşturacaktır (Plessis, 2017).

Dünyadaki en büyük ikinci su tüketimi endüstriyel faaliyetlerde olmaktadır. Endüstriyel faaliyetler sadece endüstri değil madenler, petrol rafinerileri gibi ekonomik kuruluşlarla birlikte enerji santrallerini de kapsamaktadır. Endüstriyel su çekimi, bazı yüksek gelirli ülkelerde %40’ın üzerindeyken, düşük gelirli ülkelerde %5’e kadar düşmektedir (Lui vd., 2011). Özellikle Asya ülkeleri ekonomilerini endüstriyel kalkınmaya bağlı olarak geliştirdikleri için bu

sektördeki su kullanımı gelecek yıllarda artacaktır (Kibona vd., 2009). Bu kategoride su en çok enerji sektöründe kullanılmaktadır. Enerji ve su karmaşık bir şekilde birbirine bağlıdır. Enerji ve elektrik kaynakları, üretim sürecinde suya ihtiyaç duyarken, aynı zamanda pompalama, taşıma, arıtma, tuzdan arındırma ve sulama yoluyla suyun insan tüketimine sunulması için de enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel enerji tüketiminin 2007 yılından 2035 yılına kadar yaklaşık %49 artacağı ve enerji tüketimindeki bu artışın dünyadaki enerji sektörleri ve dolayısıyla su kaynakları üzerinde baskı oluşturacağı tahmin edilmektedir (Plessis, 2017; UN, 2012).

Evsel faaliyetler dünyadaki su tüketiminin %8'ini oluşturmaktadır. Bu kategori içme suyu, banyo yapma, yemek pişirme, sanitasyon ve bahçecilik faaliyetlerini içerir. Dünya ortalaması değerlerine göre tahmini temel evsel su gereksinimleri bahçe sulamaları hariç kişi başına günlük 50 litre civarındadır (Gleick, 1996). 50 litrenin yaklaşık 2 litresi içmek için, 20 litresi sanitasyon için, 15 litresi banyo için ve 10 litresi yemek pişirmek için kullanılmaktadır. Sahel ülkelerinde yani batıda Atlantik Okyanusundan doğuda Kızıl denize kadar uzanan 5000 km'lik bir uzantı üzerinde Moritanya, Senegal, Mali, Nijer, Çad, Sudan, Burkino Faso ile Nijerya'yı içine alan bölgede (Birgili, 2013), insanların günlük 10–15 litre su tüketimi, suya erişimin çok zor olduğunun bir göstergesidir. Günde 40 litrenin altında su tüketen ülkeler “su fakiri ülkeler” olarak değerlendirilmektedir. Avrupa'da ortalama su tüketimi günde en az 100 litredir. ABD'de günlük ortalama su tüketimi 500 litrenin üzerindedir (Vision Water, 2021). Su kullanımında ülkelere göre dağılım çok farklı olsa da insanların küresel kentsel su kullanımı 100 yılda 20 kattan fazla artmıştır. 2050 yılında insanların kentsel su kullanımının 2004 yılındaki kullanılan toplam küresel suya eşit olacağı öngörülmektedir (Liang, 2011).

Üç temel su kullanımı haricinde rekreasyonel ve çevresel su kullanımı söz konusudur. Bu amaçlarla kullanılan su tüketime yönelik değildir. Ancak rekreasyonel ve çevresel su kullanımı belirli zamanlarda ve yerlerde diğer kullanıcıların kullanımına sunulabilecek toplam su hacmini azaltabilir. Rekreasyonel su kullanımı tekne gezintisi, olta balıkçılığı, su kayağı ve yüzme gibi spor alanlarında gerçekleşmektedir. Bu amaçla kullanılan su miktarı %1 civarında olmasına rağmen bu oran gün geçtikçe artmaktadır. Bu tür su kullanımı daha çok suyun belirli bir rezervuarda depolanması şeklindedir (Kibona vd., 2009; Lui vd., 2011). Çevresel su kullanımı, en az su kullanılan kategoridir ve insanlardan ziyade ekosistemlere fayda sağlar. Çevresel su kullanım yüzdesi çok azdır. Bununla birlikte, çeşitli yaban hayatı türlerine yaşam alanı oluşturmayı amaçlayan yapay sulak alanlar ve göller sonucunda toplam su kullanımı artmaktadır (Kibona vd., 2009; Lui vd., 2011; UN, 2012).

Su Krizi ve Su Kıtlığı

Dünyada su krizi sadece susuzluk olarak anlaşılmamalıdır. Suyun miktarı kadar ulaşılabilen suyun kalitesi de son derece önemlidir. Su sorunu birbirini etkileyen bir dizi farklı olumsuzluklara neden olmaktadır.

Günümüz dünyasında,

- 2,2 milyar insanın güvenli bir şekilde yönetilen içme suyu hizmetlerine erişememesi,
- küresel nüfusun yarısından fazlasının yani 4,2 milyar insanın, güvenli bir şekilde yönetilen sanitasyon hizmetlerinden yoksun olması,
- her yıl beş - altı yaş 297.000 çocuğun yetersiz sanitasyon, kötü hijyen veya güvenli olmayan içme suyu nedeniyle enfeksiyon hastalıklarından ölmesi,
- 2 milyar insanın su sıkıntısının yüksek olduğu ülkelerde yaşaması,
- doğal afetlerin %90'ının sel ve kuraklık da dahil olmak üzere hava koşullarıyla ilgili olması,
- atıksuyun %80'inin arıtılmadan veya yeniden kullanılmadan ekosisteme geri verilmesi,
- dünyada sınır aşan nehirlerin yaklaşık üçte ikisinin ortak bir yönetim çerçevesinin olmaması,
- tarım için su çekiminin küresel su çekiminin yüzde 70'ini oluşturması

su ile ilgili mevcut zorluklar olarak belirtilmektedir (UN, 2023).

Tüm bu zorluklar birtakım nedenlere bağlıdır (Concern USA, 2022):

İklim değişikliği, küresel su krizinin arkasındaki ana nedenlerden biridir. İklim krizi derinleşmeye devam ettikçe suyla ilgili sorunlar daha da artacaktır. Yağış rejimindeki değişiklikler; dünyanın bazı bölgelerinde şiddetli yağış, bazı bölgelerinde yağışsızlık olarak görülmektedir. Kuraklık diğer afet türlerine göre daha fazla insanı etkilemektedir. Örneğin, 2016 yılında dünyadaki toplam afetlerden toplam 411 milyon kişi etkilenmiştir ve bunların %94'ü kuraklık kaynaklıdır (Guppy ve Anderson, 2017). 2001 ile 2018 yılları arasındaki tüm doğal afetlerin yaklaşık %75'i suyla ilgilidir. Bu afetler öncelikli olarak kuraklık ve taşkınlar olarak algılanmaktadır. Kuraklık insanları temiz içme suyundan mahrum bırakırken taşkınlar sadece sel felaketlerine neden olmayıp aynı zamanda temiz suları kirleterek salgın hastalıklara sebep olmaktadır (Concern USA, 2022). Ayrıca deniz seviyesindeki yükseliş, daha yoğun ve sık görülen sel olayları ile birlikte çevre, biyolojik çeşitlilik, insan sağlığı ve ekonomi için tehdit oluşturmaktadır. Diğer yandan buzulların erimesiyle yükselen deniz seviyeleri tatlı su kaynaklarını tuzlandırmaktadır (Huyghe vd., 2021). Ormansızlaşma iklim değişikliğinin

sonucudur ve bu durum çevredeki arazileri etkileyen “ısı adalarına” yol açarak kuraklığa neden olmakta ve toprağın yapısını bozmaktadır (Concern USA, 2022).

Nüfus artışı ve nüfusun kentlere doğru kayması su krizini tetikleyen nedenlerdendir. 20. yüzyılda küresel nüfus üç katına çıkmıştır ancak su kullanımı altı kat artmıştır. Günümüzden 2050 yılına kadar üretimden kaynaklanan su talebinin %400, ev kullanımından kaynaklanan su talebinin ise %130 artması beklenmektedir (Guppy ve Anderson, 2017). Kentleşme 21. yüzyılda önemli ölçüde artmıştır (Baptista vd., 2018). 2050 yılına gelindiğinde küresel nüfusun %87'sinin kentsel alanlarda yaşayacağı dolayısıyla sürdürülebilir su yönetiminde büyük zorluklarla karşılaşılacağı tahmin edilmektedir (UN-Habitat, 2016; Huyghe vd., 2021).

Su kaynakları üzerindeki baskıya neden olan, çok önemsenmeyen diğer bir neden suyun aşırı tüketilmesidir. Evsel su kullanımında; damlayan musluklar, bahçelerin fazla sulanması gibi tamamen insanların dikkate almadığı durumlar ciddi su kayıplarına neden olmaktadır. Bir şehrin kayıp suyunun %30 ila 40'ını bu gibi önemsenmeyen durumların oluşturabileceği tahmin edilmektedir. Ortalama bir aile, evdeki sızıntılar nedeniyle yılda 43 m³ su israf edebilir (Concern USA, 2022). Ayrıca Uluslararası Su Birliği (IWA) içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde Dünya genelinde her yıl 126 milyar m³'ün üzerinde su kaybı olduğunu ve bu kaybın Dünya'daki tüm içmesuyu temin ve dağıtım sistemlerine giren suyun %30'unu oluşturduğunu belirtmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).

Küresel su krizinde rol oynayan diğer bir faktör atıksulardır. Küresel ölçekte, evsel atık suyun %44'ü arıtılmadan yeniden kullanılmakta ve atık suyun genel olarak %80'i arıtılmadan veya yeniden kullanılmadan ekosisteme geri verilmektedir. Birleşmiş Milletler (BM)'nin rakamlarına göre 1,8 milyar insan dışkı, kimyasallar veya toksik olabilecek diğer kirletici maddelerle kirlenebilecek suyu kullanmaktadır. Kolera, dizanteri, tifo ve çocuk felci gibi dünyanın en yaygın hastalıklarının çoğunun önde gelen nedenlerinden biri arıtılmamış atıksularla temastır. Dolayısıyla suya ulaşılabilir olmak onun kullanılabilir olduğunu göstermemektedir (Concern USA, 2022).

Su krizine sebep olan temel faktörlerin haricinde zorunlu göçler, ülkelerin gelir dağılımındaki eşitsizlikler gibi bazı sosyal faktörler su krizinin diğer yan nedenleri olarak ifade edilmektedir (Concern USA, 2022).

Tüm bu faktörlerin etkileri ile ortaya çıkan su krizi; su kıtlığı ve su stresi kavramlarıyla ve bu kavramlarla ilgili geliştirilen göstergelerle ölçeklendirilebilir şekilde ifade edilmektedir. Su kıtlığını izlemek, karakterize etmek ve değerlendirmek için su stresi indeksi, su ayak izi, sosyal su stresi indeksi, su kaynakları savunmasızlık indeksi, havza sürdürülebilirlik indeksi,

su yoksulluğu indeksi gibi metrik ölçeklendirmeler geliştirilmiştir (Ding ve Ghosh, 2017). Su kıtlığı genellikle kişi başına yıllık yenilenebilir su temini ile ölçülür. Su stresi indeksi diğer bir ifadeyle Falkenmark indeksi, su kıtlığının hesaplanmasında basit ama yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Belirli bir mekansal alanda yaşayan insan sayısı ve bu alanda mevcut olan, Falkenmark tarafından mavi su olarak adlandırılan, suyun hacmi dikkate alınmaktadır. Daha sonra kişi başına düşen su miktarı $m^3/\text{kişi/yıl}$ olarak hesaplanmaktadır (Liu vd., 2017). Su kıtlığı için eşik olarak $1.700 m^3/\text{kişi/yıl}$ yenilenebilir tatlı su değeri önerilmiştir. Bu değerin altında sosyal stres ve su için yüksek düzeyde rekabet ortaya çıkar. Su mevcudiyeti $1.000 m^3/\text{kişi/yıl}$ değerinin altına düşerse, o zaman bölgede yüksek su kıtlığı yaşanır ve $500 m^3/\text{kişi/yıl}$ değeri altında ise mutlak kıtlık yaşanır (Ding ve Ghosh, 2017; Liu vd., 2017). Falkenmark indeksi uygulama kolaylığı sunmasına rağmen önemli bir uyarıyla gölgelenmektedir. Bu indeks yalnızca küresel su kıtlığı üzerindeki arz yan etkilerinin bir göstergesidir (Liu vd., 2017; Schewe vd., 2014). Zamansal değişkenlik, ekonomik büyüme, yaşam tarzı ve teknolojik gelişmelerle ilgili talebin önemli etkenleri bu indekste dikkate alınmamaktadır. Yönetim uygulamaları ve altyapı endeks tarafından gözardı edilmekte ve basit eşik, endeksin hesaplandığı alanlar içindeki ve arasındaki talebin gerçek mekansal dağılımını yansıtmamaktadır (Liu vd., 2017). Oysa küresel su krizi sadece arz temelinde sorundan ibaret değildir. Su talebi faktörü de dikkate alınmalıdır. Arz tarafında; su sorunu iklim değişikliğinin bir sonucu olarak Dünya'nın bazı bölgelerinde suyun daha da azalması, talep tarafında; hızlı nüfus artışı ve kentleşme ile ekonomik büyüme birleşerek su talebinin artması şeklinde görülmektedir. Su sektöründeki arz-talep dengesizliği, daha yenilikçi su yönetimi uygulamalarını gerektirmektedir (Ding ve Ghosh, 2017).

Kentleşme ve Kentleşmenin Su Döngüsüne Etkisi

Kentleşme değişen dünyanın bir gerçeğidir. Küresel ekonomik kalkınmayı, enerji tüketimini, doğal kaynak kullanımını ve insan refahını etkileyen kentleşme, 21. yüzyılın en önemli olgularından biridir (McDonalds vd., 2014). Dünya çapında 3,6 milyar insan kentsel alanlarda yaşamaktadır. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP), insanlık tarihinin en hızlı kentsel büyüme döneminin önümüzdeki birkaç on yıl içinde olacağını ve 2050 yılına kadar kentlerde yaşayan insan sayısının 2,6 milyar daha artacağını vurgulamaktadır (UNDP, 2011; McDonalds vd., 2014). Günümüzde mega şehirler daha fazla ilgi odağı olsa da, en hızlı kentsel büyüme oranlarını yaşayacak olanlar 1-5 milyon nüfusa sahip orta büyüklükteki şehirlerdir. Aslında dünyadaki kentsel nüfusun çoğu, 2050 yılına kadar, nüfusu bir milyondan az olan küçük şehirlerde yaşayacaktır (Seto vd., 2013).

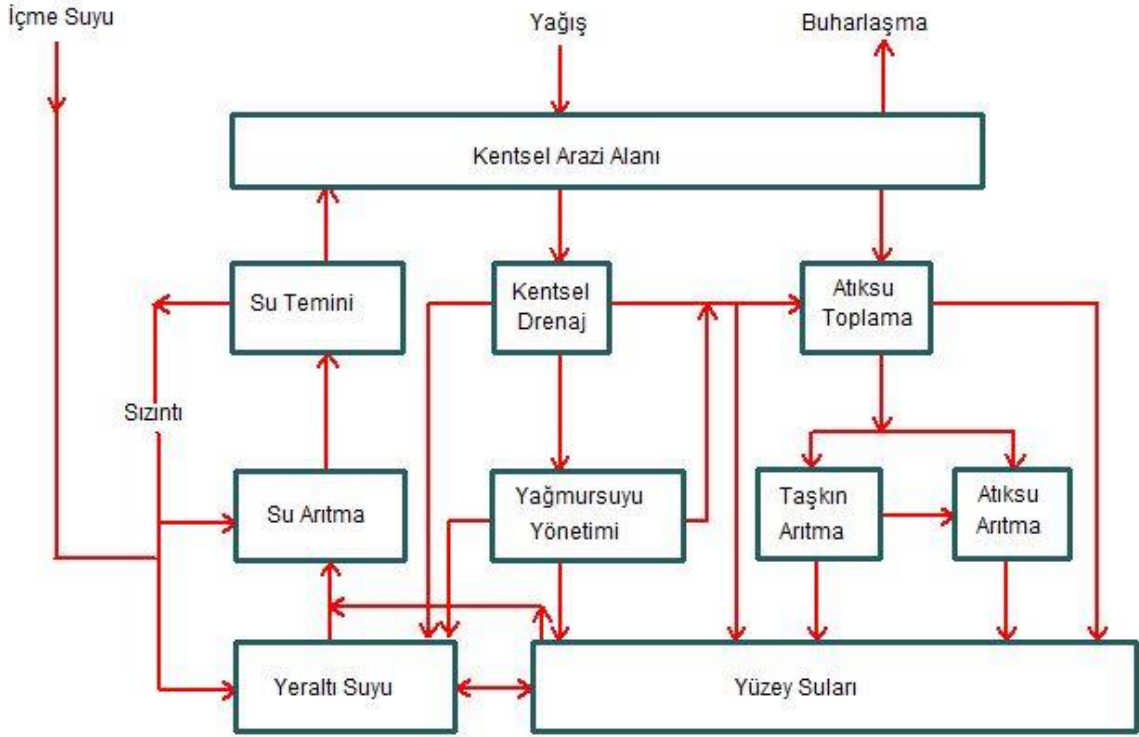
Kentleşme, çoklu mekân ve zaman ölçeklerinde ortaya çıkan karmaşık ve dinamik bir süreci ifade eder. Nüfusları yoğunlaşan kentler giderek genişlemektedir. Dünya genelinde kentsel alanlar, kentsel nüfustan ortalama iki kat daha hızlı büyümektedir. Giderek artan fiziksel genişlemeye ek olarak, kentsel arazi değişimi aynı zamanda ağırlıklı olarak peri-kentleşme, yani şehir merkezlerine hem yakın hem de uzak kırsal alanların geniş metropol bölgeler tarafından kuşatılması veya bu bölgelere dönüştürülmesi süreciyle karakterize edilmektedir. Fiziksel bir olgu olarak peri-kentleşme, tarım arazilerinin, meraların ve ormanların kentsel alanlara dönüştürülmesini içermektedir (Seto vd., 2013). Kentlerdeki bu yapılanmalar kent hidrolojisini etkilemektedir ve şehirlerin suyu nereden elde ettiği veya bu altyapının küresel hidrolojik döngüye etkisi hakkında küresel olarak çok az şey bilinmektedir (McDonalds vd., 2014).

Su kaynakları açısından kentleşme; yağış miktarı, buharlaşma miktarı, sızma miktarı ve artan akış dahil olmak üzere hidrolojik döngüde birçok değişikliğe neden olmaktadır. Hidrolojik döngünün yağış-akış bileşenlerindeki değişiklikler;

- gelişmemiş arazilerin kentsel araziye dönüştürülmesi (ulaşım koridorları dahil),
- artan enerji salınımı (örneğin sera gazı, atık ısı, ısıtılmış yüzey akışı)

olarak özetlenebilir.

Hidrolojik döngü, suyun biyosfer, atmosfer, litosfer ve hidrosfer arasındaki girdilerini, depolanmasını/dönüşümlerini ve dolaşımını açıklar (Marsalek vd., 2006; Huyghe vd., 2021). Şekil 3 kentsel su döngüsünü göstermektedir.



Şekil 3. Kentsel su döngüsü (Marsalek vd., 2006'dan uyarlanmıştır.)

Kentsel gelişimin doğal hidrolojik süreçler üzerindeki bazı etkilerini daha iyi anlamak için son birkaç on yılda gelişmeler kaydedilmesine rağmen kentlerin doğal hidrolojik dinamikler üzerindeki etkisi karmaşıktır ve açıklanması zordur (Mays, 2009; McGrane, 2016).

Kentsel su döngüsü, su dengelerinin incelenmesi için kavramsal bir temel ve entegre su kaynakları yönetimi için gerekli olan performansı sağlar.

Kentsel su döngüsü çoğu zaman “doğal” döngüden ayrılmaktadır. Suyun borulu ağlar aracılığıyla temini ve iletimi, suyun yeraltı drenaj ağları ile yapay olarak yönlendirilmektedir. Bu durum iki döngünün ayrılmasıyla sonuçlanmaktadır (McGrane, 2016).

Kentleşme süreci, su beslenmesinin azalması ve çekilmesinin artması nedeniyle sıklıkla yeraltı suyu seviyelerinde değişikliklere neden olur. Üç ana durum yeraltındaki hidrolojik dengeyi bozarak yeraltı suyu seviyelerinde düşürlere neden olmaktadır. Bu üç durum;

- geçirimsiz yüzey alanları nedeniyle yeraltısuyunun beslenmesinin azalması,
- artan yeraltı suyu deşarjı,
- atıksuyun kanalizasyon sistemine verilmesiyle yeraltı suyunun yeniden beslenmesinde azalma olarak görülmektedir (Mays, 2009).

Bunların yanı sıra iklim değişikliğinin kentsel su sistemleri üzerindeki etkileri ve olası sonuçları mevcuttur. Bunlar Tablo 1’de özetlenmiştir (Bahri, 2012; IPCC, 2007; Loftus, 2011).

Tablo 1. İklim Tehlikeleri ve Bunların Kentsel Sistemler Üzerindeki Etkileri (IPCC, 2007; Loftus, 2011)

İklim Tehlikeleri	Etki	Savunmasız Sistem	Olası Sonuçlar
Azalan Yağış	Su Kıtlığı	Su Temini	Evlerde, endüstrilerde ve işletmelerde su kıtlığı
		İnsan Sağlığı	Yetersiz beslenme ve su kaynaklı hastalıklarda artış
		Yiyecek Üretimi	Sulama suyunun mevcudiyetinin azalması ve verimin azalması: Gıda ithalatı
		Kentsel	Biyolojik çeşitlilik ve ekosistem hizmetlerinin azalması
	Akış	Enerji Temini	Azalmış hidroelektrik üretim potansiyeli: termik santrallerin soğutma sistemlerinin bozulması
		Yiyecek Üretimi	Sediment ve besinlerde meydana gelen azalmalar nedeniyle kıyı balıkçıları üzerinde olumsuz etki
Artan Yağış	Su Baskını	Su Temini	Kamu su temininin bozulması
		Atık Su	Tesislerin su baskını su kütlelerine zarar vermesi ve kirletmesi
		Toplu Taşıma	Ulaşım altyapısına zarar vermesi
		Yapılı Çevre	Yerleşimlerin, ticaretin, ulaşımın ve toplumların bozulması: Mal kaybı
	Artan Erozyon ve Sediment Taşınımı	Su Temini Etmek (Rezervuarlar)	Sedimentasyon ve su depolama kapasitesinde azalma ve bulanıklığın artması
		Azalmış Su, Oksijen Konsantrasyonları	Su kalitesinde azalma (örn. alg çoğalması): Arıtma gereksinimlerinde artış
Daha Yüksek Sıcaklıklar	Kar ve Buz Örtüsündeki Değişiklikler	Su Temini (Nehirler)	Pik akış zamanlaması ve büyüklüğündeki değişiklik
	Suyun Bakteri ve Fungal-Mantar İçeriğinde Artış	Su Temini (Altyapı)	Koku ve tadın giderilmesine yönelik arıtma gereksinimlerinin artması
	Kıyı Su Katmanlarına Tuzlu Su Girişi	Su Temini (Yeraltı suyu)	Tuzlu su girişi nedeniyle tatlı su mevcudiyetinin azalması: su kaynağının terk edilmesi
Deniz seviyesi yükselmesi	Fırtınalar, Su Baskınları	Tüm	Tüm kıyı altyapısının zarar görmesi: Kıyı koruma maliyetleri Arazi kullanımının yer değiştirme maliyetlerine karşı: Nüfus ve altyapı hareketi potansiyeli

Bunlarla birlikte; geçirimsiz malzemelere, topoğrafyaya ve altyapıya sahip tek tek binalar veya mahalleler de dahil olmak üzere küçük yerel yerleşimlerim, suyun atmosferden zemine geçişi sırasında dönüşüm hızı ve akış yollarının üzerinde etkisi olduğu görülmektedir

(McGrane, 2016). Hidrolojik döngü bileşenleri üzerinde kentleşmenin etkisi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kentleşmenin Hidrolojik Döngü Üzerindeki Etkisi (McGrane, 2016’dan uyarlanmıştır.)

