



**SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK BAĞLAMINDA YAĞMUR HASADI VE
EL CEZERİ MEKANİĞİNİN MİMARLIKTAKİ KULLANIMI**

Rukiye VARGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Rukiye VARGÜN

04/09/2023

SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK BAĞLAMINDA YAĞMUR HASADI VE EL CEZİRİ MEKANİĞİNİN MİMARLIKTAKİ KULLANIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Rukiye VARGÜN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2023

ÖZET

Gün geçtikçe artan dünya nüfusu, buna bağlı olarak gelişen teknoloji ve sanayileşme sebebiyle doğal enerji kaynakları hızla tükenmeye başlamıştır. Doğal kaynaklarımızın giderek tükenmesi, insanları yenilenebilir kaynak kullanımını artırmak ve sürdürülebilir yaşama geçmek için alternatif yollar aramaya itmiştir. Hayatımızın üretim, tüketim gibi her alanında sürdürülebilirlik tartışılmaya başlanmış, bu anlamda çeşitli adımlar atılmıştır. Her canlının yaşamının temelinde yer alan su, korunması gereken en önemli kaynaklardan biridir. Su kaynaklarının korunması, canlıların yaşamsal döngüsünü sürdürebilmeleri için kritik bir adımdır. Beşeri ve teknolojik faktörlerin etkisiyle bozulan iklimsel hareketler, suyun yenilenebilir döngüsünü büyük ölçüde etkilemiştir. Artan nüfus sebebiyle su talebinin yenilenebilir su döngüsünün önüne geçmesi ve sanayi sektörünün hızla gelişmesi, giderek artan ve engellenemez bir kaynak tüketimine neden olmaktadır. Bu durumu önlemek için su kaynaklarını korumak ve sürdürülebilir su yönetimi stratejileri benimsemek büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde artmakta olan kentsel nüfus, son yıllarda sıkça yaşadığımız deprem, sel gibi doğal afetler kentsel dönüşümü zorunlu kılmıştır. Kontrolsüz kentsel dönüşüm sonucu kent tabakasındaki yeşil alanlarda büyük ölçüde azalma meydana gelmiştir. Yeşil alanların azalmasıyla kent örtüsünün geçirimsiz yüzeyler haline gelmesi, yağış sularının doğal yollarla drene edilememesine ve bunun sonucunda su taşkınları ve sel felaketleri gibi vakaların artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yağmur suyunun doğru bir şekilde toplanarak geri kullanıma kazandırılması, hem erozyon ve sel gibi felaketlerin önüne geçilmesine hem de su kaynaklarımızın daha verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlayacaktır. Yağmur suyunun toplanması tarih boyunca sürdürülebilir su yönetimi için kullanılan en bilinen yöntemlerden biri olmuştur. Yağış sularının toplanarak bahçe sulama, evsel kullanım, yangın söndürme gibi alanlarda tekrar kullanılabilmesine yönelik birçok sistem geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu tez çalışmasında, Türkiye’de her geçen gün artmakta olan toplu konut yerleşimlerinde yağmur suyunun belirli kriterler doğrultusunda konumlandırılmış sarnıçlarda toplanarak rüzgar enerjisi ile çalışan mekanizma sayesinde site içindeki bütün apartman bloklarına ve dairelere taşınmasını sağlayan alternatif bir yağmur hasadı sistemi önerilmiştir. Bu sistem El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek üretilmiştir. Rüzgar enerjisi ile çalışan yağmur suyu toplama sistemiyle, yağmur hasadı yöntemlerine sıfır enerjili bir yaklaşım sunularak sistemin çalışma prensipleri Ankara’da bulunan bir TOKİ konut projesi üzerinde örnek bir çalışma yapılarak açıklanmıştır.

Bilim Kodu : 80103

Anahtar Kelimeler : El Cezeri mekaniği, sürdürülebilir mimarlık, yağmur hasadı

Sayfa Adedi : 105

Danışman : Doç. Dr. Mehmet Tayfun YILDIRIM

RAIN HARVESTING IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE ARCHITECTURE AND USING OF AL JAZEERA MECHANICS IN ARCHITECTURE

(M. Sc. Thesis)

Rukiye VARGÜN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2023

ABSTRACT

The increasing global population, coupled with the technological and industrial advancements that follow, has led to the rapid depletion of natural energy sources. The progressive exhaustion of our natural resources has compelled individuals to seek alternative means of enhancing the utilization of renewable resources and transitioning to sustainable living. Sustainability has become a topic of discussion in every facet of life, including production and consumption, and various steps have been taken in this regard. Water, a fundamental element at the core of every organism's life, stands out as one of the most crucial resources requiring preservation. The conservation of water resources is a critical step in ensuring the life cycle of living organisms. Climate cycles, disrupted by anthropogenic and technological factors, have significantly affected the renewable water cycle. The escalating demand for water due to population growth and the rapid development of the industrial sector results in an increasingly unstoppable trend in resource consumption. To mitigate this, it is crucial to protect water sources and adopt sustainable water management strategies. In our country, the increasing urban population, coupled with frequent natural disasters such as earthquakes and floods, has made urban transformation obligatory. The uncontrolled nature of urban transformation has resulted in a substantial reduction in green areas. The reduction in green areas, transforming urban surfaces into impermeable entities, obstructs the natural drainage of rainwater, consequently amplifying the occurrence of floods and calamities. Thus, collecting rainwater correctly and reintroducing it for reuse will not only prevent disasters such as erosion and floods but also facilitate the more efficient utilization of our water resources. Rainwater collection has been one of the most well-known methods used for sustainable water management throughout history. Various systems have been developed and continue to evolve, catering to the collection of rainwater for purposes such as garden irrigation, domestic consumption, and firefighting. In this thesis, an alternative rainwater harvesting system is proposed for mass housing settlements in Turkey, where rainwater is collected in cisterns strategically positioned according to specific criteria and then transported to all apartment blocks and units