Değişkenler	Kentleşmenin etkisi
Yağış	Rüzgâr yönündeki yağışlar ve konvektif fırtınalarda artma
İnfiltrasyon	Azalma
Evapotranspirasyon	Azalma
Yüzey akışı	Artma
Taşkın büyüklüğü	Artma
Erozyon	Artma
Taban akışı	Azalma

Tablo 2’de hidrolojik döngü üzerinde görülen sonuçlar kentlerde doğal hidrolojik döngünün bozulduğunu göstermektedir. Bu nedenle kentleşmenin etkisiyle kentsel su döngüsünün bileşenlerinin tam olarak anlaşılması için entegre su yönetimi yaklaşımına ihtiyaç vardır.

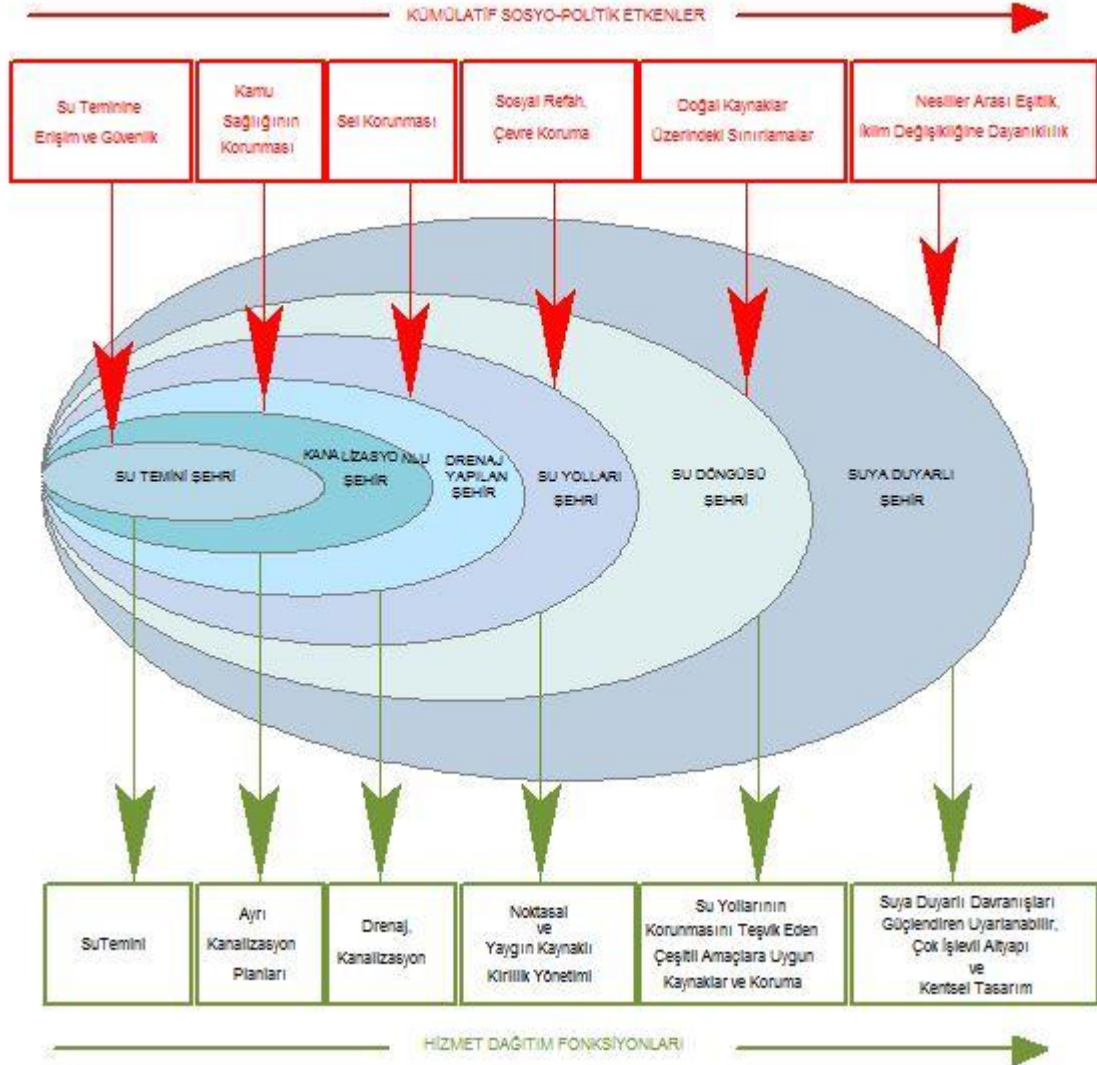
Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi ve Suyun Korunması

Kentsel su yönetimi geçmişten günümüze çeşitli aşamalardan geçmiştir. Şehirler için gelecekte öngörülen su yönetim yaklaşımlarıyla birlikte bu geçişler altı aşamada kategorize edilmektedir. Altı aşama; su temini şehri, kanalizasyonlu şehir, drenajlı şehir, su yolları şehri, su döngüsü şehri ve suya duyarlı şehirdir (Brown vd., 2009).

Kentsel su yönetimi geçişlerinde her aşamanın kendine özgü amaçları ve birtakım kaygıları vardır. Şekil 4, kentsel su yönetimi geçişlerini göstermektedir. Daha gelişmiş su yönetimi uygulamalarına ulaşmak için kademeli olarak diğer aşamalara geçilmektedir. Bunlar;

- *su temini şehri*; su kaynaklarının insan faaliyetleri için kullanılabilirliğini ve erişilebilirliğini,
- *kanalizasyonlu şehir*; sudan kaynaklanan hastalıkları önleyerek halk sağlığını korumak için kanalizasyon şebekesini,
- *drenaj yapılan şehir*; su birikmesini önlemek için drenaj altyapısının etkinliğinin artırılmasını,
- *su yolları şehri*; kirliliğin arıtılması ve önlenmesi yoluyla su kalitesinin artırılmasını,
- *su döngüsü şehri*; verimli su kullanımını ve döngüsel su kullanımını,
- *suya duyarlı şehir*; afet hasarları ve iklim değişikliği durumunda dayanıklılığı kesinleştirmeyi amaçlamaktadır.

En gelişmiş aşamadaki suya duyarlı şehirler, doğayı koruyan çözümler, kentsel mimari ve peyzaj tasarımına uyum sağlamanın bütünleştirici araçlarını sağlayan kentsel tasarım süreçlerinin devreye alınmasıyla gerçekleştirilebilir (Hussey ve Kay, 2015; Zhu ve Chang, 2020; Mishra vd., 2021; Brown vd., 2009).



Şekil 4. Şehirlerde kentsel su yönetimi: tarihsel, güncel ve gelecekteki rejimler (Brown vd., 2009'dan uyarlanmıştır.)

Uluslararası kentsel su sürdürülebilirliği kavramı aşağıdaki ilkeler üzerine kurulmuştur:

- Suya ve sanitasyona erişim bir insan hakkıdır ve halk sağlığının iyi olması için gereklidir.
- Tatlı su sınırlı bir kaynaktır.
- Tatlı su ekosistemlerinin kirlilikten korunması gerekmektedir.
- Suyla ilgili planlama ve kararlara halk katılmalıdır.
- Su kaynakları yönetimi, yüzey suyu, atık su, su ve drenaj gibi farklı sektörleri ve sistemleri entegre etmelidir (Bell, 2018).

Bu ilkeler gözönüne alınarak kentlerde endüstriyel faaliyetleri de dahil ederek yerel yönetimlere halkın katkısıyla aşağıdaki çalışmalar ile sürdürülebilir kentsel su yönetimi gerçekleştirilebilir.

- Yüzey suyu depolanması
- Yağmur suyunun korunması
- Yapay besleme gibi yeraltı suyunun korunması ve süzme tankı yöntemi
- Buharlaştırmanın azaltılması
- Suyun geri dönüşümü ve ev içi kullanımda suyun korunması
- Su kaybının azaltılması
- Atık suyun yeniden kullanımı ve yeraltı suyuna yapay şarj (Kurunthachalam, 2014).

Kentsel su yönetiminde yağmur suyunun korunması ile yukarıda sıralanan amaçların birçoğu zaten gerçekleştirilebilir. Yağmur suyunun korunmasının en basit ve etkili yollarından biri yağmur suyunun hasat edilmesidir.

Yağmur Suyu Hasadı

Yağmur suyu toplama tankları dünya çapında yaygın bir sürdürülebilir su yönetimi uygulamasıdır. Evsel, sulama ve hayvancılık su ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadırlar (Londra vd., 2018). Yağmur suyu hasadı, çatı gibi geçirimsiz bir yüzeyden veya toprak gibi geçirgen bir yüzeyden suyun toplanması ve faydalı bir şekilde kullanılacağı bir yere yönlendirilmesi işlemidir (Accetturo ve Audrey, 2015). Bu işlem çatılardan, arazi yüzeylerinden, yol yüzeylerinden veya kaya havzalarından yağmur suyunun tank ve sarnıç gibi basit tekniklerin yanı sıra yeraltı kontrol barajları gibi daha karmaşık teknikler kullanılarak suyun toplanması ve depolanmasını sağlamaktadır. Hasat edilen yağmur suyu, evsel ve peyzaj kullanımı için ideal olan yenilenebilir bir temiz su kaynağıdır. Su toplama sistemleri, yeni ve mevcut tesislerin yanı sıra küçük ve büyük sahaların ihtiyaçlarını etkin bir şekilde karşılayabilecek esnek çözümler sunar. Yağmur suyu toplama sisteminin en büyük çekiciliği, diğer su temin sistemleriyle karşılaştırıldığında maliyet, erişilebilirlik ve hane düzeyinde kolaylıkla bakım yapılabilmesinden kaynaklanmaktadır. Yağmur suyunun toplanması, yüzey ve yeraltı sularının çekilmesine yönelik talepleri azaltarak yerel su kaynakları üzerinde uzun vadeli bir etkiye sahiptir. Ayrıca yağmur suyunun toplanması, noktasal olmayan kaynak kirliliğini azaltarak yerel su kaynaklarının bütünlüğünü korur. Yağmur suyu hasadının ülkeler bazında yönetim planlarına dahil edilmesi yerel çevreyi koruduğu gibi alternatif ve sürdürülebilir bir su kaynağı sunmaktadır (Abdulla, 2019).

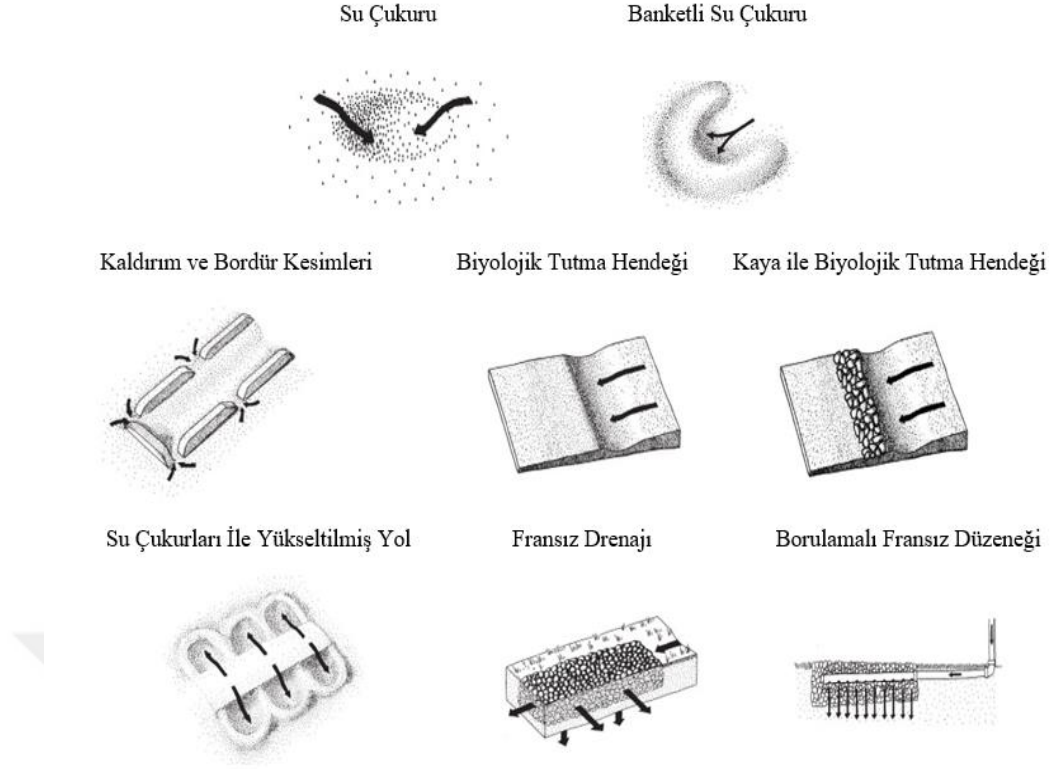
Su hasadı; suyun doğrudan toprakta depolanması, “pasif su hasadı” veya daha sonra kullanılmak üzere suyun tanklarda depolanması “aktif su hasadı” olarak iki yolla gerçekleştirilebilir (Accetturo ve Audrey, 2015).

Pasif yağmur suyu hasadı sistemleri, yağmur suyunu faydalı kullanım için doğrudan toprağa yönlendirmek, toplamak ve sızdırmak için arazi şekillendirme ve diğer teknikleri kullanmaktadır. Şekil 5 pasif yağmur suyu hasadı örneklerini göstermektedir. Pasif yağmur suyu toplama sistemleri yağmur suyunu yönetmekte ve bitki örtüsünün büyümesini desteklemektedir. Bu tip yağmur suyu toplama sistemleri aynı zamanda bitkilerden toprağa düşen yaprakları, ince dalları ve meyveleri içinde tutmaktadır. Bu şekilde bitki materyali ayrışarak buharlaşmayı azaltan ve besin maddelerini bitkiye geri dönüştüren malç oluşturmaktadır.

Tipik bir pasif sistem aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- Su toplama yüzeyi: Çatı üstü, araba yolu veya arazinin eğimli bir kısmı gibi suyun aktığı geçirimsiz veya geçirgen alanlar
- Sızma alanı: Suyun yakalandığı ve mikro havzalar, yağmur bahçeleri, biyolojik su tutma hendekleri veya diğer çöküntüler şeklinde toprakla şekillendirilmiş suyun sızdığı çöküntülü, malçlanmış ve bitki örtüsüyle kaplı alanlar
- Taşma yapısı: Kayayla kaplı dolusavak gibi bir taşma yapısı şeklinde fazla yağmur suyunun faydalı bir şekilde kullanılmasına ve güvenli bir şekilde akmasına olanak sağlayan alanlar

Yağmur suyunun düştüğü yere veya aktığı yüzeye yakın bir yerde toplanması, tasarım verimliliğini ve su toplama faydalarını en üst düzeye çıkarmaktadır. Pasif yağmur suyu toplama sistemlerinin boyutları, birkaç metrekareslik mikro havzalardan, birkaç dönümlük alanı kapsayan bölgesel tutma havzalarına kadar değişebilmektedir. Bu tip yağmur suyu toplama tekniklerinin örnekleri arasında, bazen biyolojik tutma hendekleri olarak da bilinen, büyük bitki örtüsüne sahip çöküntüler olan yağmur bahçeleri, küçük lokalize mikrohavzalar ve bir veya daha fazla bitkiyi desteklemek için su içeren setler; suyun gözenekli kaplamanın altındaki toprağa sızmasına izin veren gözenekli kaplama ve diğer çeşitli yöntemler bulunmaktadır.



Şekil 5. Pasif yağmur suyu hasadı örnekleri (Accetturo ve Audrey 2015’den uyarlanmıştır.)

Aktif yağmur suyu hasadı sistemleri, suyu toplamak, filtrelemek, depolamak ve iletmek için ekipman kullanmaktadır. Aktif sistem depolaması bu suyun kullanılabileceği süreyi uzatmaktadır. Hem açık havada hem de iç mekanlarda faydalı kullanım sağlayan bir sistemdir. Toplama sistemleri 55 galonluk yağmur varillerinden, dış mekan sulamasında 10.000 galonluk veya daha büyük tanklara ihtiyaç duymaktadır. Bu sistem evsel ve peyzaj suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Şekil 6 aktif yağmursuyu toplama sistemlerinin hem yer üstü hem de yer altı kurulumları gösterilmektedir. Su yer üstünden yer çekimi akışıyla iletilemediği sürece, suyun pompayla toplanabilmesi ve dağıtılabilmesi için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Aktif sistemlerin etkin çalışabilmesi için bakımlarının iyi yapılması gerekmektedir.

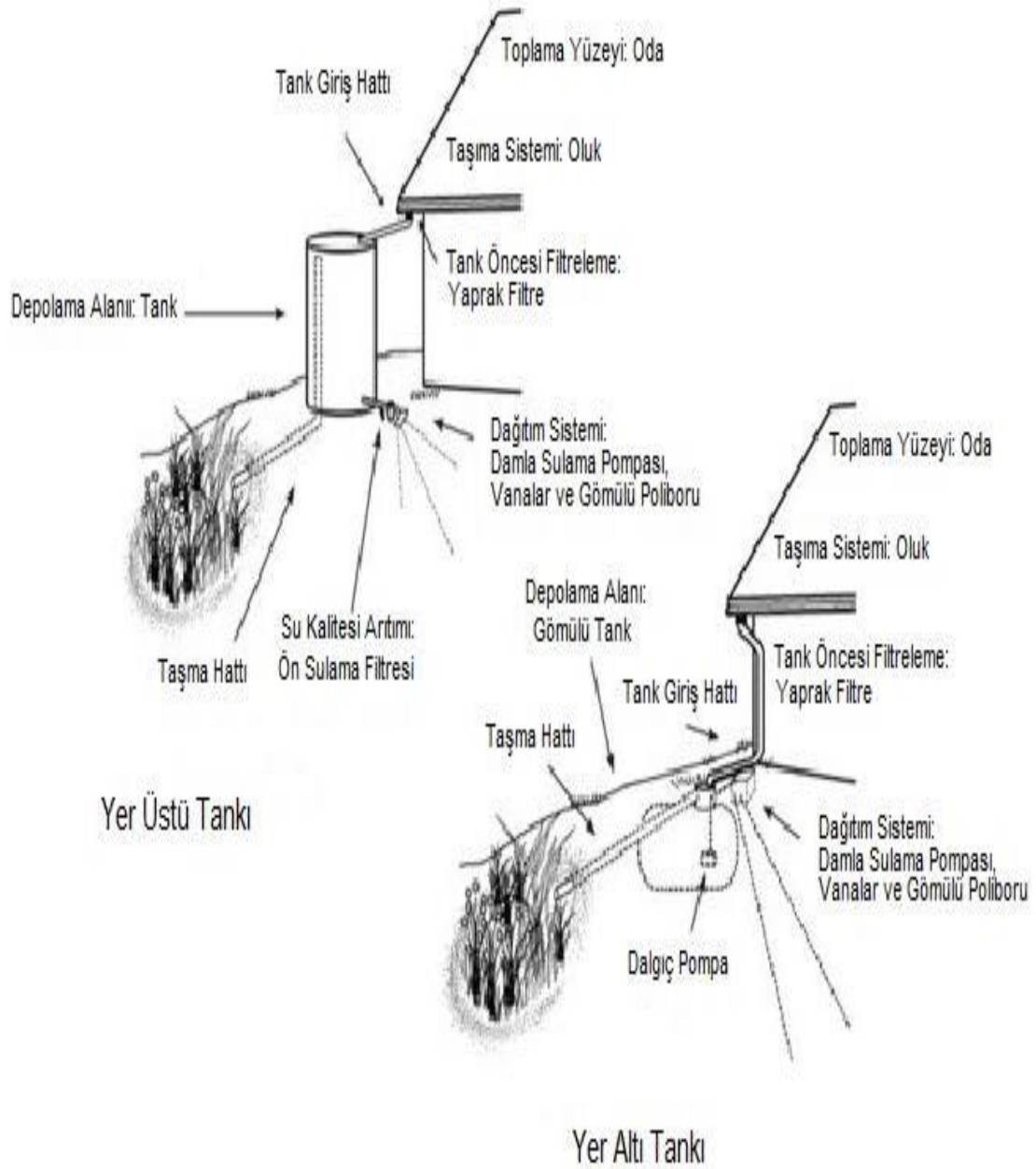
Aşağıdaki bileşenler tipik bir aktif yağmur suyu hasadı sisteminin öğeleridir.

- Toplama yüzeyi: Geçirimsiz yüzey, örneğin yağmur suyunun aktığı çatı yüzeyi
- İletim sistemi: Yağmur suyunun toplandığı yüzeyden bir depoya aktarılmasını sağlayan oluklar, borular
- Tank öncesi yönlendiriciler ve filtreler: Tanka su girmeden önce yaprakları ve bir takım küçük materyalleri ayıran yapılar. Ortaya çıkan içilemez su (içilmez su), hortum yoluyla dağıtımına uygundur ancak damla sulama sistemi yoluyla dağıtımına uygun olması için ek filtrelemeye ihtiyaç duyacaktır.

- Depolama tankı: Suyu depolayan su geçirmez bir tanktır. Boyut, bileşim ve şekli değişkenlik gösterebilir. Hasat edilen su faydalı kullanıma sunulana kadar tanklarda bekletilir. Tanklar yer üstüne veya yer altına monte edilebilir ve ışık geçirmez olmalıdır.

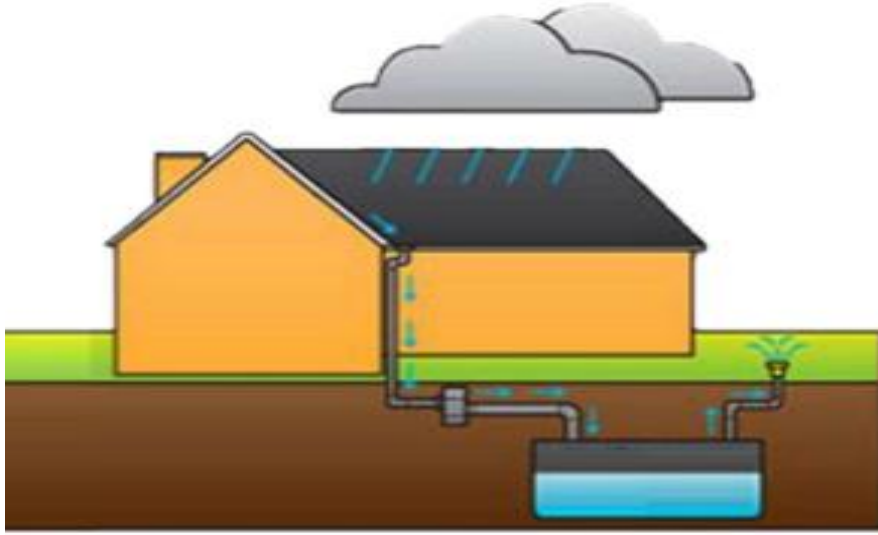
Su arıtma: Tank öncesi yönlendiricilere ve filtreler ek olarak, suyun kullanım amacına bağlı olarak, su tanktan çıktığında gelişmiş su arıtmaya ihtiyaç duyulabilir. Bu kullanımlar ve ilgili işlemler şunları içerebilir:

- ✓ Damla sulama: Parçacıkların damla sulama sistemi bileşenlerini tıkamasını önlemek için hasat edilen yağmur suyundan büyük ve küçük parçacıkların filtrelenmesi gerekir.
- ✓ İçme suyu: İnsanlar yağmur suyunu tüketecekse, bu suyun içme suyu standartlarını karşılaması gerekir. Yağmur suyunu içme suyu standartlarına getirmek için, başlangıçtaki kalitesine bağlı olarak karbon filtrasyonu, ultraviyole dezenfeksiyonu da dahil olmak üzere bir dizi su arıtma işlemi gerekebilir.
- ✓ Dağıtım sistemi: Dağıtım sistemi, suyu depolama konteynerinden kullanım amacına taşıyan bileşenlerden oluşur. Dağıtım sistemleri, el tipi bir hortum aracılığıyla dağıtılan yerçekimiyle beslenen suyu veya damla sulama sistemi aracılığıyla dağıtılan pompalanan suyu içerebilir.



Şekil 6. Aktif yağmur suyu toplama sistemleri örnekleri (Accetturo ve Audrey 2015’den uyarlanmıştır.)

Yağmur suyu hasat sistemleri içinde en kolay yöntem çatılardan yapılan hasattır (Pala vd., 2021). Şekil 7 çatılardan yağmur suyu hasadının şematik gösterimini vermektedir. Bu şemada toplanan yağmur suyu yeraltına yerleştirilen bir depolama tankında biriktirilmektedir. Ancak yerüstünde de bir depo haznesinde biriktirme sağlanabilir.



Şekil 7. Çatılardan yağmur suyu hasadı (Pala vd. 2021 ‘den uyarlanmıştır.)

Çatıdan yağmur suyu toplamanın elemanları; i) çatı alanı ii) aşağı yönelen boru iii) ilk yıkama borusu iv) filtre ünitesi v) depolama tankıdır. Şekil 8 çatılardan yağmur suyu toplamada gerekli elemanları göstermektedir.



Şekil 8. Çatılardan yağmur suyu toplamada gerekli elemanlar (Mohapatra vd. 2022 ‘den uyarlanmıştır.)

Çatı suyunun hasadı sonrasında,

- ✓ yağmur suyunun orta derecede kusursuz ve serbest bir su kaynağı olması
- ✓ yağmur suyu klorlu olmadığından saksı bitkileri ve bahçeler için faydası
- ✓ yeraltı suyu kaynaklarını desteklemesi
- ✓ su temini maliyetini düşürmesi
- ✓ acil durumlar için alternatif bir su kaynağı olması
- ✓ verimli ve takip edilmesinin kolay olması
- ✓ sel ve toprak kaymalarını azaltması

- ✓ ücretsiz olması
- ✓ su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde bir miktar da olsa su varlığının sağlanması
- ✓ yüzey suyunun akışından kaynaklanan gübre ve pestisitlerle daha temiz bir ortam göller, akarsular, okyanuslar gibi su ortamlarının kirlenmesini azaltması

elde edilen avantajlar arasındadır (Mohapatra vd., 2022).

Çatılardan yağmur suyu hasadı, yukarıda belirtilen son maddeye ilaveten kentlerdeki kirliliğin su akışıyla alıcı ortamlara taşınması engellemektedir.

Ayrıca yağmur suyu çok yumuşak olduğundan temizlik amaçlı kullanımında daha az deterjan ve temizlik kimyasalı gerektirir (Deshmukh vd., 2022).

Yağmur suyunun hasat edildikten sonra kullanımı her ne kadar sifon suyu, çamaşır yıkama, araç yıkama, yeşil alan sulaması veya endüstrilerde soğutma suyu gibi amaçlar için kullanılsa da dünyanın birçok bölgesinde, suya ulaşımın zor olduğu veya su kıtlığının yaşandığı, içme suyu kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Yağmur suyu hasadı, içme suyunda toplam aile kullanımında %50'ye kadar tasarruf sağlayabilmektedir (Deshmukh vd., 2022).

Ev kullanımı için yağmur suyu toplama sistemlerini seçerken çeşitli faktörler dikkate alınmaktadır. Bunlar aşağıda belirtildiği gibidir (Deshmukh vd., 2022):

- ✓ Toplama alanının büyüklüğü ve türü
- ✓ Bölgedeki yağış ve hava durumu eğilimlerine ilişkin veriler
- ✓ Kuraklığın süresi
- ✓ Alternatif su kaynakları
- ✓ Yağmur suyu toplama sisteminin maliyeti

Yağmur suyunun toplanması öncelikli olarak sulama amacıyla kullanıldığında, bir takım sorunların ele alınması gereken unsurlar şu şekildedir (Deshmukh vd., 2022):

- ✓ Yağış hacimleri, yoğunlukları ve buharlaşma-terleme oranları
- ✓ Sızma oranı, su depolama kapasitesi, verimlilik ve toprak derinliği
- ✓ Su ihtiyacı ve büyüme mevsimi süresi gibi ürün özellikleri
- ✓ Sahanın hidrojeolojisi

MATERYAL VE YÖNTEM

Ordu İli Konumu, Demografisi

Ordu il merkezi konumu itibariyle 37° ve 38° doğu meridyenleri ile 40° ve 41° kuzey paralelleri arasında, Karadeniz Bölgesi'nin, coğrafi olarak Doğu Karadeniz bölümünde bulunmaktadır. Ordu ilinin kuzeyinde Karadeniz, batısında Samsun, güneyinde Tokat ve Sivas, doğusunda Giresun bulunmaktadır. Yüzölçümü toplam 5.861 km² olup (Anonim a, 2022), üzerinde Akçaova Deresi, Civil Deresi ve Melet Irmağı gibi büyüklü küçüklü birçok akarsu bulunmakta ve bazı alanlarda alüvyon düzlükler bulunmaktadır.

Büyükşehir statüsünde olan Ordu ili 19 ilçeden meydana gelmiştir. Bu ilçeler; Akkuş, Altınordu, Çamaş, Çatalpınar, Çaybaşı, Fatsa, Gökçöy, Gülyalı, Gürgentepe, İkizce, Kabataş, Kabadüz, Korgan, Kumru, Mesudiye, Perşembe, Ulubey ve Ünye'dir (Anonim a, 2022).

Ordu ili, 2021 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemi verilerine göre, Türkiye nüfus sıralamasında 760.872 kişi ile 29. sırada yer almaktadır Nüfus yoğunluğuna göre 127,83 kişi/km² ile Türkiye'nin 19. sırasında iken merkez ilçe Altınordu ilçesinde bu değer yükselmekte olup km²'ye 559 kişi düşmektedir. İlde nüfus yıllık hesaplara göre %0,07 oranında azalma göstermektedir. Nüfus artış oranı en düşük ilçe %-8,31 ile iken Kabadüz iken en yüksek ilçe %2,28 değeri ile Altınordu'dur (Anonim a, 2022) .

Ordu İlinin İklimsel ve Hidrolojik Özellikleri

İl genelinde Karadeniz iklimi yer almaktadır. Ilıman bir iklime sahiptir. Yazları serin, kışları ılık geçer. Yılın on iki ayı mevsime uygun yağışlar görülmektedir. Ordu ilinin çevresindeki dağ yükseltilerinin azalması nedeniyle kışın soğuk günler sınırlıdır. İç kesimlerinde yer alan ilçelerde yükseltilerin artması ile kışlar daha soğuk geçer. Kışın ilin iç bölgelerindeki ilçelerde altı ay kar görülmektedir. Çambaşı Yaylası, Sarı Oba ve Beşiktaş Yaylalarında karlar Mayıs ayına kadar erimemektedir (Anonim a, 2022).

Ordu İlinde Yağmursuyu Kaybı- Taşkın ve Seller

Taşkınlar; çeşitli sebeplerle akarsuların, ırmakların, derelerin yatağından taşması haricinde, normal şartlar altında bölgesel alanların geçici olarak sularla kaplanmış olması; parsellere, altyapı tesislerine, imar planlı yerleşim yerlerine ve canlılara zarar vererek o bölgedeki sosyal ve ekonomik faaliyetleri zarara uğratan bir afet olayı olup; ülkemizdeki

meteorolojik olaylar arasında birinci, afetler arasında ikinci sıradadır (Özcan, 2016; Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2017).

Yağmurun birim alana fazla yağması ile meydana gelen su baskını olayları, Doğu Karadeniz havzasında, kıyı sahil kesimlerinde bulunan ilçelerde yoğun olmak üzere Ordu ili için Altınordu, Fatsa ve Ünye ilçelerinde görülmektedir. Kentleşme yapısı ve kentin konumu sonucunda su baskınlarının sıklıkları ve büyüklükleri farklılıklar göstermektedir. Meteorolojik şartlar, yörenin bitki örtüsü ve topoğrafyası sağanak yağışlar sonucunda ani su baskınlarında ve bunların meydana getirdiği yıkıcı etkilerde önemli rol oynamaktadır. Kurak bölgelerdeki bitki örtüsünün yetersiz olması da dik meyillerde ani su baskınlarını arttırmaktadır. Yağışların uzun sürmesi sonucunda, doymuş hale gelen arazi yapıları bir sonraki sağanak yağışlarda geniş bölgeleri de etkileyen ani su baskınlarının ana temelidir.

İl genelinde, ilçelerle birlikte, tarihsel süreçte meydana gelen taşkın, sel afetleri ve oluşturduğu sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Çalışma Sahası

Ordu ili kent merkezi Altınordu ilçesi çalışma sahası olarak seçilmiştir. Altınordu ilçesinin toplam mahalle sayısı 92’dir. TÜİK 2021 yılı verilerine göre Altınordu ilçesinin nüfusu 229.214 kişi olup; yüzölçümü 404 km²’dir. İlçe merkezi her mevsim yağışlı olup; bu yağışların en fazla sonbaharda meydana geldiği görülmektedir.

Kent Merkezi İçin Yağmur Suyu Hasadı Çalışmaları

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır.

Birinci aşama; Ordu kent merkezinde imarlı ve imarsız alanlardaki konutların çatılarından elde edilebilecek yağmur suyu hasadı potansiyelinin belirlenmesidir.

İkinci aşama; kent merkezinde alanı 2000 m²’den büyük olan parsellerde yer alan konut, ticari ve kurumsal bazı binaların çatılarından elde edilebilecek yağmur suyu hasadı potansiyelinin belirlenmesi ve elde edilecek suyun kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Tablo 3. Ordu İline Ait 1972-2023 Yıllarında Taşkın ve Sel Afetleri (Güney, 2017)

Doğal Afet	Tarih	Zarar
Taşkın ve Sel	21 Haziran 1972	Ordu ili kent merkezinde yağın aşırı yağmur sonrasında Ordu kent merkezinde bulunan derelerde, Bülbul Deresinde, Fatsa Bolaman, Melet ve Turnasuyu Irmaklarında taşkınlar ve seller meydana gelmiştir. Çevreye maddi hasarlar oluşmasına neden olmuştur.
	30 Haziran 1973	Ordu ili kent merkezinde bulunan derelerin taşması sonunda sel meydana gelmiştir. Çevrede maddi hasar oluşmasına neden olmuştur.
	12 Haziran 1975	Ordu ili merkez ilçede Boztepe, Kayabaşı ve Dedeli Köylerinde yağın aşırı yağmur sonunda Melet, Civil, Akçaova Irmaklarının ve derelerin taşması sonucunda sel meydana gelmiştir. Çevrede maddi hasarların oluşmasına neden olmuştur.
	19 Mayıs 1977	Ordu ili merkez ilçede Kayabaşı Köyünde yağın aşırı yağmur sonunda Ordu ili Melet Irmağının taşmış ve sel meydana gelmiştir. Bu durum etrafta maddi hasara neden olmuştur.
	02 Ağustos 1988	Ordu ili merkez ilçe ve civarında yağın aşırı yağmur sonunda Civil ve Melet Irmakları taşması nedeniyle sel meydana gelmiştir. Bu durum çevrede maddi hasarların oluşmasına sebep olmuştur.
	03 Ağustos 2001	Ordu ili merkez ilçesinde yağın aşırı yağmur sonucunda derelerin taşması sonucunda sel meydana gelmiştir. Çevrede maddi hasar meydana gelmiştir.
	22 Haziran 2008	Ordu ili merkez, ilçesinde yağın aşırı yağmur Civil, Çavuşlar ve İmamoğlu Derelerinin taşması sonuçlarında sel meydana gelmiştir. Bu durum çevrede maddi hasar oluşmasına neden olmuştur.
	15 Temmuz 2009	Ordu ili merkez ilçesinde yağın aşırı yağmur Akçaova Irmağı taşmış ve selin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu durum bir çok ev ve iş yerlerinde maddi zarara neden olmuştur.
	18 Ağustos 2011	Ordu ili merkez ilçe ve civarında yağın aşırı yağmur sonucunda Civil Irmağı ile Ordu kent merkezinde bulunan derelerin taşması sonunda sel meydana gelmiş ve bu durum hem fındık bahçelerindeki fındıklara hem de çevrede maddi zarar oluşmasına sebep olmuştur.
	7 Temmuz 2013	Ordu ili Merkez ve civarında yağın aşırı yağmur Ordu kent merkezinde bulunan derelerde ve altyapı hatlarında taşkınlara neden olması sonunda sel meydana gelmiştir. Bu durum çevrede maddi hasar oluşmasına sebep olmuştur.
	5-6 Temmuz 2016	Ordu ili kent merkezinde yağın aşırı yağmur sonucunda Akçaova Irmağının taşması sonucunda sel meydana gelmiştir. Bu durum çevrede maddi hasarın oluşmasına sebep olmuştur.

Tarihsel süreçte Ordu ili kent merkezinde şiddetli yağışlar sonrası derelerin taşması sonucu meydana gelen sel felaketlerine ait bazı fotoğraflar aşağıda Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Ordu ili kent merkezinde meydana gelen sel fotoğrafları (Güney, 2017)

Çatılardan Yağmursuyu Hasadı Hesabı

İki aşamalı olarak planlanan çalışmada çatılardan hasat edilebili hasat edilebilir yağmur suyu potansiyellerinin ve bu suyun farklı şekillerde alternatif kullanımları ile ilgili hesaplama eşitlikleri Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 4. Hesaplamalarda Kullanılan Eşitlikler

Akış Kat Sayısı x Çatı Yüzeylerine Düşen Yıllık Toplam Yağmur Suyu Miktarları (m³) = Çatı Yüzeylerine Düşen Yıllık Toplam Yağmur Suyu Miktarları (m³/yıl)
Ortalama Çatı Alanı (m ² /konut) x Konut Sayısı = Toplam Çatı Alanı (m ²)
Toplam Çatı Alanı (m ²) x Yıllık Toplam Yağış (mm) = Çatı Yüzeylerine Düşen Yıllık Toplam Yağmur Suyu Miktarları (m ³)
Akış Kat Sayısı x Çatı Yüzeylerine Düşen Yıllık Toplam Yağmur Suyu Miktarları (m ³) = Çatı Yüzeylerine Düşen Yıllık Toplam Yağmur Suyu Miktarları (m ³ /yıl)
Hasat Yüzdesine Göre Aylık ve Yıllık Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarı, Eşdeğer Yüzde ve Eşdeğer Gün Değerleri Eşitlikleri
Toplam Çatı Alanı (m ²) x Hasat Yüzdesi x Aylık Toplam Yağış (mm/ay) x Akış Kat Sayısı = Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarı (m ³ /ay)
Toplam Çatı Alanı (m ²) x Hasat Yüzdesi x Yıllık Toplam Yağış (mm/yıl) x Akış Kat Sayısı = Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarı (m ³ /yıl)
Toplam Hasat Edilebilir Yıllık Yağmursuyu Miktarı (m ³ /yıl) / Kentte Tüketilen Su Miktarı (m ³ /yıl) x 100 = Eşdeğer Yüzde
Gün x Eşdeğer Yüzde = Eşdeğer Gün

Tablo 5. Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarının Sulama Suyu, Sifon Suyu, Zemin Temizleme Su İhtiyacı ve Araç Yıkama Su İhtiyacı İle İlgili Eşitlikler (Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022)

Toplam hasat edilebilir yağmur suyu miktarının kullanılma eşitlikleri
f = Toprakta bulunan kullanılabilir suyun bitki tarafından tüketilmesine izin verilen yüzdesi. h = Su yüksekliği (mm) H_t = Toprağa verilmesi gereken su miktarı (mm) ($H_t = h / f$)
Zemin Temizleme Su İhtiyacı (m^3 / ay) = Kat Alanları (m^2) x 2 ($L / m^2 ay$) Sifon suyu miktarı (m^3 / ay) = ((Kişi sayısı / gün x Sifon kullanım sayısı x Açık olunan gün sayısı)) x Sifon rezervuar hacmi (m^3) Araç Yıkama Su İhtiyacı (m^3 / ay) = Araç Sayısı x 100 L/araç x kez gün/ay Sulama Suyu İhtiyacı (m^3 / ay) = Yeşil Alan (m^2) x 8,5 mm/gün x 1 m /1.000 mm x Yağışsız Gün Sayısı (gün/ay)

Kabul değerleri ve kullanılan programlar dahil olmak üzere aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Toprakta Bulunan Kullanılabilir Suyun Bitki Tarafından Tüketilmesi

Toprakta bulunan kullanılabilir suyun bitkiler tarafından tüketilebilmesi; bitkilerin köklerinde su ihtiyacı için depo edilmesi gereken su miktarına oranıdır. Bu oran sulama yöntemine göre su uygulama yüzde aralıkları Tablo 6’da gösterilmektedir (Kodal ve Ersoy, 2022).

Tablo 6. Su Uygulama Yöntemi ve Yüzdeleri (Kodal ve Ersoy, 2022)

Sulama Yöntemi	Su Uygulama Randımanı (%)
Damla Sulama	85-95
Yağmurlama Sulama	65-80
Yüzey Sulama	40-80
Salma Sulama	30-40

Meteorolojik Veriler

Ordu Meteoroloji Müdürlüğünden 1972-2022 yıllarına ait; aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve aylık yağışlı gün sayısı verileri 07/10/2022 tarihinde alınmıştır. 1972-2022 yılları arasında yıllık ortalama yağış 1051,37 mm’dir. İlgili yıllar arasında aylık ve yıllık ortalama sıcaklık, yağış değerleri ve yağışlı gün sayıları Tablo 7’de verilmiştir. Bu verilere göre çalışma alanının yıllık sıcaklık ortalaması 14,60°C’dir. Ordu ilinde tüm aylarda yağış mevcuttur ve tüm aylara ait yağışlı gün sayısı birbirine yakın değerlerdedir. En az yağışlı gün sayısı Temmuz ve Ağustos aylarında görülürken yıllık toplam yağışlı gün sayısı 157,43 gündür. En çok yağış ortalama olarak 134,51 mm yağış yüksekliği ile Ekim ayında en düşük yağış 58,73 mm yağış yüksekliği ile Mayıs ayındadır.

Tablo 7. Ordu İline Ait 1972-2022 Yıllarına Ait Meteorolojik Veriler (MGM, 2022)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama													
Sıcaklık													
(°C)	7,00	7,12	8,20	11,48	15,72	20,52	23,31	23,75	20,51	16,50	12,12	9,02	14,60
Yağışlı													
Gün	14,70	13,72	15,70	14,33	13,51	11,59	9,90	9,84	11,90	14,65	13,27	14,29	157,43
Sayısı													
Ortalama													
Yağış	101,75	79,39	82,65	68,41	58,73	74,36	62,05	70,31	84,40	134,51	126,01	108,78	1051,37
(mm)													

Çatı Malzeme Katsayısı

Çatı malzeme katsayısı ile ilgili su tutma yüzeyi ve akış katsayıları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Çatı Malzeme Katsayısı (Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022)

Çatı Malzeme Katsayısı	
Su Tutma Yüzeyi	Akış Katsayısı
Kiremitler	0,75-0,90
Eski kiremit	0,75-0,80
Yeni kiremit	0,80-0,90
Metal Çatılar	0,70-0,90
Eski metal çatı	0,70-0,80
Yeni metal çatı	0,80-0,90
Kaplamalar	0,50-0,80
Beton Kaplama	0,60-0,80
Tuğla Kaplama	0,50-0,60

Çatı Yüzey Alanlarının Belirlenmesi

Birinci aşama: Kent merkezinde konut sayısı 44.529'dur. Konut sayılarıyla ilgili veri Ordu Büyükşehir Belediyesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Akıllı Şehirler Şube Müdürlüğü tarafından belirlenmiştir. Kent merkezinde her bir konutun ayrı ayrı çatı yüzey alanları ile ilgili veriler elde edilemediğinden konutların çatı yüzey alanları için bazı kabuller yapılmıştır. Ortalama çatı yüzey alan kabulleri 100, 150 ve 200 m²/konut olarak kabul edilmiştir.

İkinci Aşama: Belirlenen bölgelerde ki konut, ticari ve kurumsal binaların çatı yüzeyleri hesaplamaları için Ordu Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Harita ve Kamulaştırma Şube Müdürlüğünden 26.12.2022 tarihinde alınan ortofoto ve halihazır harita verileri kullanılmıştır. Çatı alan hesaplamalarının yapılabilmesi için Tablo 9'da belirtilen programlar kullanılmıştır.

Tablo 9. Tez Çalışmasında Kullanılacak Programlar ve Kullanım Amaçları

Program İsimleri	Programların Versiyonları	Kullanım amacı
NetCAD	8.0	Bu program ile parsel içerisinde bulunan mevcut binaların halihazır ve ortofoto durumlarına göre çizimleri, alan hesaplamaları ve Google Earth görüntüsüne aktarımı elde edilmektedir.
ArcGIS-ArcMap	10.5	ArcGIS'de dosyanın açılması sağlanmakta ve veri tabanlarına veri girişleri yapılarak belirlenen alanlardaki toplanabilir yağmursuyu miktarları hesaplanmaktadır. ArcGIS desktop 10.5 içerisinde arayüzlerinden olan ArcMap 10.5 ile coğrafi analizler, haritalamalar, veri yönetimi ve görüntüleme işlemlerinin yapıldığı CBS yazılımıdır.

Belirlenen bu alanlarda NetCAD 8.5 yazılım programı ile çatılar çizilmiştir ve çatı alan hesaplamaları yapılmıştır. Sonrasında ArcGIS desktop 10.5 içerisinde arayüzlerinden olan ArcMap 10.5’de; NetCAD’de hazırlanan çatı alan çizimlerinin açılması sağlanmakta ve veri tabanlarına veri girişleri yapılarak, ArcMap 10.5 yer alan Field Calculator modülü ile belirlenen çatı alanlarında toplanabilir yağmursuyu miktarları hesaplanmıştır.

Belirlenen bölgelerde ki konut, ticari ve kurumsal binaların çatı yüzeyleri hesaplamaları için ortofoto ve halihazır harita verilerinden yararlanılmıştır. Belirlenen bu alanlarda yer alan çatı alan hesaplaması için NetCAD 8.5 yazılım programından yararlanılmıştır.

ArcGIS Desktop 10.5 versiyonun ArcMap 10.5 arayüzü yazılımı ile haritalanmış bilgilerin analizlerini, veri tabanlarını oluşturmak ve hacim hesaplamalarını yapmak için kullanılmaktadır.

Çalışma alanları olarak Güneşkent Sitesi, Memurkent TOKİ, Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi, Ordu Büyükşehir Belediye binası, Kültür Sanat Merkezi ve Ordu Üniversitesi belirlenmiştir. Bu NetCAD 8.5 programı ile parsel içerisinde bulunan mevcut konut, ticari ve kurumsal binaların halihazır ve ortofoto verileri ile çatıları 2005 EPOK- ITRF 39 dilim 3 derece koordinat sisteminde noktalar verilmiş ve bu noktalar birleştirilerek .ncz uzantılı dosya oluşturulmuş olup; alan hesaplamaları ve Google Earth görüntüsüne aktarımı elde edilmiştir. Sonrasında coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS desktop 10.5 içerisinde arayüzlerinden olan ArcMap 10.5 ile veri yönetimi ve görüntüleme işlemleri kullanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanlarında Field Calculator modülü ile birlikte sayısallaştırılan bina çatılarının alanları, türü, akış katsayısı ve Ordu Valiliği Meteoroloji Müdürlüğünden 07/10/2022 tarihinde alınan 1972-2022 yıllarına ait ortalama meteorolojik yağış miktarı verileri ile ilgili sütunlar oluşturulmuştur. Bu Field Calculator modülü oluşturulan sütunlar formülize edilerek her bir bina çatısından yağmursuyu kapasitesi hesaplanmış olup; akabinde Excel programında tablo düzenlemesi yapılmıştır. Bu alanlarda elde edilen yağmur sularının hangi alanlarda kullanılacağı ve bu kullanılacak alanlarda ne kadar su kullanımlarının olduğu hesaplamaları yapılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

İklim değişikliğinin etkileri, dünyada bazı bölgelerde kuraklık olarak bazı bölgelerde şiddetli yağışlar ve dolayısıyla sel ve su baskınları olarak etkisini göstermektedir. Gerek su kıtlığı gerekse şiddetli yağışlar sonrası meydana gelen sel nedeniyle gerçekleşen su kaybı suyun sürdürülebilir yönetimini olumsuz etkileyen çok önemli iki konudur. Her iki durum da yağmur suyunun su korunarak alternatif bir su kaynağı olarak kullanılması gerekliliğini vurgulamaktadır.

Ordu, ülkemiz yağış ortalamasının üzerinde yıllık yağışa sahip bir ildir. Son yıllarda ilde hemen hemen her yıl şiddetli yağışlar sonrası meydana gelen seller can kaybıyla beraber maddi kayıplara neden olmaktadır. Bunlara ilaveten toprak kaymaları, erozyon ve dolayısıyla verimli üst toprağın ve yağış sularının kaybı ekolojik açıdan tüm canlı yaşamı için istenmeyen bir durumdur. Dünyadaki tüm kentlerde olduğu gibi Ordu şehir merkezinde de asfalt yollar, çatılar gibi geçirimsiz yüzeylerden dolayı yağış sularının yüzeysel akışa geçen oranı doğal su döngüsünde olması gereken değerin çok üzerine çıkmaktadır. Bu durumda suyun toprağa infiltrasyonu azalmakta ve su korunamamaktadır. Suyun korunmasının ve tekrar kullanılabilirliğinin yollarından biri yağmur suyu hasadıdır.

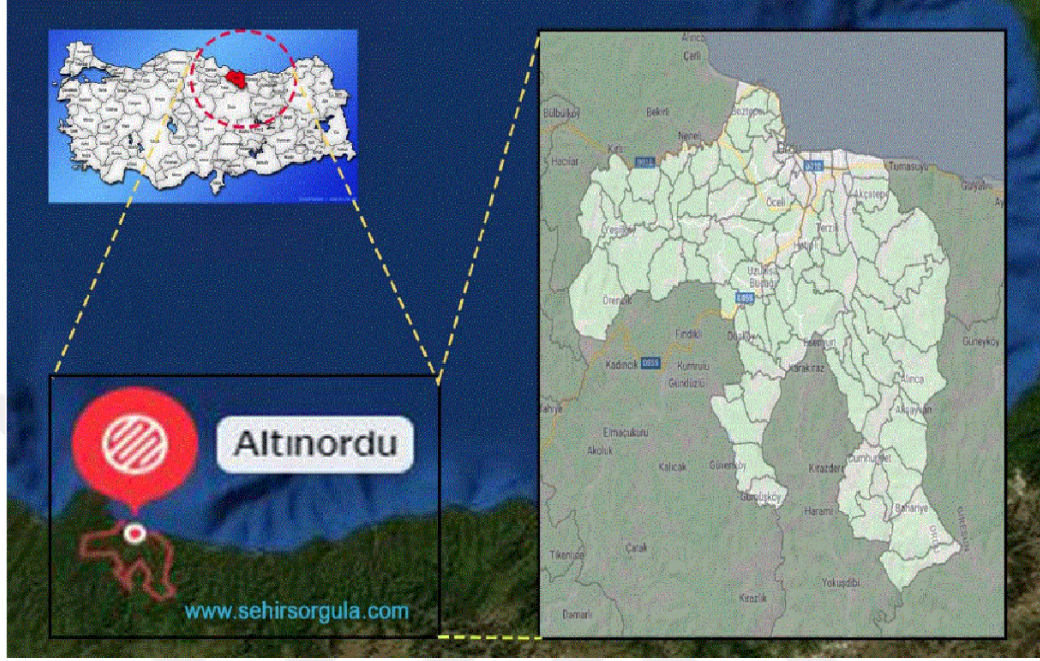
Bu çalışmada, Ordu ilinde geçirimsiz yüzeylerden biri olan çatı alanlarından temin edilebilecek yağmur suyu hasadı potansiyeli ve bu suların tekrar kullanılabilirliği ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, kent merkezinde toplam konut sayısının belirlenmesi, bazı kabuller ile konut çatılarından toplanabilecek toplam yağmur suyu miktarının tahmini ile ilgilidir. İkinci aşamada, kentte toplam yerleşim alanı 2000 m²'den büyük parsellerde yeralan konut, ticari ve kurumsal yapılardan hasat edilebilir yağmur suyu miktarının belirlenmesi ve bu binalardan elde edilebilecek suyun farklı kategorilerde tekrar kullanılabilirliği üzerine örnek hesaplamalar yapılmasını içermektedir.

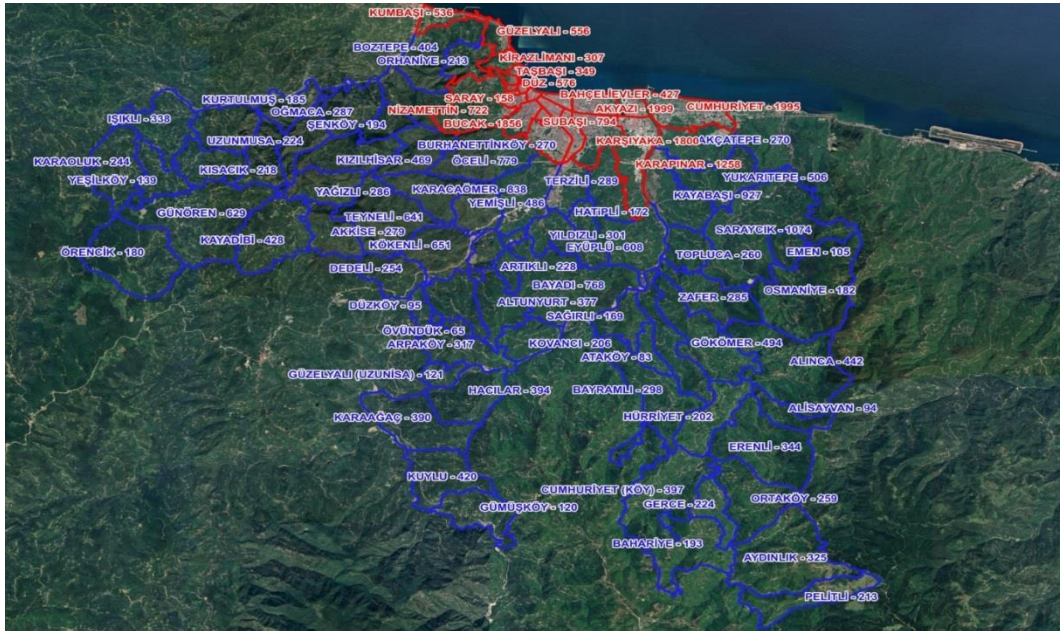
Konut Bina Sayılarına Göre Çatı Yüzeyi Toplam Yağmursuyu Potansiyelinin Belirlenmesi

Ordu Büyükşehir Belediyesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Akıllı Şehirler Şube Müdürlüğü'nden 16.12.2022 tarihinde resmi olarak elde edilen verilere göre Ordu kent merkezinde imarlı ve imarsız alanlarda yer alan mahallelerin sınırları ve uydu görüntüsü Şekil 10 ile Şekil 11'de gösterilmiştir. Yukarıda belirtilen tarih itibarıyla 92

mahallede toplam 44.529 adet konut Tablo 10’da yer almaktadır. İmarlı alanlarda 22 mahallede 20.829 adet konut yer alırken imarsız alanlarda 70 mahallede 23.700 adet konut bulunmaktadır (Ordu Büyükşehir Belediyesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Akıllı Şehirler Şube Müdürlüğü, 2022).



Şekil 10. Ordu ili Altınordu ilçesi mahalle sınırları (Anonim b, 2023)



Şekil 11. Ordu ili kent merkezi ve mahalle sınırları uydu görüntüsü (Ordu Büyükşehir Belediyesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Akıllı Şehirler Şube Müdürlüğü, 2022)

Tablo 10. Ordu İli Kent Merkezi (Altınordu İlçesi) Mahalleleri ve Bina Sayısı (Ordu Büyükşehir Belediyesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Akıllı Şehirler Şube Müdürlüğü, 2022)

İLÇESİ	MAHALLESİ	TUIK MAH KAD	KATEGORİ	BİNA SAYISI
ALTINORDU	AKYAZI	60816	Merkez Mahalle	1.999
ALTINORDU	AZİZİYE	60817	Merkez Mahalle	227
ALTINORDU	BAHÇELİEVLER	60818	Merkez Mahalle	427
ALTINORDU	BUCAK	60819	Merkez Mahalle	1.856
ALTINORDU	CUMHURİYET	60820	Merkez Mahalle	1.995
ALTINORDU	DURUGÖL	60821	Merkez Mahalle	627
ALTINORDU	DÜZ	60822	Merkez Mahalle	576
ALTINORDU	GÜZELYALI	60823	Merkez Mahalle	556
ALTINORDU	KARAPINAR	60824	Merkez Mahalle	1.258
ALTINORDU	KARŞIYAKA	60825	Merkez Mahalle	1.800
ALTINORDU	KİRAZLI MANI	60826	Merkez Mahalle	307
ALTINORDU	KUMBAŞI	60827	Merkez Mahalle	536
ALTINORDU	NİZAMETTİN	60828	Merkez Mahalle	722
ALTINORDU	SARAY	60829	Merkez Mahalle	158
ALTINORDU	SELİMİYE	60830	Merkez Mahalle	1.190
ALTINORDU	SUBAŞI	60831	Merkez Mahalle	794
ALTINORDU	ŞAHİNCİLİ	60832	Merkez Mahalle	1.919
ALTINORDU	ŞARKİYE	60833	Merkez Mahalle	659
ALTINORDU	ŞİRİNEVLER	60834	Merkez Mahalle	1.241
ALTINORDU	TAŞBAŞI	60835	Merkez Mahalle	349
ALTINORDU	YENİ	60836	Merkez Mahalle	1.299
ALTINORDU	ZAFERİMİLLİ	60837	Merkez Mahalle	334
ALTINORDU	HACILAR	150895	Köyden Mahalle	394
ALTINORDU	GÜZELYALI (UZUNİSA)	150893	Köyden Mahalle	121

Tablo 10. (Devamı)

ALTINORDU	GÜMÜŞKÖY	150891	Köyden Mahalle	120
ALTINORDU	ESKİPAZAR	150889	Köyden Mahalle	582
ALTINORDU	DÜZKÖY	150887	Köyden Mahalle	95
ALTINORDU	KAYABAŞI	150821	Köyden Mahalle	927
ALTINORDU	KARAOŁUK	150819	Köyden Mahalle	244
ALTINORDU	İŞIKLI	150817	Köyden Mahalle	338
ALTINORDU	HÜRRİYET	150815	Köyden Mahalle	202
ALTINORDU	GÜNÖREN	150813	Köyden Mahalle	629
ALTINORDU	GÖKÖMER	150811	Köyden Mahalle	494
ALTINORDU	GERCE	150809	Köyden Mahalle	224
ALTINORDU	EYÜPLÜ	150807	Köyden Mahalle	608
ALTINORDU	ERENLİ	150805	Köyden Mahalle	344
ALTINORDU	EMEN	150803	Köyden Mahalle	105
ALTINORDU	DİKENCE	150801	Köyden Mahalle	242
ALTINORDU	CUMHURİYET(KÖY)	150799	Köyden Mahalle	397
ALTINORDU	BURHANETTİNKÖY	150797	Köyden Mahalle	270
ALTINORDU	BOZTEPE	150795	Köyden Mahalle	404
ALTINORDU	BAYRAMLI	150793	Köyden Mahalle	298
ALTINORDU	BAHARİYE	150791	Köyden Mahalle	193
ALTINORDU	TOPLUCA	150853	Köyden Mahalle	260
ALTINORDU	TERZİLİ	150851	Köyden Mahalle	289
ALTINORDU	ŞENOC AK	150849	Köyden Mahalle	236
ALTINORDU	ŞENKÖY	150847	Köyden Mahalle	194
ALTINORDU	SAĞIRLI	150845	Köyden Mahalle	169
ALTINORDU	PELİTLİ	150843	Köyden Mahalle	213
ALTINORDU	ÖRENCİK	150841	Köyden Mahalle	180
ALTINORDU	ÖCELİ	150839	Köyden Mahalle	779

Tablo 10. (Devamı)

ALTINORDU	OSMANİYE	150837	Köyden Mahalle	182
ALTINORDU	ORTAKÖY	150835	Köyden Mahalle	259
ALTINORDU	ORHANIYE	150833	Köyden Mahalle	213
ALTINORDU	OĞMACA	150831	Köyden Mahalle	287
ALTINORDU	MUBAREK	150829	Köyden Mahalle	366
ALTINORDU	KURTULMUŞ	150827	Köyden Mahalle	185
ALTINORDU	KIZILHİSAR	150825	Köyden Mahalle	469
ALTINORDU	KISACIK	150823	Köyden Mahalle	218
ALTINORDU	AYDINLIK	150789	Köyden Mahalle	325
ALTINORDU	ATAKÖY	150787	Köyden Mahalle	83
ALTINORDU	ALİSAYVAN	150785	Köyden Mahalle	94
ALTINORDU	ALINCA	150783	Köyden Mahalle	442
ALTINORDU	AKÇATEPE	150781	Köyden Mahalle	270
ALTINORDU	SARAYCIK	150779	Köyden Mahalle	1.074
ALTINORDU	DELİKKAYA	150885	Köyden Mahalle	313
ALTINORDU	DEDELİ	150883	Köyden Mahalle	254
ALTINORDU	ÇAVUŞLAR	150881	Köyden Mahalle	392
ALTINORDU	BAYADI	150879	Köyden Mahalle	768
ALTINORDU	ARTIKLI	150877	Köyden Mahalle	228
ALTINORDU	ARPAKÖY	150875	Köyden Mahalle	317
ALTINORDU	ALTUNYURT	150873	Köyden Mahalle	377
ALTINORDU	ALEMBEY	150871	Köyden Mahalle	222
ALTINORDU	AKKİSE	150869	Köyden Mahalle	279
ALTINORDU	UZUNİSA	150867	Köyden Mahalle	190
ALTINORDU	ZAFER	150865	Köyden Mahalle	285
ALTINORDU	YUKARITEPE	150863	Köyden Mahalle	506
ALTINORDU	YEŞİLKÖY	150861	Köyden Mahalle	139

Tablo 10. (Devamı)

ALTINORDU	YARAŞLI	150859	Köyden Mahalle	304
ALTINORDU	YAĞIZLI	150857	Köyden Mahalle	286
ALTINORDU	UZUNMUSA	150855	Köyden Mahalle	224
ALTINORDU	YILDIZLI	150917	Köyden Mahalle	301
ALTINORDU	YEMİŞLİ	150915	Köyden Mahalle	486
ALTINORDU	TEYNELİ	150913	Köyden Mahalle	641
ALTINORDU	ÖVÜNDÜK	150911	Köyden Mahalle	65
ALTINORDU	KUYLU	150909	Köyden Mahalle	420
ALTINORDU	KÖKENLİ	150907	Köyden Mahalle	651
ALTINORDU	KOVANCI	150905	Köyden Mahalle	206
ALTINORDU	KAYADİBİ	150903	Köyden Mahalle	428
ALTINORDU	KARACAÖMER	150901	Köyden Mahalle	838
ALTINORDU	KARAAĞAÇ	150899	Köyden Mahalle	390
ALTINORDU	HATİPLİ	150897	Köyden Mahalle	172
TOPLAM				44.529

Kent merkezi için imarlı ve imarsız alanların tamamında sadece konut çatılarından elde edilebilecek yağmur suyu hasadı potansiyeli bazı kabuller yapılarak tahmini olarak hesaplanmıştır. Burada hesaplanan yağmur suyu miktarı kesin değer değildir. Kesin sonuçlar elde edebilmek için tüm konut binalarının çatı alanlarının, çatı şekillerinin ve çatı için kullanılan malzemenin net bir şekilde bilinmesi gereklidir. Böyle bir envantere ulaşamadığı için kent merkezinde bulunan konutların çatı alanları için ortalama bir değer kabul edilerek hesaplama yapılmıştır. Uygulamada tüm konutların çatı yüzeylerinden yağmur suyu hasadı yapmak mümkün değildir. Ancak burada amaç, çatı yüzeylerinden değerlendirilemeyen yağmur sularının muhtemel miktarını hesaplamaktır. Ortalama çatı alanları için 100, 150 ve 200 m²/konut çatı alanı kabul edilip 44.529 adet konut için toplam çatı alanları belirlenmiştir. Materyal ve Metod bölümünde Tablo 7’de verilen Ordu iline ait 1972-2022 yılları arasında meteorolojik verilere göre ortalama yıllık yağış miktarı 1051,37 mm’dir. Bu yağış verisi kullanılarak çatı yüzeylerine düşen muhtemel toplam yağmur suyu miktarları Tablo 11’de verilmiştir. Çatı yüzeyine düşen toplam yağmur suyu miktarları buharlaşma, fiziki kayıplar vb. dahil edilmeden, çatı malzemesi ve buna bağlı olarak akış katsayısı dikkate alınmadan başka bir deyişle kayıpsız olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Çatı Alanı Kabullerine Göre Yıllık Toplam Yağmur Suyu Miktarları

Ortalama çatı alanı (m ² / konut)	Toplam çatı alanı (m ²)	Çatı yüzeylerine düşen yıllık toplam yağmur suyu miktarları (m ³)
100	100 m ² x 44.529 konut = 4.452.900	4.452.900 m ² x 1051,37 mm = 4.681.645,47 m ³
150	150 m ² x 44.529 konut = 6.679.350	6.679.350 m ² x 1051,37 mm = 7.022.468,21 m ³
200	200 m ² x 44.529 konut = 8.905.800	8.905.800 m ² x 1051,37 mm = 9.363.290,95 m ³

Ancak çatı geometrisi, çatılarda kullanılan malzemelerin özellikleri gibi bazı faktörler dikkate alındığında yağan yağmurun %100'ünün geri kazanılamayacağı bir gerçektir. Bu nedenle yukarıda belirlenen değerler daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için bir akış katsayısı dikkate alınarak yeniden hesaplanmalıdır. Akış katsayısı çatılarda kullanılan malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişir. Kent merkezinde her konut için ayrı ayrı çatı malzemesiyle ilgili bilgiye ulaşılması mümkün olmadığından çatıların metal çatı olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle metal malzeme için akış kat sayısı 0,90 olarak seçilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022). Buna göre tekrar hesaplama yapıldığında 100, 150 ve 200 m² çatı alanları için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

$$4.681.645,47 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 0,90 = 4.213.480,93 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$7.022.468,21 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 0,90 = 6.320.221,39 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$9.363.290,95 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 0,90 = 8.426.961,85 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

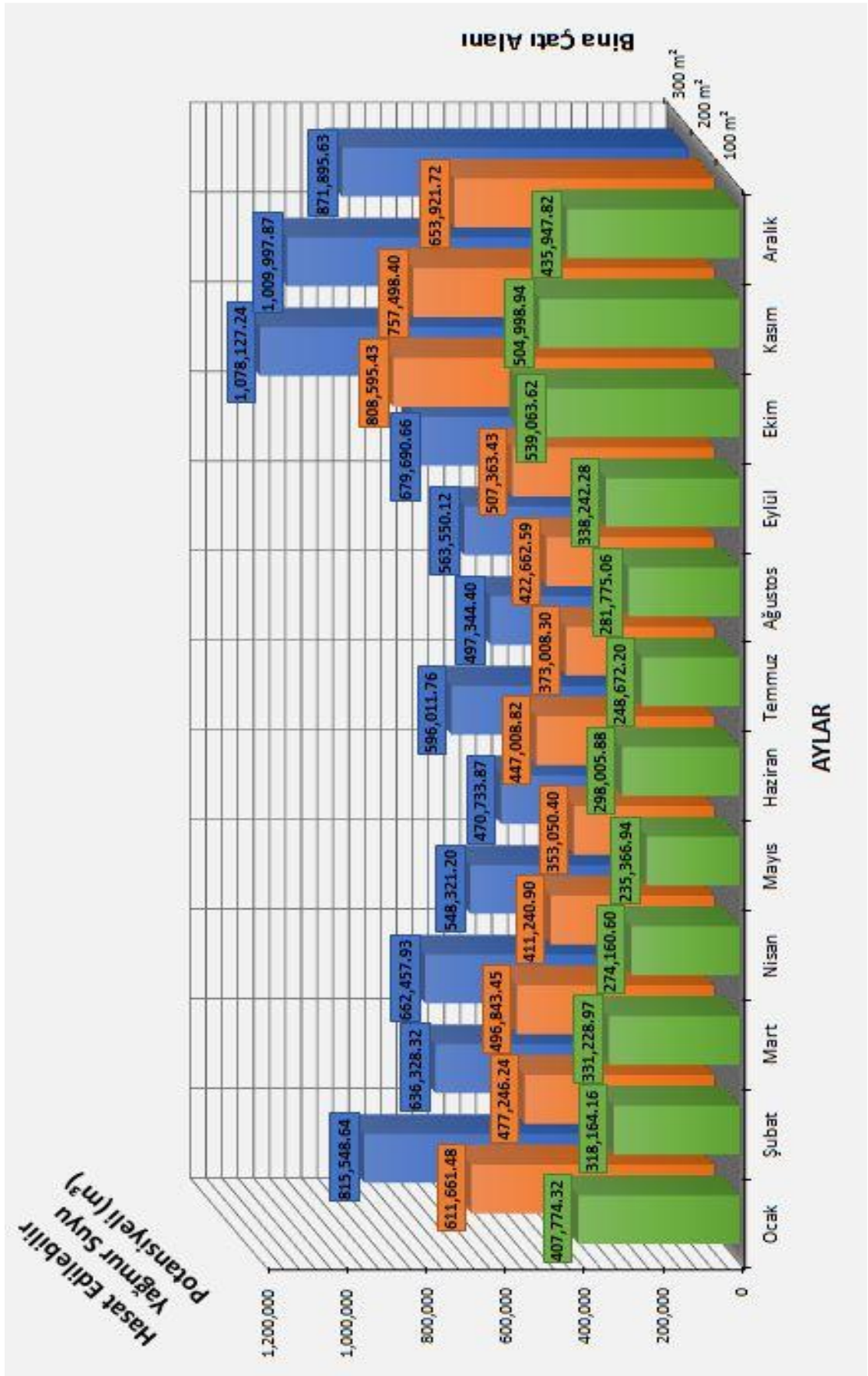
Ordu ilinin 1972-2022 yılları arasındaki yağış verilerine göre ortalama aylık yağış miktarları Ocak ayı için 101,75 mm, Şubat ayı için 79,39 mm, Mart ayı için 82,65 mm, Nisan ayı için 68,41 mm, Mayıs ayı için 58,73 mm, Haziran ayı için 74,36 mm, Temmuz ayı için 62,05 mm, Ağustos ayı için 70,31 mm, Eylül ayı için 84,40 mm, Ekim ayı için 134,51 mm, Kasım ayı için 126,01 mm, Aralık ayı için 108,78 mm'dir. Bu değerler dikkate alınarak teorik olarak konutlardan yılın tüm aylarına göre hasat edilebilecek çatı yüzeylerindeki muhtemel toplam yağmur suyu miktarları Şekil 12'de verilmiştir. Örnek hesaplama Ocak ayı için aşağıda verilmiştir.

100 m² alan için

$$100 \text{ m}^2 \times 44.529 = 4.452.900 \text{ m}^2$$

$$4.452.900 \text{ m}^2 \times 101,75 \text{ mm/ay} = 453.082,58 \text{ m}^3/\text{ay}$$

$$453.082,58 \text{ m}^3/\text{ay} \times 0,90 = 407.774,32 \text{ m}^3/\text{ay}$$



Şekil 12. Konut çatı yüzeylerinden aylara göre hasat edilebilir muhtemel yağmur suyu miktarları

Bahçe içinde bulunan konutlarda yağmursuyu herhangi bir depoda toplanmasa bile toprakla teması halinde tamamıyla yüzeysel akışa geçmeyeceği için toprağa sızarak su korunmuş olur. Bu durumun aksine bazı konutların çatılarından gelen yağmursuyunun önemli bir kısmı yüzeysel akışa geçerek değerlendirilemeyebilir. Yağmur suyunun değerlendirilememesi konutun bulunduğu konum, binanın özelliği, bina çevresinde yeterli depo alanı bulunup bulunmaması gibi faktörlerle ilişkilendirilebilir. Kent merkezinde her bir bina için ayrı ayrı, bulunduğu konuma bağlı olarak, yağmursuyunun hasat edilebilirliğinin müsaitlik durumu (yeterli alan, birleşik binalar gibi) tespit edilemeyeceğinden tüm binalarda yağmur suyu hasadı mümkün olmayabilir. Bu nedenle kent merkezinde konutların tamamı için toplam hasat edilebilir yağmur suyu miktarları hasat yüzdesi kabulleri yapılarak hesaplanmıştır. Hasat yüzdesi ve kabul edilen çatı alanına göre yapılan hesaplamaların bir örneği aşağıda verilmiştir.

%50 Hasat yüzdesi ve 150 m² çatı alanı için toplam hasat edilebilir yıllık yağmur suyu miktarı;

$$150 \text{ m}^2 \times 44.529 = 6.679.350 \text{ m}^3$$

$$6.679.350 \text{ m}^3 \times 0,50 \times 1051,37 \text{ mm/yıl} \times 0,90 = 3.160.110,69 \text{ m}^3/\text{yıl} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Bu hesaplama ilaveten kent merkezinde tüketilen su miktarı eşdeğer yüzde ve eşdeğer gün parametreleri ile ifade edilebilir. OSKİ Genel Müdürlüğü'nün 2021 yılı verilerine göre kentte 10.297.590 m³/yıl su tüketilmiştir. Bu tüketimin tamamı evsel kullanıma ait değildir. Kent merkezinde hastaneler, alışveriş merkezleri, çeşitli kuruluşlar, organize sanayi bölgeleri gibi unsurlar dikkate alındığında genellikle konutlarda tüketilen su miktarının bu değer yarısı kadar olduğu kabul edilmektedir (Aybuğa, 2018). Ancak Ordu ili diğer büyükşehirlerde olduğu gibi çok fazla sayıda bu unsurlara sahip değildir. Bu nedenle bu çalışmada yıllık tüketilen su miktarının %75'inin konutlarda kullanıldığı kabulü ile kent merkezinde hasat edilebilir su miktarının eşdeğer yüzde ve gün sayıları hesaplanmıştır. Buna göre konutlarda tüketilen su miktarı için elde edilen değer aşağıdaki gibidir:

$$10.297.590 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 0,75 = 7.723.192,5 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Örneğin, %50 hasat oranı, 150 m² çatı alanı, 0,90 akış katsayısı kabulleri ile eşdeğer yüzde ve eşdeğer gün değerleri şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Eşdeğer yüzde} = 3.160.110,69 \text{ m}^3/\text{yıl} / 7.723.192,5 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 100 = \% 40,92$$

$$\text{Eşdeğer gün} = 365 \text{ gün} \times 0,4092 = 149,35 \text{ gün}$$

Tablo 12 farklı hasat yüzdeleri için toplam hasat edilebilir yıllık yağmursuyu miktarları, eşdeğer yüzdeleri ve eşdeğer gün sayısını vermektedir. Bu hesaplamalar 100, 150 ve 200 m²/konut çatı alanları kabulü ile yapılmıştır.

Tablo 4. Hasat Yüzdesine Göre Yıllık Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarları, Eşdeğer Yüzde ve Eşdeğer Gün Değerleri

Hasat Yüzdesi (%)	Toplam hasat edilebilir yağmur suyu miktarları (m ³ /yıl)	Eşdeğer yüzde (%)	Eşdeğer gün
100 m ² /konut			
80	3.370.784,74	43,64	159,30
70	2.949.436,65	38,19	139,39
60	2.528.088,56	32,73	119,48
50	2.106.740,47	27,28	99,56
40	1.685.392,37	21,82	79,65
30	1.264.044,28	16,37	59,74
20	842.696,19	10,91	39,83
150 m ² /konut			
80	5.056.177,11	65,47	238,96
70	4.424.154,97	57,28	209,09
60	3.792.132,83	49,10	179,22
50	3.160.110,69	40,92	149,35
40	2.528.088,56	32,73	119,48
30	1.896.066,42	24,55	89,61
20	1.264.044,28	16,37	59,74
200 m ² /konut			
80	6.741.569,48	87,29	318,61
70	5.898.873,30	76,38	278,78
60	5.056.177,11	65,47	238,96
50	4.213.480,92	54,56	199,13
40	3.370.784,74	43,64	159,30
30	2.528.088,56	32,73	119,48
20	1.685.392,37	21,82	79,65

Kentin 1972-2022 meteorolojik verilerine göre en fazla yağış alan ay Ekim ayıdır. Ekim ayı ortalama yağış miktarı 134,51 mm/ay'dır. Buna göre çatı alanı ve hasat yüzdesi kabullerine göre en yağışlı ay için toplam hasat edilebilir yağmursuyu miktarları, eşdeğer yüzde ve eşdeğer gün değerleri aşağıdaki Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 5. En Yağışlı Ay (Ekim) İçin Aylık Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarları, Eşdeğer Yüzde ve Eşdeğer Gün Değerleri

Hasat Yüzdesi (%)	Toplam hasat edilebilir yağmur suyu miktarları (m ³ /ay)	Eşdeğer yüzde (%)	Eşdeğer gün
100 m ² /konut			
80	431.250,90	67,01	20,10
70	377.344,53	58,63	17,59
60	323.438,17	50,25	15,08
50	269.531,81	41,88	12,56
40	215.625,45	33,50	10,05
30	161.719,09	25,13	7,54
20	107.812,72	16,75	5,02
150 m ² /konut			
80	646.876,34	100,51	30,15
70	566.016,80	87,94	26,38
60	485.157,26	75,38	22,61
50	404.297,72	62,82	18,84
40	323.438,17	50,25	15,08
30	242.578,63	37,69	11,31
20	161.719,09	25,13	7,54
200 m ² /konut			
80	862.501,79	134,01	40,20
70	754.689,07	117,26	35,18
60	646.876,34	100,51	30,15
50	539.063,62	83,76	25,13
40	431.250,90	67,01	20,10
30	323.438,17	50,25	15,08
20	215.625,45	33,50	10,05

Kent için en kurak ay Mayıs ayıdır. Mayıs ayı ortalama yağış değeri 58,73 mm/ay'dır. Buna göre çatı alanı ve hasat yüzdesi kabullerine göre en kurak ay için toplam hasat edilebilir yağmursuyu miktarları, eşdeğer yüzde ve eşdeğer gün değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmış ve Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 6. En Kurak Ay (Mayıs) İçin Aylık Toplam Hasat Edilebilir Yağmur Suyu Miktarları, Eşdeğer Yüzde ve Eşdeğer Gün Değerleri

Hasat Yüzdesi (%)	Toplam hasat edilebilir yağmur suyu miktarları (m ³ /ay)	Eşdeğer yüzde (%)	Eşdeğer gün
100 m ² /konut			
80	188.293,55	29,26	8,78
70	164.756,86	25,60	7,68
60	141.220,16	21,94	6,58
50	117.683,47	18,28	5,48
40	94.146,78	14,63	4,39
30	70.610,08	10,97	3,29
20	47.073,39	7,31	2,19
150 m ² /konut			
80	282.440,32	43,88	13,16
70	247.135,28	38,40	11,52
60	211.830,24	32,91	9,87
50	176.525,20	27,43	8,23
40	141.220,16	21,94	6,58
30	105.915,12	16,46	4,94
20	70.610,08	10,97	3,29
200 m ² /konut			
80	376.587,10	58,51	17,55
70	329.513,71	51,20	15,36
60	282.440,32	43,88	13,16
50	235.366,94	36,57	10,97
40	188.293,55	29,26	8,78
30	141.220,16	21,94	6,58
20	94.146,77	14,63	4,39

Tablo 13 ve Tablo 14 incelendiğinde, örneğin %80 hasat yüzdesi ve 200 m² konut çatı alanı için, en yağışlı ayda eşdeğer gün 40,20 iken en kurak ayda 17,55 eşdeğer gün olmuştur.

Ortalama konut çatı alanı ve hasat yüzdeleri kabulleri ile hesaplanan konut çatılarına düşen toplam yağış değerleri, konutların çatı yüzeylerinden kaybedilen yağmur suyu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla yağmur sularının önemli bir kısmı akışa geçerek değerlendirilememektedir. Bu durum, ülkemizde kent merkezlerinde genellikle ayırık sistem olmaması yani kanalizasyon ve yağmursularının ayrı kanallar vasıtasıyla toplanmaması, cadde ve sokakların geçirimsiz yüzeylere sahip olması, yeşil alanların yeterli olmaması ile alakalıdır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Kentteki Bazı Bina Çatılarından Yağmursuyu Hasadı Potansiyellerinin Belirlenmesi ve Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi

23 Ocak 2021 tarihinde, 31373 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” madde 5’de, “2000 m²’den büyük parsellerde yapılacak yapılarda mekanik tesisat projesine; çatı yüzeyi yağmur sularının, tabii zemin altında tesis edilecek yağmursuyu toplama tankında toplanması, gerekmesi halinde filtre edilerek yeniden kullanılması amacıyla yağmursuyu toplama sistemi” yapılması vurgulanmaktadır (Resmî Gazete, 2023).

Bu yönetmelik dikkate alınarak Ordu kent merkezinde 2000 m² alanı üzerinde bulunan konut, ticari ve kurumsal bazı binaların çatılarından elde edilebilecek yağmur suyu hasadı potansiyelleri ve bu suların kullanılabilirlikleri üzerinde birtakım değerlendirmeler yapılmıştır. Ordu Büyükşehir Belediyesi tarafından 2020 yılında gerçekleştirilen fotogrametrik uçuşlar sonrasında elde edilen ortofoto görüntüleri kullanılarak, seçilen binalar için alan taraması yapılmıştır.

Seçilen binaların çatı alanları için sırasıyla aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

- NetCAD 8.5 yazılım programı ile ortofoto görüntüleri ve halihazır haritalarından yararlanılmıştır.
- NetCAD 8.5’de halihazır harita ve ortofoto görüntüsü üst üste çakıştırılarak çatı çizimleri yapılmıştır.
- Çatı çizimlerinin alan modülünden alan çevirmeleri yapılmış ve hesaplamaları oluşturulmuştur.
- ArcGIS desktop 10.5 yazılımı içerisinde arayüzlerinden olan ArcMap 10.5’de; NetCAD 8.5’de hazırlanan çatı alan çizimlerinin açılması versiyon uyumunu sağlamak için; ArcMap 10.5 ekranında dosya açılarak çatı alanları ile ilgili verilerde polygonlar seçilmiş, exportdata yapılmış ve yeniden kayıt edilmiştir.
- ArcMap 10.5’de dosyada gelen ekrana harita eklensin mi sorusuna evet denilerek ve projeksiyon tanımlanmıştır (Data Management Tools/ Projections and Transformations/ Define Projection).
- ArcMap 10.5 yazılımında tanımlanan projeksiyon, öznitelik tablosuna girilerek sütun eklenip type ‘double’ seçilerek sütun adı yazılır, eklenen sütunun üstüne gelinerek calculate geometry seçilip bu eklenen sütunlara objektif her bir alan için çatı türü, çatı akış katsayısı, ortalama yağış miktarı ve bina çatı alanı değerleri yazdırılarak ve hasat edilebilir su miktarını hesaplayabilmek için son bir sütun daha eklenmiştir.

- Hasat edilebilir su miktarı ile ilgili eşitliklerin uygulanabilmesi için ArcGIS arayüzlerinden olan ArcMap 10.5 yer alan Field Calculator modülünden faydalanılarak veri tabanlarında yer alan hasat edilebilir su miktarları hesaplanmıştır.
- Belirlenen alanda her bir binanın çatılarından elde edilebilecek yağmur suyu kapasiteleri hesaplanmıştır.

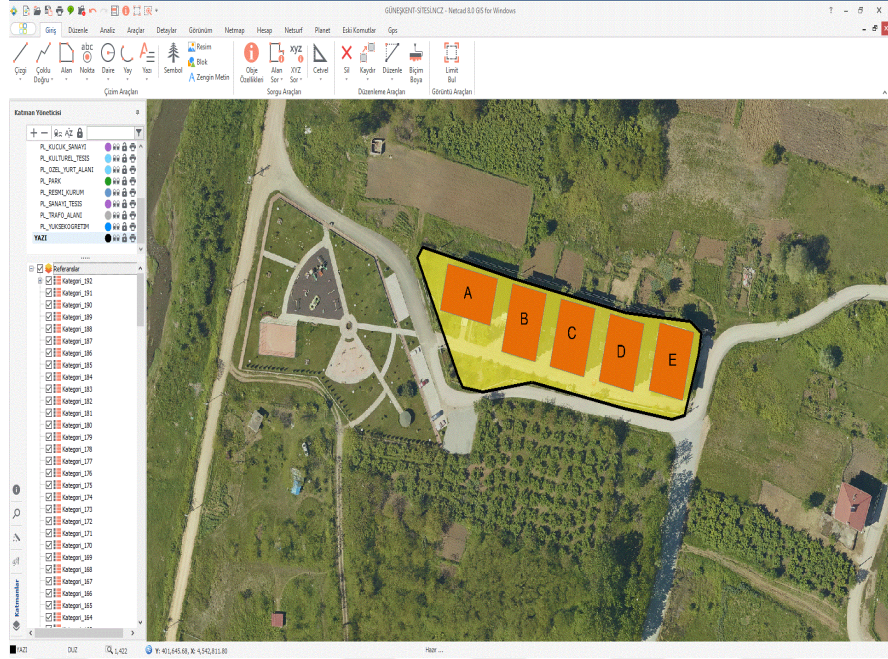
Konutlar

Güneşkent Sitesi

Kent merkezi Kumbaşı Mahallesi Güneş Kent Sitesi 1207 ada 1 nolu parselde 4.041,42 m²'lik alanda bulunmaktadır. Site A, B, C, D, E bloklarından oluşmaktadır. Sitenin B, C, D bloklarında zemin kat ile birlikte 4 kattır ve her katta iki daire mevcuttur. A ve E bloklar ise yine 4 kattır. Ancak son katları dubleks dairelerden oluşmaktadır. Sitede toplam 39 daire bulunmaktadır. Şekil 13 ve Şekil 14'de sırasıyla sitede her blok için ortofoto ve alansal taramaları göstermektedir.



Şekil 13. Güneşkent Sitesi ortofoto görüntüsü



Şekil 14. Güneşkent Sitesinin alansal taraması

NetCAD 8.5 ve ArcGIS 10.5 arayüzü olan ArcMap 10.5 programı ile hesaplanan bloklara ait çatı alanları ve hasat edilebilir yağmur suyu miktarları Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 7. Güneşkent Sitesi Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları

GÜNEŞKENT SİTESİ			
SHAPE *: Polygon			
ÇATI TÜRÜ: METAL ÇATI			
ÇATI AKIŞ KATSAYISI: 0,9			
ORTALAMA YAĞIŞ MİKTARI: 1.051,37 mm/yıl			
SIRA NO	OBJECTİD*	BİNA ÇATI ALANI m ²	HASAT EDİLEBİLİR SU MİKTARI m ³ /yıl
1	A	342,41	323,99
2	B	340,19	321,90
3	C	340,90	322,57
4	D	340,53	322,22
5	E	338,39	320,20
TOPLAM: 1.702,42 m²			1.610,88 m³/yıl

Güneşkent Sitesi çatılarından hasat edilebilir yağmursuları site bina içi temizliklerinde, sifon suyu kullanımında, araç yıkanmasında ve yeşil alan sulamasında kullanılabilir. Bunun için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

- Her bloğun merdiven ve sahanlık alanları her kat için 16 m²’dir. Yapılarda zemin temizliği amaçlı su kullanımı m² başına ortalama 2 L/ay olarak kabul edilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022). Ancak ayda kaç

kez temizlik yapıldığı bu eşitlikte belirtilmediği için aylık temizliğin 4 kere yapıldığı kabul edilerek m² başına bir kez zemin temizliği için hesaplamalarda 0,5 L su miktarı kullanılmıştır.

Buna göre her kat için

zemin temizleme su ihtiyacı (m³/ay) = kat alanları (m²) x 2 (L/m². ay)

$$16 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ L/m}^2.\text{ay} = 8 \text{ L/ay} \times 10^{-3} = 0,008 \text{ m}^3/\text{ay}$$

Bloklar için ayda toplam 4 kez temizlik yapıldığı kabul edilmiştir.

$$\text{Bir blok için zemin temizleme su ihtiyacı} = 0,008 \text{ m}^3/\text{ay} \times 4 = 0,032 \text{ m}^3/\text{ay}$$

$$\text{Sitedeki tüm bloklar için zemin temizleme su ihtiyacı} = 0,032 \text{ m}^3/\text{ay} \times 5$$

$$= 0,16 \text{ m}^3/\text{ay}$$

Blokların bina içi zemin temizliğindeki yıllık su ihtiyacı

$$= 0,16 \text{ m}^3/\text{ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 1,92 \text{ m}^3/\text{yıl} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Çatılardan hasat edilebilir su miktarı zemin temizliği su ihtiyacının tamamını karşılamaktadır.

- Güneşkent Sitesinde toplam 150 kişi ikamet etmektedir. Sifon rezervuar hacmi 9 L olarak ve sifonların kişi başı günde 4 kez kullanıldığı kabul edilerek aşağıdaki hesaplama yapılmıştır.

Sifon suyu miktarı (m³/ay) = kişi sayısı/gün x sifon kullanım sayısı x gün sayısı x sifon rezervuar hacmi

$$150 \text{ kişi/gün} \times 4 \times 30 \text{ gün/ay} \times 9 \text{ L} = 162.000 \text{ L/ay}$$

$$162.000 \text{ L/ay} \times 10^{-3} = 162 \text{ m}^3/\text{ay}$$

$$\text{Sitenin yıllık sifon suyu ihtiyacı} = 162 \text{ m}^3/\text{ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 1.944 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

olarak hesaplanmıştır.

Güneşkent sitesi çatılarından yıllık hasat edilebilir su sitenin sifon suyu ihtiyacının

$$1.610,88 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 100/1.944 \text{ m}^3/\text{yıl} = \%82,86' \text{ sını karşılayabilmektedir.}$$

- Sitede ikamet eden kişilere ait araçların yıkanması için sarf edilebilecek su miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. 39 dairesi olan sitede hane başına bir araç olduğu kabul edilmiştir. Araç başına yıkama su ihtiyacı 100 L'dir (Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022). Her aracın ayda iki kez yıkandığı kabul edilerek aylık araç yıkama su ihtiyacı şu şekildedir:

$$\text{Araç Yıkama Su İhtiyacı (m}^3/\text{ay)} = \text{araç sayısı} \times 100 \text{ L/gün.araç} \times 2 \text{ gün/ay}$$

$$= 39 \text{ araç} \times 100 \text{ L/gün.araç} \times 2 \text{ gün/ay} = 7.800 \text{ L/ay}$$

$$= 7.800 \text{ L/ay} \times 10^{-3} = 7,8 \text{ m}^3/\text{ay}$$

$$\begin{aligned} \text{Sitedeki araçların yıkanması için yıllık su ihtiyacı} &= 7,8 \text{ m}^3/\text{ay} \times 12 \text{ ay/yıl} \\ &= 93,6 \text{ m}^3/\text{yıl'dır.} \end{aligned}$$

Blokların çatılarından hasat edilebilir suyun araçların yıkanması için gerekli olan suyun tamamını karşıladığı görülmektedir.

- Güneşkent Sitesinde yeşil alanlar 1.240 m²'dir. Hasat edilebilir yağmur suyunun sitenin yeşil alanlarının sulanmasında kullanılabilirliği ile ilgili hesaplamalar aşağıdaki gibidir. Bu hesaplamalarda toprağa verilmesi gereken su miktarı su yüksekliğinin toprakta bulunan kullanılabilir suyun bitki tarafından tüketilmesine izin verilen yüzdesine oranıyla hesaplanmaktadır. Su yüksekliği ılık ve nemli iklimler için 3,81 mm - 5,08 mm aralığında kabul edilmektedir. Çalışma için hesaplamalar için 4,50 mm seçilmiştir (Sulama Sistemleri, Sulama Süresi ve Anahat Boru Çapı Hesabı, 2022; Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022).

Toprakta bulunan kullanılabilir suyun bitki tarafından tüketilmesine izin verilme yüzdesi 0,50 kabul edilmiştir (Kodal ve Ersoy, 2022; Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022). Sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi için yağışsız gün sayısı değerine ihtiyaç vardır. Ordu ilinin 51 yıllık meteorolojik verilerine göre yağışsız gün sayısı 208 gün/yıl'dır. Buna göre;

f = Toprakta bulunan kullanılabilir suyun bitki tarafından tüketilmesine izin verilen yüzdesi.

h = Su yüksekliği (mm)

Ht = Toprağa verilmesi gereken su miktarı (mm)

Ht = h / f (Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022)

Ht = 4,50 mm / 0,50 = 9 mm/gün

Buna göre aylık sulama suyu ihtiyacı aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Sulama Suyu İhtiyacı (m}^3/\text{yıl)} &= \text{yeşil alan (m}^2) \times 9 \text{ mm/gün} \times \text{m} / 1.000 \text{ mm} \times \text{yağışsız} \\ &\text{gün sayısı (gün/yıl)} = 1.240 \text{ m}^2 \times 9 \text{ mm/gün} \times 10^{-3} \times 208 \text{ gün/yıl} \\ &= 2.321,28 \text{ m}^3/\text{yıl} \end{aligned}$$

Güneşkent Sitesi bina çatılarından hasat edilebilir toplam su miktarı yeşil alan

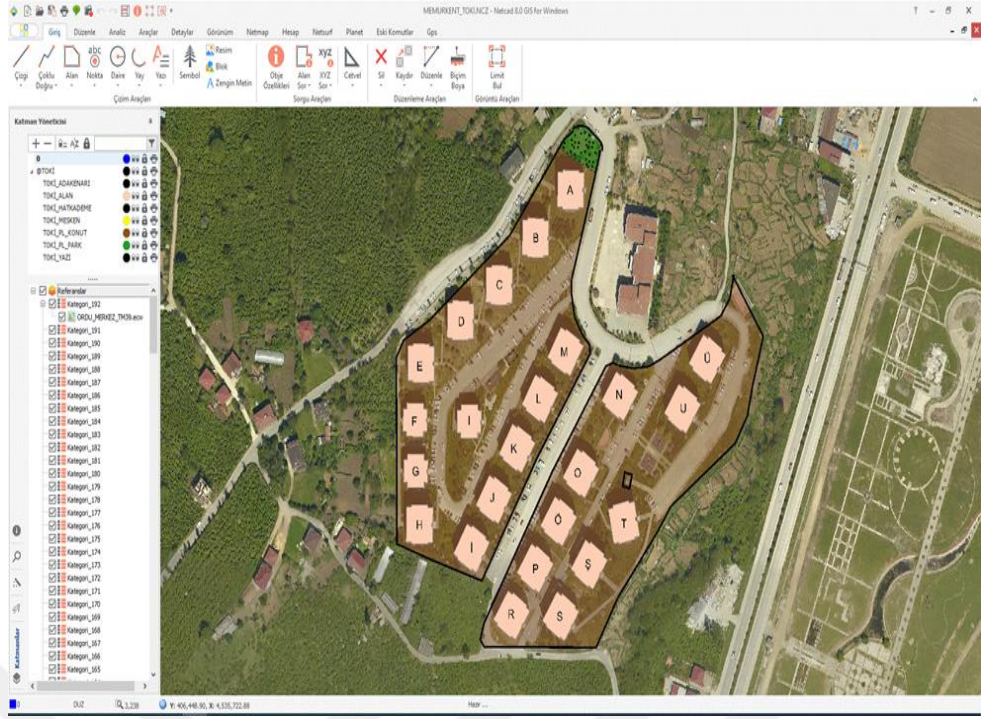
Sulamasının 1.610,88 m³/yıl x 100 / 2.321,28 m³/yıl = %69,40'ını karşılayabilmektedir.

Memurkent TOKİ

Memurkent TOKİ Konutları kent merkezi Karacaömer Mahallesi 2680 ada 3 nolu parsel ile 2681 ada 3 nolu parsellerde yer almakta olup; toplam 58.385,85 m² alana sahiptir. Sitede yer alan bloklar B ve C bloklar olarak isimlendirilmiştir. Üç adet B blok ve 21 adet C blok bulunmaktadır. B bloklar 7 kattan, C bloklar 9 kattan oluşmaktadır. Toplam daire sayısı 798'dir. Şekil 15 ve Şekil 16 sırasıyla Memurkent TOKİ'de her blok için ortofoto ve alansal taramaları göstermektedir.



Şekil 15. Memurkent TOKİ ortofoto görüntüsü



Şekil 16. Memurkent TOKİ alansal taraması

Blokların NetCAD 8.5 ve ArcGIS 10.5 arayüzü olan ArcMap 10.5 programı ile hesaplanan çatı alanları ve hasat edilebilir yağmursuyu miktarları Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 8. Memurkent TOKİ Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları

MEMURKENT TOKİ KONUTLARI			
SHAPE *: Polygon			
ÇATI TÜRÜ: METAL ÇATI			
ÇATI AKIŞ KATSAYISI: 0,9			
ORTALAMA YAĞIŞ MİKTARI: 1.051,37 mm/yıl			
SIRA NO	OBJECTİD*	BİNA ÇATI ALANI m ²	HASAT EDİLEBİLİR SU MİKTARI m ³ /yıl
1	A	599,43	567,20
2	B	597,21	565,10
3	C	602,87	570,45
4	D	600,99	568,68
5	E	598,35	566,18
6	F	440,87	417,17
7	G	440,52	416,83
8	H	603,77	571,31
9	I	438,36	414,79
10	İ	604,58	572,07
11	J	604,21	571,72
12	K	609,52	576,75
13	L	604,69	572,18
14	M	603,60	571,15
15	N	604,69	572,18
16	O	610,32	577,50
17	Ö	607,30	574,65
18	P	605,12	572,58
19	R	604,52	572,02
20	S	607,57	574,90
21	Ş	609,86	577,07
22	T	608,58	575,86
23	U	608,52	575,80
24	Ü	612,84	579,89
TOPLAM:		14.028,29 m ²	13.274,03 m ³ /yıl

Memurkent TOKİ konutlarının çatılarından hasat edilebilir yağmursularının site bina içi temizliği, sifon suyu, araç yıkanması ve yeşil alan sulamasında kullanılabilmesi ile ilgili olarak yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

- Memurkent TOKİ konutlarında merdiven ve sahanlık yüzey alanı B bloklarda 200 m², C bloklarda 280 m²'dir. Ayda 4 kez temizlik yapıldığı kabul edilmiştir.
Bloklardaki toplam temizlenebilecek zemin alanı = B bloklar zemin alanı +
C bloklar zemin alanı = (200 m² x 3) + (280 m² x 21) = 6.480 m²
Zemin Temizleme Su İhtiyacı (m³/ay) = 6.480 m² x 0,5 L/m².ay x 4 x 10⁻³
= 12,96 m³/ay
Blokların zemin temizliği için yıllık su ihtiyacı = 12,96 m³/ay x 12 ay/yıl
= 155,52 m³/yıl'dır.

Çatılardan hasat edilebilir su miktarı zemin temizliği için gerekli olan suyun tamamını karşılamaktadır.

- Memurkent TOKİ konutlarında mahalle muhtarlığından sözlü olarak alınan veriye göre yaklaşık olarak 3.750 kişi ikamet etmektedir. Sifon rezervuar hacmi 9 L alınıp sifonların kişi başına günde 4 kez kullanıldığı kabul edilmiştir. Blokların çatılarından hasat edilebilir yağmursuyunun sifon suyu olarak kullanılabiliirliğinin hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\text{Sifon suyu miktarı (m}^3\text{/ay)} &= 3.750 \text{ kişi/gün} \times 4 \times 30 \text{ gün/ay} \times 9 \text{ L} \\ &= 4.050.000 \text{ L/ay} \\ 4.050.000 \text{ L/ay} \times 10^{-3} &= 4.050 \text{ m}^3\text{/ay} \\ \text{Konutların yıllık sifon suyu ihtiyacı} &= 4.050 \text{ m}^3\text{/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} \\ &= 48.600 \text{ m}^3\text{/yıl olarak hesaplanmıştır.}\end{aligned}$$

Memurkent TOKİ konutlarının çatılarından yıllık hasat edilebilir yağmur suyu konutların sifon suyu ihtiyacının 13.274,03 m³/yıl x 100/ 48.600 m³/yıl
= %27,31'ini karşılayabilmektedir.

- Hasat edilebilir yağmursuyunun araç yıkanması için kullanılmasında her dairenin bir aracı olduğu kabul edilmiştir. Ayda iki kere araçların yıkandığı kabulü ile aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned}\text{Araç Yıkama Su İhtiyacı (m}^3\text{/ay)} &= 798 \text{ araç} \times 100 \text{ L/gün.arac} \times 2 \text{ gün/ ay} \\ &= 159.600 \text{ L/ay} \\ 159.600 \text{ L/ay} \times 10^{-3} &= 159,6 \text{ m}^3\text{/ay}\end{aligned}$$

Konutlara ait araçların yıkanması için yıllık su ihtiyacı = 159,6 m³/ay x 12 ay/yıl

= 1.915,20 m³/yıl olarak bulunmuştur.

Hasat edilebilir toplam yıllık su miktarı araç yıkama su ihtiyacını fazlasıyla karşılamaktadır.

- Memurkent TOKİ konutlarında yeşil alanlar 27.637,85 m²'dir. Yeşil alan sulaması için hasat edilebilir yağmursuyunun kullanılabilirliği ile ilgili hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}\text{Sulama Suyu İhtiyacı (m}^3\text{/yıl)} &= 27.637,85 \text{ m}^2 \times 9 \text{ mm/gün} \times 10^{-3} \times 208 \text{ gün/yıl} \\ &= 51.738,06 \text{ m}^3\text{/yıl}\end{aligned}$$

Sitedeki binaların çatılarından hasat edilebilir toplam su miktarının yeşil alanların sulama ihtiyacının $13.273,03 \text{ m}^3\text{/yıl} \times 100 / 51.738,06 \text{ m}^3\text{/yıl} = \%25,65$ 'ini karşıladığı görülmektedir.

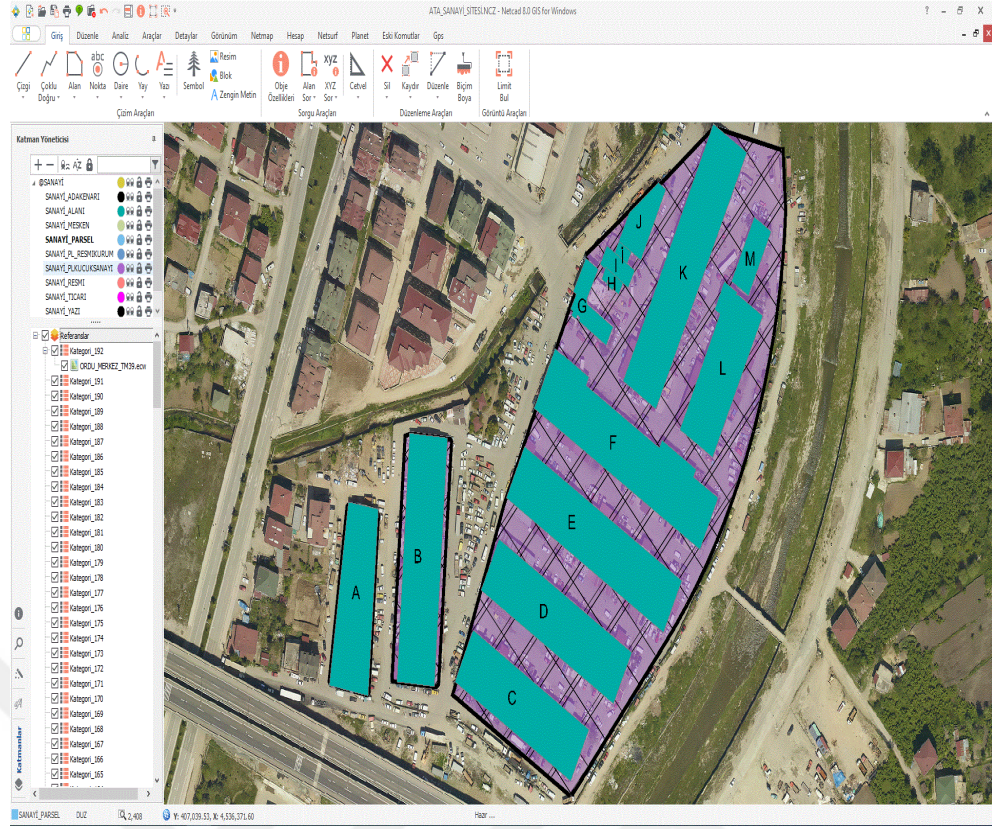
Ticari Alanlar

Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi

Kent merkezi Eskipazar Mahallesi 101 ada 1 parselde 46.542,63 m² ile 1917 ada 7 nolu parselde 2.085,98 m² olmak üzere toplamda 48.628,61 m²'de alanda yer alan sanayi sitesinde 230 adet işyeri bulunmaktadır. Şekil 17 ve Şekil 18 sırayla Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesinde her blok için ortofoto ve alansal taramaları göstermektedir. Her bloğa ait çatı alanları ve hasat edilebilir yağmursuyu miktarları Tablo 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesinin ortofoto görüntüsü



Şekil 18. Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi alanı alansal taraması

Tablo 9. Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları

SAYILI SINIRLI ATA KÜÇÜK SANAYİ SİTESİ			
SHAPE *: Polygon			
ÇATI TÜRÜ: METAL ÇATI			
ÇATI AKIŞ KATSAYISI: 0,9			
ORTALAMA YAĞIŞ MİKTARI: 1.051,37 mm/yıl			
SIRA NO	OBJECTİD*	BİNA ÇATI ALANI m²	HASAT EDİLEBİLİR SU MİKTARI m³/yıl
1	A	1.856,60	1.756,78
2	B	2.697,81	2.552,76
3	C	2.231,94	2.111,94
4	D	2.536,56	2.400,18
5	E	3.026,48	2.863,76
6	F	3.391,61	3.209,25
7	G	411,39	389,27
8	H	76,18	72,08
9	I	184,23	174,32
10	İ	53,75	50,86
11	J	465,75	440,71
12	K	3.170,01	2.999,57
13	L	1.803,85	1.706,86
14	M	406,12	384,28
TOPLAM:		22.312,28 m²	21.112,62 m³/yıl

Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi çatılarından hasat edilebilir yağmursuları sifon suyu kullanımında ve araç yıkanmasında kullanılabilir. Bunun için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

- Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesinde Site Başkanından 19.03.2024 tarihinde alınan resmi verilere göre sitede 230 adet iş yerinde 1150 kişi çalışmaktadır. Sifon suyu 9 L, çalışanların günde kişi başı üç kez sifon kullandığı kabulü ile aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned}\text{Sifon suyu miktarı (m}^3\text{/ay)} &= 1150 \text{ kişi/gün} \times 3 \times 30 \text{ gün/ay} \times 9 \text{ L} \\ &= 931.500 \text{ L/ay} = 931.500 \text{ L/ay} \times 10^{-3} = 931,50 \text{ m}^3\text{/ay}\end{aligned}$$

Yıllık sifon suyu ihtiyacı $931,50 \text{ m}^3\text{/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 11.178 \text{ m}^3\text{/yıl}$ 'dır.

Sanayi Sitesi çatılarından yıllık hasat edilebilir su sitenin sifon suyu ihtiyacının

tamamını fazlasıyla karşılayabilmektedir.

- Sanayi Sitesinde her iş yerinin bir aracı olduğu ve ayda iki kere araçların yıkandığı kabulü ile aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned}\text{Araç Yıkama Su İhtiyacı (m}^3\text{/ay)} &= 230 \text{ araç} \times 100 \text{ L/gün araç} \times 2 \text{ gün/ay} \\ &= 46.000 \text{ L/ay} = 46.000 \text{ L/ay} \times 10^{-3} = 46 \text{ m}^3\text{/ay}\end{aligned}$$

Sanayi Sitesinde araçların yıkanması için yıllık su ihtiyacı =

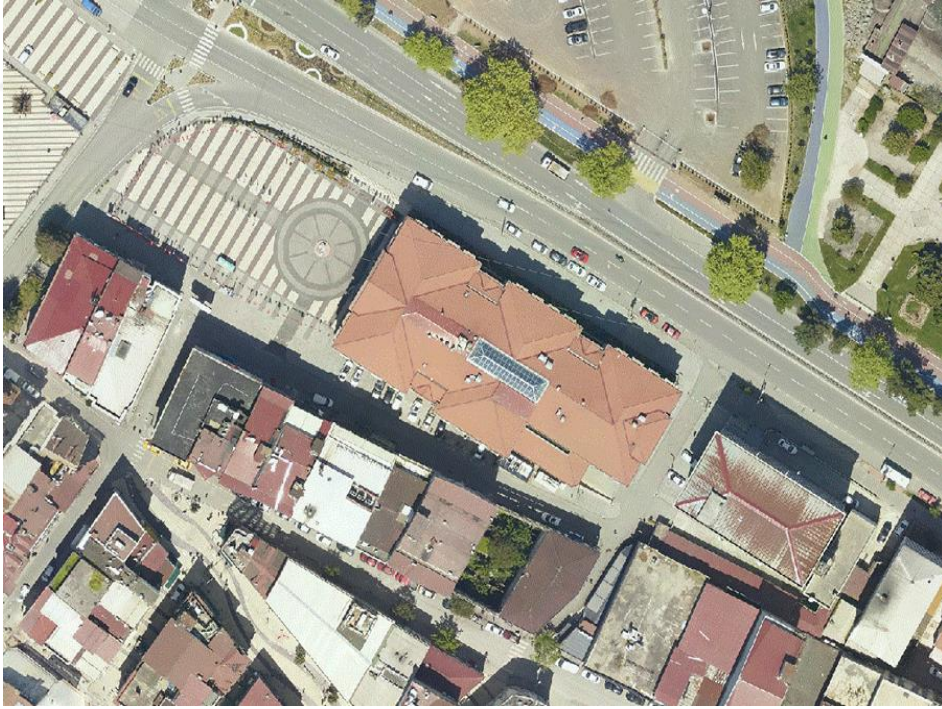
$$46 \text{ m}^3\text{/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 552 \text{ m}^3\text{/yıl olarak hesaplanmıştır.}$$

Araçların yıkanması için kullanılacak suyun tamamı yağmur suyu hasadı ile karşılanabilir.

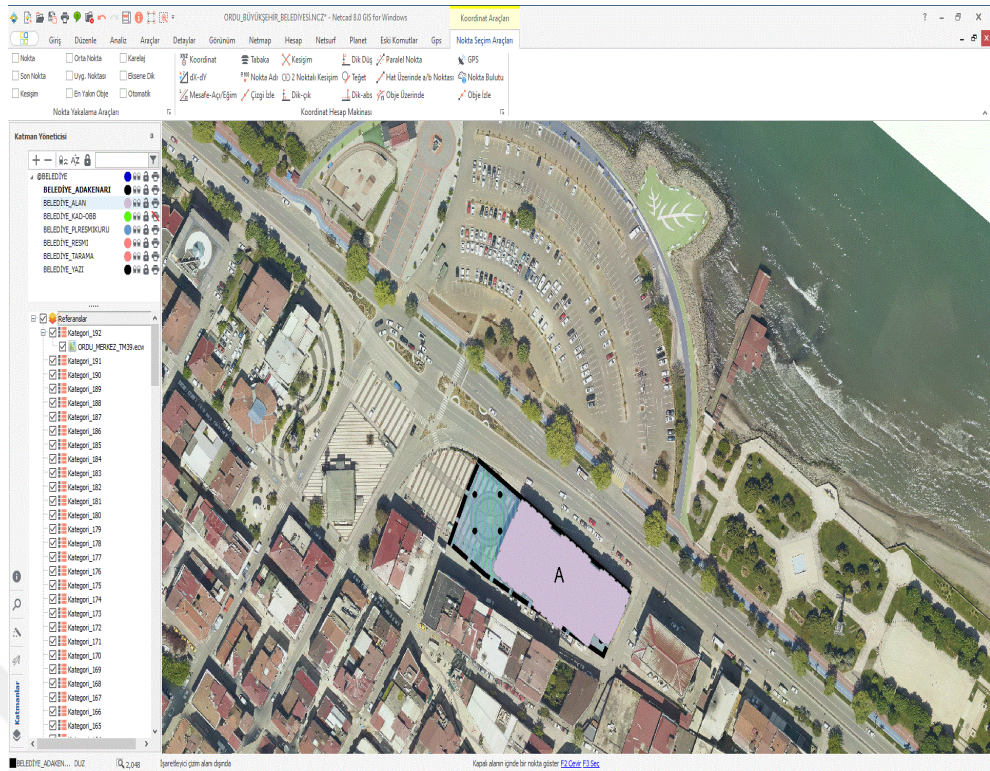
Kurumsal Binalar

Ordu Büyükşehir Belediye Binası

Ordu Büyükşehir Belediye binası kent merkezi Şarkıye Mahallesi 2733 ada 1 nolu parselde 3.391,60 m² alan içerisinde bulunmaktadır. Şekil 19 ve Şekil 20 Ordu Büyükşehir Belediye binasının sırasıyla ortofoto ve alansal taramalarını göstermektedir.



Şekil 19. Ordu Büyükşehir Belediye binasının ortofoto görüntüsü



Şekil 20. Ordu Büyükşehir Belediye binasının alan taraması

Binanın çatı alanı ve hasat edilebilir yağmursuyu miktarları Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 10. Ordu Büyükşehir Belediyesinin Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları

ORDU BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ			
SHAPE *: Polygon			
ÇATI TÜRÜ: METAL ÇATI			
ÇATI AKIŞ KATSAYISI: 0,9			
ORTALAMA YAĞIŞ MİKTARI:1.051,37 mm/yıl			
SIRA NO	OBJECTİD*	BİNAÇATI ALANI m ²	HASAT EDİLEBİLİR SU MİKTARI m ³ /yıl
1	A	2.260,78	2.139,22
TOPLAM:		2.260,78 m²	2.139,22 m³/yıl

Ordu Büyükşehir Belediyesi binası çatısından hasat edilebilir yağmursuları bina içi temizliklerinde, sifon suyu kullanımında ve araç yıkanmasında kullanılabilir. Bunun için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

- Binada ofis alanları yaklaşık zemin, 1. ve 2. katlarda 2.000 m² ve 3. kat 1.880 m²’dir. Tüm binada merdiven ve sahanlıkların alanı yaklaşık olarak 1500 m²’dir. Bir ayda 22 iş günü olduğu ve temizliğin iki günde bir yani ayda 11 kez yapıldığı kabul edilerek aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

Buna göre; toplam yüzey alanı = (2.000 m² x 3) + 1.880 m² + 1.500 m² = 9.380 m²

olarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Zemin Temizleme Su İhtiyacı (m}^3/\text{ay)} &= 9.380 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ L/m}^2.\text{ay} \times 10^{-3} \times 11 \\ &= 51,59 \text{ m}^3/\text{ay} \end{aligned}$$

Buna göre Ordu Büyükşehir Belediye Binasında zemin temizliği için yıllık su ihtiyacı = $51,59 \text{ m}^3/\text{ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 619,08 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Çatılardan hasat edilebilir su miktarı yıllık zemin temizliğinin tamamını fazlasıyla karşılamaktadır.

- Ordu Büyükşehir Belediyesi Ordu Büyükşehir Belediyesi İnsan Kaynakları ve Eğitim Dairesi Başkanlığı İnsan Kaynakları ve Eğitim Şube Müdürlüğünden 20.02.2024 tarihinde alınan resmi bilgiye göre binada toplam personel sayısı 300 kişidir. Bunun haricinde günde yaklaşık olarak 250 vatandaş binaya giriş çıkış yapmaktadır. Personelin günde iki kez, vatandaşlarında %10'nun günde bir kez sifon kullandığı, klozet haznesinin 9 L olduğu ve 22 iş günü üzerinden aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Sifon suyu miktarı (m}^3/\text{ay)} &= (25 \text{ kişi/gün} \times 1 \times 9 \text{ L} \times 22 \text{ gün/ay}) + (300 \text{ kişi/gün} \times 2 \times 9 \text{ L} \times 22 \text{ gün/ay}) \\ &= 123.750 \text{ L/ay} = 123.750 \text{ L/ ay} \times 10^{-3} = 123,75 \text{ m}^3/\text{ay} \end{aligned}$$

$$\text{Yıllık sifon suyu ihtiyacı} = 123,75 \text{ m}^3/\text{ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 1.485 \text{ m}^3/\text{yıl'dır.}$$

Ordu Büyükşehir Belediyesi bina çatısından yıllık hasat edilebilir yağmur suyu sifon suyu ihtiyacının tamamını karşılayabilmektedir.

- Ordu Büyükşehir Belediyesi Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı, Destek Hizmetleri Şube Müdürlüğünden 21.02.2024 tarihinde alınan resmi bilgi dahilinde resmi 55 araç mevcuttur. Bu araçlar ayda 4 kere yıkandığı kabulü ile aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre;

$$\begin{aligned} \text{Araç Yıkama Su İhtiyacı (m}^3/\text{ay)} &= 55 \text{ araç} \times 100 \text{ L/gün.arac} \times 4 \text{ gün/ ay} \\ &= 22.000 \text{ L/ ay} = 22.000 \text{ L/ ay} \times 10^{-3} = 22 \text{ m}^3/\text{ay} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ordu Büyükşehir Belediyesi binasında araçların yıkanması için yıllık su ihtiyacı} \\ &= 22 \text{ m}^3/\text{ay} \times 12 \text{ ay/yıl} = 264 \text{ m}^3/\text{yıl} \text{ olarak bulunmuştur.} \end{aligned}$$

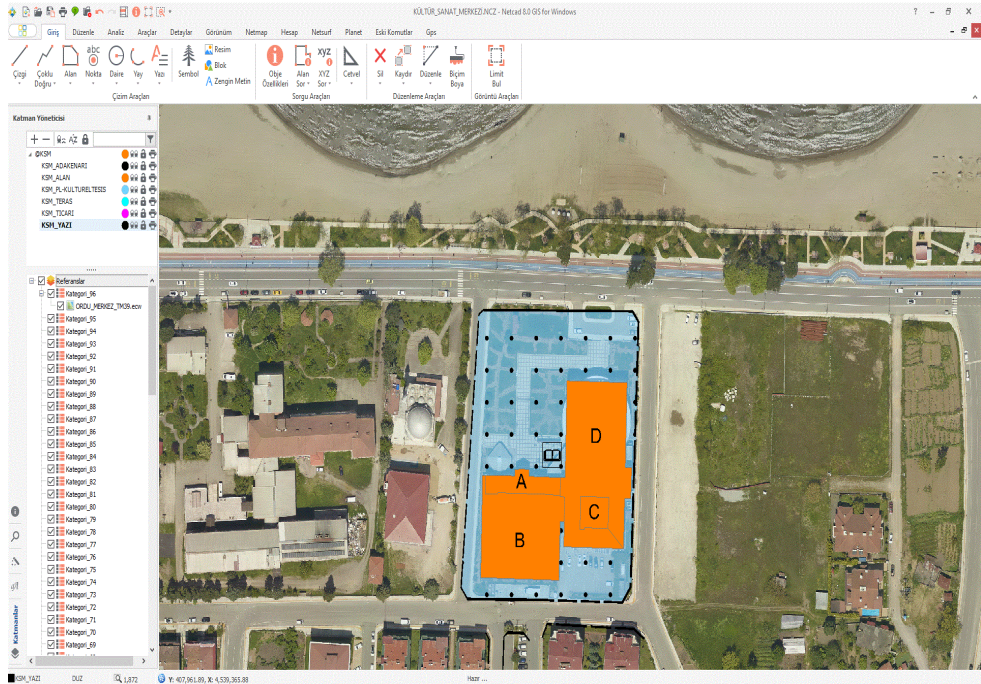
Yıllık hasat edilebilir toplam su miktarı araç yıkama suyu ihtiyacının tamamını karşılayabilmektedir.

Ordu Kültür Sanat Merkezi

Ordu Kültür Sanat Merkezi kent merkezi Akyazı Mahallesi'nde 749 ada 5 nolu parselde 10.350,37 m² alanda yer almaktadır. Şekil 21 ve Şekil 22 sırayla Ordu Kültür Sanat Merkezi binasına ait ortofoto ve alansal taramalarını göstermektedir. Her bloğun ait çatı alanları ve hasat edilebilir yağmursuyu miktarları Tablo 19'da verilmiştir.



Şekil 21. Ordu Kültür Sanat Merkezi binasının ortofoto görüntüsü



Şekil 22. Ordu Kültür Sanat Merkezi binası alansal taraması

Tablo 11. Ordu Kültür Sanat Merkezi Bina  atı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları

ORDU KÜLTÜR SANAT MERKEZİ BİNASI			
SHAPE *: Polygon			
ÇATI TÜRÜ: METAL ÇATI			
ÇATI AKIŞ KATSAYISI: 0,9			
ORTALAMA YAĞIŞ MİKTARI:1.051,37 mm/yıl			
SIRA NO	OBJECTİD*	BİNA ÇATI ALAN m�	HASAT EDİLEBİLİR SU MİKTARI m�/yıl
1	A	297,29	281,31
2	B	1.438,41	1.361,07
3	C	186,84	176,79
4	D	1.973,18	1.867,09
TOPLAM:		3.895,72 m�	3.686,26 m�/yıl

Ordu Kültür Sanat Merkezi binası çatısından hasat edilebilir yağmursuları bina içi temizliklerinde, sifon suyu kullanımında ve yeşil alan sulanmasında kullanılabilir. Bunun için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

- Ordu Kültür Sanat Merkezi Binası iki kısımdan oluşmaktadır. Şekil 26’da alansal taramalarda A ve B ile gösterilen kısım bodrum, zemin ve 1. kattan oluŐmakta olup; toplam alanı yaklaşık 4.361 m ’dir. C ve D ile gösterilen kısım bodrum, zemin, 1. kat ve 2. kattan oluŐmakta ve toplam alanı yaklaşık 7.069 m ’dir. Böylece genel toplam alanın 11.430 m  olduğu, merdiven ile sahanlıkların yaklaşık toplam alanı 220 m  olduğu ve 22 iş günü için 11 kez zemin temizliği yapıldığı kabul edilerek aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

$$\text{Buna göre; toplam alan} = 4.361 \text{ m}^2 + 7.069 \text{ m}^2 + 220 \text{ m}^2 = 11.650 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Zemin Temizleme Su İhtiyacı (m}^3\text{/ay)} &= 11.650 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ L/m}^2\text{.ay} \times 10^{-3} \times 11 \\ &= 64,075 \text{ m}^3\text{/ay} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Binaların zemin temizliğindeki yıllık su ihtiyacı} &= 64,075 \text{ m}^3\text{/ay} \times 12 \text{ ay/yıl} \\ &= 768,90 \text{ m}^3\text{/yıl olarak hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

Çatılardan hasat edilebilir su miktarı zemin temizliğinin tamamını karşılamaktadır.

- Ordu Kültür Sanat Merkezi binasında yetkili personel çalıŐanından sözlü olarak alınan veriye göre, çalıŐan personel sayısının 60 kişidir. Kültür sanat etkinlikleri için iki salon mevcuttur. Bu salonlar 539 ve 159 kiŐilik kapasitededir ve yılda 260 etkinlik yapılmaktadır. Binaya günde yaklaşık olarak 698 vatandaş giriş çıkış

yapmaktadır. Personelin günde iki kez, vatandaşların %30'nun günde bir kez sifon kullandığı, klozet haznesinin 9 L olduğu ve 22 iş günü üzerinden aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

Sifon suyu miktarı (m³/ay) =

$$\begin{aligned} &= (60 \text{ kişi/gün} \times 2 \times 9 \text{ L} \times 22 \text{ gün/ay}) + (210 \text{ kişi/gün} \times 1 \times 9 \text{ L} \times 22 \text{ gün/ay}) \\ &= 65.340 \text{ L/ ay} = 65.340 \text{ L/ ay} \times 10^{-3} = 65,34 \text{ m}^3/\text{ay} \end{aligned}$$

Yıllık sifon suyu ihtiyacı = 65,34 m³/ay x 12 ay/yıl= 784,08 m³/yıl olarak bulunmuştur.

Ordu Kültür Sanat Merkezi bina çatısından yıllık hasat edilebilir su sitenin sifon suyu ihtiyacının tamamını karşılayabilmektedir.

- Ordu Kültür Sanat Merkezi alanında yer alan yeşil alanların alansal taramalardan 2.985 m² olduğu hesaplanmıştır. Yeşil alan sulaması için hasat edilebilir yağmursuyunun kullanılabilirliği ile ilgili hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Sulama Suyu İhtiyacı (m}^3/\text{yıl)} &= 2.985 \text{ m}^2 \times 9 \text{ mm/gün} \times 10^{-3} \times 208 \text{ gün/yıl} \\ &= 5.587,92 \text{ m}^3/\text{yıl} \end{aligned}$$

$$3.686,26 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 100 / 5.587,92 \text{ m}^3/\text{yıl} = \% 65,97$$

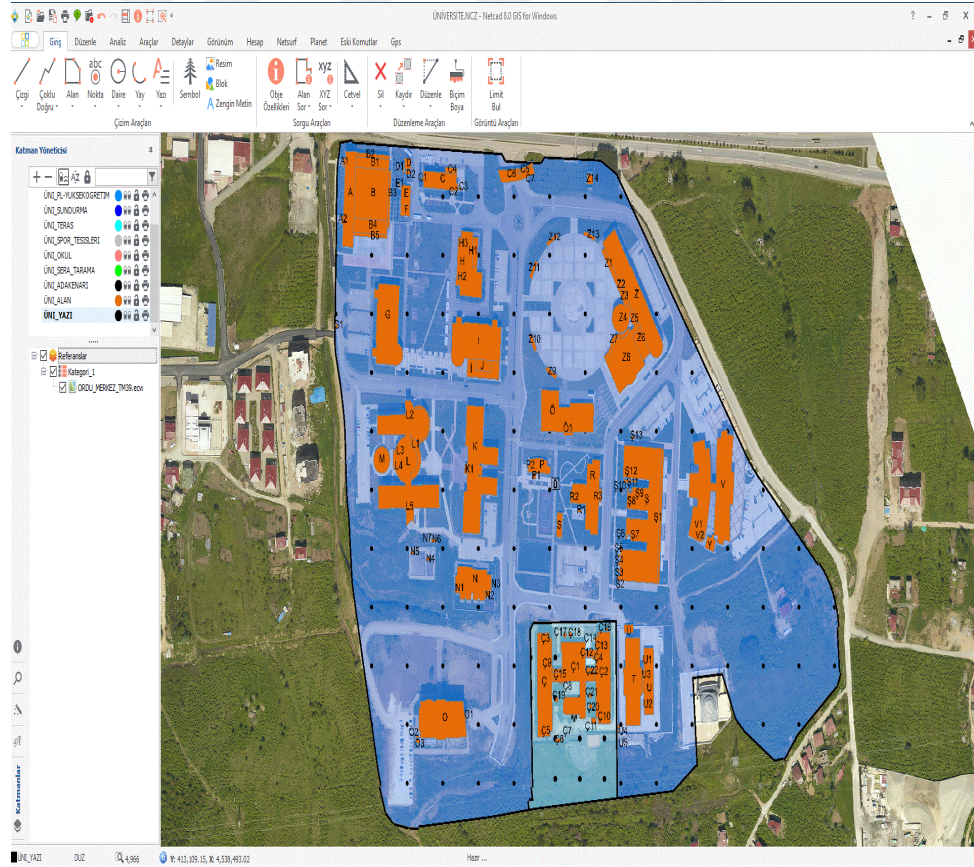
Ordu Kültür Sanat Merkezi binasının çatılarından hasat edilebilir toplam su miktarı yeşil alan sulamasının % 65,97'ini karşılayabilmektedir.

Ordu Üniversitesi ve Kampüsü

Altınordu İlçesi Cumhuriyet Mahallesi 108 ada 50 nolu parsel, 2810 ada 5 ve 6 nolu parseller içerisinde Ordu Üniversitesi ve Kampüsü yer almaktadır. Toplam parsel alanları 263.948,05 m²'dir. Şekil 23 ve Şekil 24 sırayla Ordu Üniversitesi ve Kampüsü binalarına ait ortofoto ve alansal taramaları göstermektedir. Her bir bloğa ait çatı alanlar ve hasat edilebilir yağmursuyu miktarları Tablo 20'de verilmiştir.



Şekil 23. Ordu Üniversitesi ve Kampüsü ortofoto görüntüsü



Şekil 24. Ordu Üniversitesi ve Kampüsü bölgesinin alansal taraması

Tablo 20. Ordu Üniversitesi ve Kampüsünün Bina Çatı Alanları ve Hasat Edilebilir Su Miktarları

ORDU ÜNİVERSİTESİ VE KAMPÜSÜ			
SHAPE * : Polygon			
ÇATI TÜRÜ: METAL ÇATI			
ÇATI AKIŞ KATSAYISI: 0,9			
ORTALAMA YAĞIŞ MİKTARI:1.051,37 mm/yıl			
SIRA NO	OBJECTİD*	BİNAÇATI ALANI m ²	HASAT EDİLEBİLİR SU MİKTAR m ³ /yıl
1	A	1.206,37	1.141,51
2	A1	18,87	17,86
3	A2	18,90	17,88
4	B	1.999,04	1.891,56
5	B1	420,12	397,53
6	B2	151,49	143,34
7	B3	149,26	141,23
8	B4	550,17	520,59
9	B5	145,52	137,70
10	C	665,15	629,39
11	C1	6,07	5,74
12	C2	5,04	4,77
13	C3	5,54	5,24
14	C4	76,11	72,02
15	C5	59,66	56,45
16	C6	292,93	277,18
17	C7	131,63	124,55
18	Ç	1.763,94	1.669,10
19	Ç1	1.905,27	1.802,83
20	Ç2	1.542,18	1.459,26
21	Ç3	11,84	11,20
22	Ç4	8,30	7,85
23	Ç5	11,01	10,42
24	Ç6	18,73	17,72
25	Ç7	7,35	6,95
26	Ç8	9,87	9,34
27	Ç9	9,17	8,68
28	Ç10	11,66	11,03
29	Ç11	28,93	27,37
30	Ç12	19,09	18,06
31	Ç13	72,25	68,36
32	Ç14	11,95	11,31
33	Ç15	41,43	39,20
34	Ç16	8,60	8,14
35	Ç17	14,95	14,15

Tablo 20. (Devamı)

36	Ç18	15,18	14,36
37	Ç19	15,13	14,32
38	Ç20	14,94	14,14
39	Ç21	14,60	13,82
40	Ç22	41,98	39,72
41	Ç23	11,78	11,15
42	D	78,49	74,27
43	D1	8,75	8,28
44	D2	19,71	18,65
45	E	224,62	212,54
46	E1	4,94	4,67
47	F	111,73	105,72
48	G	2.202,44	2.084,02
49	G1	9,44	8,93
50	H	1.387,02	1.312,44
51	H1	174,29	164,92
52	H2	13,20	12,49
53	H3	18,46	17,47
54	I	2.210,19	2.091,35
55	İ	487,00	460,82
56	J	203,22	192,29
57	K	3.080,25	2.914,63
58	K1	33,53	31,73
59	L	4.228,70	4.001,34
60	L1	352,34	333,40
61	L2	4,04	3,82
62	L3	6,34	6,00
63	L4	5,60	5,30
64	L5	5,10	4,82
65	M	403,70	381,99
66	N	1.151,28	1.089,38
67	N1	24,14	22,84
68	N2	33,50	31,70
69	N3	1,27	1,20
70	N4	12,08	11,43
71	N5	12,24	11,58
72	N6	15,31	14,49
73	N7	3,58	3,39
74	O	1.995,98	1.888,66
75	O1	16,39	15,51
76	O2	7,45	7,05
77	O3	14,94	14,14

Tablo 20. (Devamı)

78	Ö	2.008,80	1.900,79
79	Ö1	38,74	36,66
80	P	321,07	303,81
81	P1	24,50	23,18
82	P2	11,82	11,18
83	R	1.420,00	1.343,65
84	R1	10,61	10,04
85	R2	26,19	24,78
86	R3	28,70	27,16
87	S	154,89	146,56
88	Ş	4.827,36	4.567,81
89	Ş1	362,93	343,42
90	Ş2	11,68	11,05
91	Ş3	4,25	4,02
92	Ş4	9,86	9,33
93	Ş5	4,07	3,85
94	Ş6	6,61	6,25
95	Ş7	7,25	6,86
96	Ş8	6,23	5,90
97	Ş9	6,38	6,04
98	Ş10	17,38	16,44
99	Ş11	6,98	6,60
100	Ş12	8,95	8,47
101	Ş13	11,01	10,42
102	T	1.657,31	1.568,20
103	U	734,60	695,10
104	U1	8,24	7,80
105	U2	8,50	8,04
106	U3	56,52	53,48
107	U4	6,04	5,72
108	U5	6,46	6,11
109	Ü	86,89	82,22
110	V	3.991,68	3.777,06
111	V1	25,12	23,77
112	V2	10,36	9,80
113	Y	137,98	130,56
114	Z	2.389,03	2.260,58
115	Z1	168,70	159,63
116	Z2	64,64	61,16
117	Z3	97,13	91,91
118	Z4	495,94	469,27
119	Z5	77,23	73,08

Tablo 20. (Devamı)

120	Z6	323,88	306,46
121	Z7	153,28	145,04
122	Z8	1.689,25	1.598,42
123	Z9	56,96	53,90
124	Z10	60,06	56,83
125	Z11	57,69	54,59
126	Z12	50,57	47,85
127	Z13	51,36	48,60
128	Z14	56,89	53,83
TOPLAM:		51.931,53 m²	49.139,56 m³/yıl

Ordu Üniversitesi ve Kampüsü çatılarından hasat edilebilir yağmursuları yeşil alan sulanmasında kullanılabilir. Bunun için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır. Sifon suyu hesaplaması için daha özel bir spesifik çalışmaya gerek vardır. Çünkü giren çıkan öğrenci sayısı gibi verilere ihtiyaç vardır. Bu verilerin temin sağlanamadığından için yeşil alan sulaması için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

- Ordu Üniversitesi ve Kampüsünde yeralan yeşil alanlar 63.089,38 m² olduğu hesaplanmıştır. Yeşil alan sulaması için hasat edilebilir yağmursuyunun kullanılabilirliği ile ilgili hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Sulama Suyu İhtiyacı (m}^3\text{/yıl)} &= 63.089,38 \text{ m}^2 \times 9 \text{ mm/gün} \times 10^{-3} \times 208 \text{ gün/yıl} \\ &= 118.103,32 \text{ m}^3\text{/yıl} \end{aligned}$$

Ordu Üniversitesi ve Kampüs binasının çatılarından hasat edilebilir toplam su miktarı kampüsün yeşil alan sulama ihtiyacının yaklaşık yarısını karşılayabilmektedir.

Yukarıda seçilen büyük çatı alanına sahip binalar için yapılan örnek hesaplamalar yağmur suyunun önemli miktarda su tasarrufuna katkı sağladığını göstermiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Ordu kent merkezinde (Altınordu ilçesi) bulunan konutlar ve bazı büyük binaların çatılarından hasat edilebilir yağmursuyu potansiyelinin belirlenmesi ve bu suyun kullanılabilirliği ile ilgili araştırma yapılmıştır. Kent merkezinde yürütülen çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birincisi; kent merkezinde bulunan tüm konutlardan hasat edilebilir yağmur suyu potansiyelinin bazı kabuller yapılarak tahmin edilmesi ve tüketilen içmesuyu verisine göre yağmur suyunun eşdeğer yüzde ve eşdeğer gün sayılarının hesaplanması ile ilgilidir. İkincisi, kent merkezinde bulunan konut, ticari ve kurumsal bazı büyük binaların çatılarından hasat edilebilir yağmur suyu miktarının belirlenmesi ve bu suyun bina zemin temizliği, sifon suyu kullanımı, araç yıkama ve yeşil alan sulamasında kullanılabilirliği ile ilgili hesaplamaları içermektedir. Elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

Kent Merkezindeki Konutlardan Yağmur Suyu Hasadı

Altınordu ilçesinde imarlı ve imarsız 92 mahalle mevcuttur. Bunun için Ordu Büyükşehir Belediyesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Akıllı Şehirler Şube Müdürlüğünden alınan bilgiler doğrultusunda, CBS yazılım sisteminden yararlanılarak, 22 adet mahallesi olan imarlı alanlarda toplamda 20.829 adet konut, 70 adet mahallesi olan imarsız alanlarda toplam 23.700 adet konut olmak üzere kent merkezinde toplam 44.529 adet konut bulunmaktadır. Konut sayıları ile ilgili veriler 16 Aralık 2022 tarihi itibarıyla.

Her bir konutun ayrı ayrı çatı alan bilgilerine ulaşmak mümkün olmadığı için farklı kabuller üzerinden sadece tahmini hesaplamalar uygun görülmüştür. Ortalama 100, 150, 200 m²/konut çatı alan değerleri kabul edilerek kent merkezindeki 44.529 adet konutun toplam çatı alanı hesaplanmıştır. Konutlardan hasat edilebilir yağmursuyu potansiyellerinin belirlenmesi için Ordu ilinin 1972-2022 yılları arasındaki meteorolojik yağış verilerinden yararlanılmıştır. İlin ilgili yıllar arasında ortalama yağış miktarı 1051,37 mm/yıldır.

İlk etapta kent merkezindeki konutların çatılarından, 100, 150, 200 m²/konut çatı alan kabulleri ile, toplam çatı alanı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çatı malzemesi ve buna bağlı olarak akış katsayısı dikkate alınmadan, hasat edilebilir yağmursuyu miktarları ilgili çatı alanı kabullerine göre sırasıyla 4.681.645,47 m³, 7.022.468,21 m³ ve 9.363.290,95 m³ olarak belirlenmiştir.

Kent merkezinde her bir konutun kullanılan çatı malzeme bilgisine ulaşmak mümkün olmadığından literatürler dikkate alınarak akış katsayısı değeri 0,90 olarak kabul edilerek 100,

150 ve 200 m² çatı alan kabulleri ile tekrar hesaplama yapılmıştır. Bu çatı alanları için sırasıyla hasat edilebilir yağmursuyu miktarları 4.213.480,93 m³/yıl, 6.320.221,39 m³/yıl ve 8.426.961,85 m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda belirtilen hasat edilebilir toplam yağmursuyu miktarları kent merkezinde tüketilen yıllık su miktarı dikkate alınarak eşdeğer yüzde ve eşdeğer gün parametreleri ile ifade edilmiştir. Kent merkezinde OSKİ Genel Müdürlüğü verilerine göre 2021 yılında 10.297.590 m³/yıl su tüketilmiştir. Bu tüketimin %75'inin konutlarda tüketildiği kabul edilerek eşdeğer yüzde ve eşdeğer gün değerleri belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle bu hesaplama kent merkezinde konutlarda tüketilen su miktarının hasat edilebilir su miktarı ile eşleştirilmesi ile ilgilidir. Kent merkezinde her bina yağmur suyu hasadı için uygun değildir. Binaların bulunduğu konum, binanın özelliği, bina çevresinde yeterli depo alanı bulunup bulunmaması gibi hususlar hasat edilebilir yağmursuyu miktarını etkileyecektir. 100 m² çatı alanı için, %20 hasat yüzdesine göre 842.696,19 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu miktarı, 10,91 eşdeğer yüzde ve 39,83 eşdeğer gün; %50 hasat yüzdesine göre 2.106.740,47 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu miktarı, 27,28 eşdeğer yüzde, 99,56 eşdeğer gün; %80 hasat yüzdesine göre 3.370.784,74 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu miktarı, 43,64 eşdeğer yüzde ve 159,30 eşdeğer gün değerleri hesaplanmıştır. 150 m² çatı alanı için, %20 hasat yüzdesine göre 1.264.044,28 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu miktarı, 16,37 eşdeğer yüzde ve 59,74 eşdeğer gün; %50 hasat yüzdesi oranında 3.160.110,69 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu miktarı, 40,92 eşdeğer yüzde ve 149,35 eşdeğer gün olurken %80 hasat yüzdesinde 5.056.177,11 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu miktarı, 65,47 eşdeğer yüzde ve 238,96 eşdeğer gün'dür. 200 m² çatı alanı için, %20 hasat yüzdesinde 1.685.392,37 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu miktarı, 21,82 eşdeğer yüzde ve 79,65 eşdeğer gün; %50 hasat yüzdesine göre 4.213.480,92 m³/yıl hasat edilebilir yağmursuyu miktarı, 54,56 eşdeğer yüzde ve 199,13 eşdeğer gün ve %80 hasat yüzdesinde hasat edilebilir yağmursuyu miktarı 6.741.569,48 m³/yıl, eşdeğer yüzde 87,29 ve eşdeğer gün 318,61 olarak belirlenmiştir.

Kent Merkezinde Konut, Ticari ve Kurumsal Bazı Büyük Binalardan Yağmur Suyu Hasadı

Çalışmanın ikinci aşamasında kent merkezinde bulunan bazı büyük binalarda hasat edilebilir yağmur suyu potansiyelleri ve bu suyun tekrar kullanılabilirliği üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Seçilen binalar üç kategoriye ayrılmıştır. Birincisi konutlar, ikincisi ticari alanlar ve üçüncüsü kurumsal binalardır. Konut kategorisinde Güneşkent Sitesi ve Memurkent TOKİ konutları, ticari kategoride Sayılı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi, kurumsal kategoride Ordu Büyükşehir Belediye Binası, Ordu Kültür Sanat Merkezi ve Ordu Üniversitesi Kampüsü

bulunmaktadır. Her kategori için seçilen binaların ortofoto görüntülerinden ve halihazır haritalardan yararlanılarak NetCAD 8.5 versiyon yazılımı ile noktasal değerler verilerek 2005 EPOK, 39-3 ITRF koordinatlar elde edilmiş ve bu noktalar çizilerek çatı alanları oluşturulup akabinde alan çevirmesi ile binaların çatı alanları belirlenmiştir. Kent merkezinin topografik durumunun tespiti için ortofoto ve halihazır harita verileri Ordu Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Harita ve Kamulaştırma Şube Müdürlüğünden 26 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır. Sonrasında ArcGIS Desktop 10.5 versiyonun ArcMap 10.5 arayüzü yazılımı ile haritalanmış bilgilerin analizlerini ve veri tabanlarını oluşturularak hasat edilecek yağmursuyu hacimleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda hasat edilecek yağmur sularının nerelerde kullanılacağı ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Yağmur suyunun kullanılabilirliği ile hesaplamalarda bina zemin temizlikleri, sifon suyu kullanımı, araç yıkama ve yeşil alan sulaması dikkate alınmıştır.

Konut

Güneş Kent Sitesi bina çatı alanları toplam 1.702,42 m² ve hasat edilebilir su miktarı toplam 1.610,88 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Site bina çatılarından hasat edilebilir yağmursuyu bina içi temizlikler, sifon suyu kullanımı, araç yıkama ve yeşil alan sulamasında kullanılabilmesi için bazı kabuller yapılarak bu işlemler için yıllık su ihtiyaçları hesaplanmıştır. Buna göre bina zemin temizliği için 1,92 m³/yıl, sifon suyu için 1.944 m³/yıl, araçların yıkanması için 93,6 m³/yıl ve siteye ait yeşil alanların sulama için 2.321,28 m³/yıl suya ihtiyaç olduğu görülmüştür. Site bina çatılarında hasat edilebilir yağmur suyunun bu işlemlerin su ihtiyacını karşılamada önemli oranda katkısı vardır.

Memurkent TOKİ konutlarında bina çatı alanları toplam 14.028,29 m² ve hasat edilebilir su miktarı toplam 13.274,03 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Sitenin bina zemin temizliği için 155,52 m³/yıl, sifon suyu için 48.600 m³/yıl, araçların yıkanması için 1.915,20 m³/yıl ve yeşil alanların sulanması için 51.738,06 m³/yıl suya ihtiyacı bulunmaktadır.

Ticari

Sayıllı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi çatı alanları toplam 22.312,28 m² ve hasat edilebilir su miktarı toplam 21.112,62 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Çatılardan hasat edilebilir yağmursuyunun sifon suyu kullanımı ve araç yıkama için kullanılabilirliği ile ilgili yapılan hesaplamalarda sifon suyu ihtiyacı 11.178 m³/yıl ve araçların yıkanması için su ihtiyacı 552 m³/yıl olarak bulunmuştur. Sanayi sitesi bina çatılarından hasat edilebilir su, iki işlemin su ihtiyacını önemli oranda karşılayabilmektedir.

Kurumsal

Ordu Büyükşehir Belediyesi binası çatı alanı toplam 2.260,78 m² ve hasat edilebilir su miktarı toplam 2.139,22 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Kurumun bina içi temizliği için su 619,08 m³/yıl, sifon suyu için 1.485 m³/yıl ve araçların yıkanması için 264 m³/yıl suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bina çatılarından hasat edilebilir yağmursuyu, su ihtiyacının yaklaşık olarak tamamına yakınına karşılayabilmektedir.

Ordu Kültür Sanat Merkez binası çatı alanı toplam 3.895,72 m² ve hasat edilebilir su miktarı toplam 3.686,26 m³/yıl olarak bulunmuştur. Bina zemin temizliği için 768,90 m³/yıl, sifon suyu için 784,08 m³/yıl ve yeşil alan sulaması için 5.587,92 m³/yıl suya ihtiyaç vardır. Sanat merkezi binasında hasat edilebilir su bu ihtiyaçların yaklaşık yarısına katkı sağlayabilmektedir.

Ordu Üniversitesi ve Kampüsü bina çatıları alanı toplam 51.931,53 m² ve hasat edilebilir su miktarı toplam 49.139,56 m³ olarak hesaplanmıştır. Kampüste yeşil alanların sulama suyu ihtiyacı 118.103,32 m³/yıl bulunmuştur. Kampüsteki bina çatılarının tamamından hasat edilebilir su yeşil alanların su ihtiyacının yaklaşık yarısını karşılamaktadır. Binaların zemin temizliği, sifon suyu kullanımı ile ilgili hesaplama yapılabilmesi için kampüs binalarının herbirinde personel ve öğrenci sayıları, herbir binaya günde giriş çıkış yapan kişi sayısı, bina içi zemin alanlarının tespiti için çok detaylı veri ihtiyacı olduğu ve bu veriler temin edilemediği için bu hesaplamalar sadece yeşil alan sulama suyu ihtiyacının tespit edilmesiyle sınırlı tutulmuştur.

Çalışma sonuçları yağmur suyu hasadı ile elde edilebilir su miktarlarının içme ve kullanma suyu ile yer değiştirilebilirliğine önemli oranda katkı sağlayacağını göstermiştir. Bu nedenle yağmur suyu içme ve kullanma suyuna alternatif bir su kaynağı gibi değerlendirilebilir.

Bu çalışmaların tamamı çatı alanlarından hasat edilebilir yağmursuyu potansiyellerinin belirlenmesi ve bunların kullanılabilirliğinin araştırılması üzerinedir. Yağmur suyu hasadı su kıtlığına çözüm olarak başvurulmuş bir yöntem olarak bilinmektedir. Ancak yağmursuyu hasadı sadece su kıtlığına çözüm olarak düşünülmemelidir. Henüz su kıtlığı sorunu olmayan bölgelerde de suyun korunması önem arz etmektedir. Kent merkezlerinde geçirimsiz yüzeylerden ötürü, yağmur sularının önemli bir kısmı akışa geçerek kaybedilmektedir. Son yıllarda küresel iklim değişikliği başta olmak üzere farklı birçok sebepten şiddetli yağışlar sıklıkla görülmektedir. Kent merkezlerinde meydana gelen seller ve su baskını gibi olaylar suyun daha fazla kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle sadece bina çatılarından yağmur suyu hasadı değil başka alternatif çözümlere de başvurulmalıdır. Yağmur sularının akışa geçerek kaybının önlenmesi için yollarda uygun yerlerde geçirimli malzeme kullanılması, ayrık sistem

yağmursuyu kanallarının yapılması, şehrin yüksek yerlerinde yapay göletler oluşturulması, şehir merkezinde peyzaj alanlarında yağmursuyu bahçeleri dizayn edilmesi, depo alanı yerleştirilebilecek binalarda yağmursuyunun depolanması, özellikle yeni yapılan binalarda yeşil çatı uygulaması gibi çözümler yağmursuyunun korunmasına önemli katkı sağlayacaktır. Yağmursuyunun korunmasına ilaveten bu suların konutlarda, işyerlerinde sifon suyu kullanımı, merdiven ve sahanlık gibi bina içi zemin temizliklerinde kullanımı, araç yıkama, yeşil alan sulaması kullanımı ile arıtılmış içme ve kullanma suyunun belirli oranlarda yerini alması sözkonusudur. Bu daha az içme ve kullanma suyu tüketimi demektir. Dolayısıyla daha az içme ve kullanma suyu temini, arıtımı ve iletimi daha az enerji sarfıyatı ve daha az diğer ekonomik masraf ile döngüsel ekonomi yaklaşımını destekleyecektir. Bu çalışma suyun sürdürülebilirliği için yağmursuyu hasadının önemli bir çözüm yolu olduğu göstermiştir.



KAYNAKLAR

- Abdulla, F., 2019, Rainwater Harvesting in Jordan: Potential Water Saving, Optimal Tank Sizing and Economic Analysis, *Urban Water Journal*, 17(5), 1-11.
- Accetturo, A., Audrey, A., 2015, Rainwater Harvesting: Guidance Toward A Sustainable Water Future, Bellingham, City of Bellingham's Water Conservation Program.
- Aküzüm, T., Çakmak, B. ve Gökalp, Z., 2010, Türkiye'de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 67-74.
- Anderson, J., 2003, The Environmental Benefits of Water Recycling and Reuse, *Water Supply*, 3 (4), 1-10.
- Anonim a, Wikipedia Özgür Ansiklopedi [https://tr.wikipedia.org/wiki/Ordu_\(il\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Ordu_(il)), Erişim Tarihi: 15.12.2022.
- Anonim b, <https://sehirsorgula.com/altinordu-mahalleleri>, Erişim Tarihi: 28.12.2023.
- Aybuğa, K., 2018, Su Kaynakları Üzerindeki Baskıların Hafifletilmesi Maksadıyla Konutlarda Yağmur Suyu ve Gri Su Kullanımı: Ankara Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi
- Bahri, A., 2012, Integrated Urban Water Management, The Global Water Partnership, Stockholm, 978-91-85321-87-2
- Baptista, J.M., Liberato, P., Carlos, D., Morbey, L., Chainho, L., Serra, A., 2018. European report on water, <https://www.womenforwater.org/uploads/>, Erişim Tarihi: 12.11 2022.
- Bell, S., 2018. Urban Water Sustainability: Constructing Infrastructure For Cities and Nature, Routledge, NewYork, 978-1-317-39828-8
- Birgili, B., 2013, Afrika Sahel Bölgesi Tarımı ve Alternatif Teknikler, 2013, <https://tasam.org/tr->, Erişim Tarihi: 28.12.2023
- Brown, R., Keath, N., Wong, T., 2009. Urban Water Management in Cities: Historical, Current and Future Regimes. *Water Science and Technology*, 59 (5), 847- 855.
- Concern Worldwide US, 2022. Ten Causes of The Global Water Crisis, <https://concernusa.org/news/global-water-crisis-causes>, Erişim Tarihi: 26.12.2023.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye Yağış, 2021.
- Deshmukh, T., Raipure, H. C., Borkar, S., Shingne, U., Mankar, A. K., Shinde, C., Sahare, A. P., Dongre, A., 2022, A Review on Recent Trends in Rooftop Rainwater Harvesting Technologies, *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10 (5), 1180-1183.
- Ding, G. K. C., Ghosh, S., 2017, Sustainable Water Management- A Strategy for Maintaining Future Water Resources, *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 4, 91-103.
- Gleick, P. H., 1996, Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs, *Water International*, 21 (2), 83-92.
- Guppy, L., Anderson, K., 2017, Global Water Crisis: The Facts, Technical Report, United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, 978-92-808-6083-2.

- Güney, H. N., 2017, Cumhuriyet Döneminde Ordu'da Meydana Gelen Doğal Afetler (1919-2016), Ordu Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Sosyal İşler Dairesi Başkanlığı Kültür Yayınları-18, Birinci Baskı, Ordu, 978-605-67618-2-9.
- <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ordu>, Erişim Tarihi: 15.01.2023.
- Hussey, K., Kay, E., 2015, The Opportunities and Challenges of Implementing, Water Sensitive Urban Design, Lessons From Stormwater Management in Victoria, Australia, Understanding and Managing Urban Water in Transition, Editors: Grafton, Q., Daniell, K. A., Nauges, C., Rinaudo, J., Chan, N. W. W., Springer, London, 978-94-017-9800-6
- Huyghe, W., Pacheco Algaba, M. H., van Leuwen, K., Koop, S., Eisenreich, S., 2021, Assessment of the Urban Water Cycle in Antwerp (BE): The City Blueprint Approach (CBA), Cleaner Environmental Systems, 2 (15), 100011.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva
- Jenerette, G. D. ve Larsen, L., 2006, A Global Perspective on Changing Sustainable Urban Water Supplies, Global and Planetary Change, 50, 202–211.
- Kibona D., Kidulile G., Rwabukambara F., 2009, Environment, Climate Warming and Water Management, Transition Studies Review, 16, 484-500.
- Kodal, S., Ersoy, Y., 2022, Sulama Sistemlerinin Tasarımı, Sulama Temel Konular, Ders Notları, Ankara Üniversitesi.
- Kurunthachalam, S. K., 2014, Water Conservation and Sustainability: An Utmost Importance, Hydrology Current Research, 5(2), 1000e117.
- Liang, X., 2011, The Economics of Sustainable Urban Water Management: The Case of Beijing, Doktora Tezi, Erasmus University Rotterdam.
- Loftus, A., 2011, Adapting Urban Water Systems To Climate Change: A Handbook For Decision-Makers and the Local Level, ICLEI, UNESCO, IHE and IWA.
- Londra, P. A., Theocharis, A. T., Baltas, E., Tsihrantzis, A., 2018, Assessment of Rainwater Harvesting Tank Size for Livestock Use, Water Supply, 18 (2), 555–566.
- Lui, J., Dorjderem, A., Fu, J., Lei, X., Lui, H., Macer, D., Qiao, Q., Sun, A., Tachiyama, K., Yu, L., Zheng, Y., 2011, Water Ethics and Water Resource Management, Ethics and Climate Change in Asia and the Pacific (ECCAP) Project, Working Group 14 Report, UNESCO, Bangkok.
- Lui, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kumm, M., Florke, M., Pfister, S., Hanasaki, N., Wada, Y., Zhang, X., Zheng, C., Alcamo, J., Oki, T., 2017, Water Scarcity Assessments in the Past, Present and Future, Earth's Future, 5 (6), 545-559.
- Marsalek, J., Jimenez- Cisneros, B. E., Malmquist, P. A., Karamouz, M., Goldenfum, J., Chocat, B., 2006, Urban Water Cycle Processes and Interactions, Technical Documents in Hydrology, IHP/ UNESCO, Paris.
- Mays, L., 2009, Integrated Urban Water Management: Arid and Semi-Arid Regions, IHP/ UNESCO, Paris, 978-92-3-104061-0.
- McDonald R. I., Weber, K., Padowski, J., Flörke, M., Schneider, C., Green, P. A., Gleeson, T., Eckman, S., Lehner, B., Balk, D., Boucher, T., Grill, G., Montgomery, M., 2014, Water on an Urban Planet: Urbanization and the Reach of Urban Water Infrastructure, Global Environmental Change, 27, 96-105.

- McGrane, S. J., 2016, Impacts of Urbanisation on Hydrological and Water Quality Dynamics, and Urban Water Management: A Review, *Hydrological Sciences Journal*, 61(13) 2295-2311.
- Mishra, B., K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., Gautam, A., 2021, Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions, *Water*, 13 (490), 1-21.
- Mohapatra, S. R., Dash, T., Choudhury, P., Mohanty, G., Swain, S., 2022, Review on Design of Rainwater Harvesting in Gandhi Institute for Technology (GIFT), BBSR, *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10 (5), 672-680.
- Ordu Büyükşehir Belediyesi Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Akıllı Şehirler Şube Müdürlüğü, 16.12.2022.
- Ordu Büyükşehir Belediyesi Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı Destek Hizmetleri Şube Müdürlüğü, 21.02.2024.
- Ordu Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Harita ve Kamulaştırma Şube Müdürlüğü, 26.12.2022.
- Ordu Büyükşehir Belediyesi İnsan Kaynakları ve Eğitim Dairesi Başkanlığı İnsan Kaynakları ve Eğitim Şube Müdürlüğü, 20.02.2024.
- Ordu Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 2020,
- Ordu Valiliği Meteoroloji Müdürlüğü, 17.10.2022
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2017, Taşkın Yönetimi, https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın%20Dairesi%20Sunum/Taşkın_kitap.pdf, Erişim Tarihi: 20.12. 2023.
- Our World in Data, 2018. By Hannah Ritchie and Max Roser Water Use and Stress, <https://www.ourworldindata.org/water-use-stress> , Erişim Tarihi: 25.12. 2023.
- Özcan, S., 2016, Taşkın ile İlgili Mevzuatın Değerlendirilmesi ve Yasal Boşluk Analizi Yapılması, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi.
- Pala, G. K., Pathivada, A. P., Velugoti, S. J. H., Yerramsetti, C., Veeranki, S., 2021, Rainwater Harvesting-A Review on Conservation, Creation and Cost-Effectiveness, *Materials Today: Proceedings*, 45 (7), 6567-6571.
- Plessis, A. D., 2017, *Freshwater Challenges of South Africa and Its Upper Vaal River*, Springer, Johannesburg, 978-3-319-49502-6.
- Resmî Gazete, On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Altı İlçe Kurulması ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanunda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun, 2013, Erişim Tarihi: 25.11.2022.
- Resmî Gazete, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 31373 ve 23/01/2021 Tarihli, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210123-4.htm>, Erişim Tarihi: 25.11.2022.
- Sayıllı Sınırlı Ata Küçük Sanayi Sitesi, 19.03.2024.
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B. M., Colon- Gonzalez, F. J., Gosling, S. N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F. T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., Wisser, D., Albrecht, T., Frieler, K., Piontek, F., Warszawski, L., Kabat, P., 2014, Multimodel Assessment of Water Scarcity Under Climate Change, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 3245–3250.

- Seto, K. C., Parnell, S., Elmqvist, T., Fragkias, M., Schewenius, M., Goodness, J., Sendstad, M., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., Wilkinson, C., 2013, Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities, A Global Outlook on Urbanization, Editors: McDonald, R. I., Springer, New York, 978-94-007-7087-4.
- Sulama Sistemleri, Sulama Süresi ve Anahat Boru Çapı Hesabı, 2022, <https://www.sapancasulamasistemleri.blogspot.com>, Erişim Tarihi: 02.01.2024
- Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı, 2020, İklim Değişikliği ve Uyum, <https://www.tarimorman.gov.tr/> Erişim Tarihi: 10.11.2023
- Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022, Yağmur Suyu Hasadı Rehber Dokümanı, <https://www.tarimorman.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 12.10.2023
- Toyran, C., Var, M., 2022, Yağmursuyu Hasadının Kentsel Tasarım ve Yeşil Altyapı Uygulamalarında Değerlendirilmesi-Büyükçekmece İlçesi Örneği, Turkish Journal of Forest Science, 6 (1), 255-274.
- UN-Habitat, 2016. World Cities Report, Urbanization and Development. Emerging Futures, United Nations Human Settlements Programme, Nairobi, 978-92-1-133395-4.
- United Nations Development Programme (UNDP), 2011, Human Development Report, Sustainability and Equity: A Better Future for All, <https://www.hdr.undp.org.>, Erişim Tarihi: 15.12.2023
- United Nations, 2012, The United Nations World Water Development Report 4, The United managing water under uncertainty and risk, executive summary, UNESCO World Water Assessment Programme, 978-9-231-04235-5.
- United Nations., 2023, Water, <https://www.un.org/en/global-issues/water>, Erişim Tarihi: 25.12.2023.
- Vision Water, 2021, The water consumption per person, <https://visionwater.eu/the-water-consumption-per-person>, Erişim Tarihi: 25.12.2023.
- Xie, M., 2006, Integrated Water Resources Management (IWRM)- Introduction To Principles and Practices, Word Bank Institute (WBI).
- Zhu, D., Chang, Y. J., 2020. Urban water security assessment in the context of sustainability and urban water management transitions: An empirical study in Shanghai. Journal of Cleaner Production, 275, 122968.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Saniye BOZDAĞ
Doğum tarihi:	-
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	-
E-mail:	-
Eğitim	
Lise:	Kurtuluş Lisesi, Kırıkkale Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kavak Meslek Yüksekokulu Harita ve Kadastro, Samsun
Lisans:	Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme, (AÖF) Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği, Erzurum
Yüksek lisans:	Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Özel Hukuk, Konya Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği, Erzurum
Doktora:	-
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce: İyi	
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
-	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
-	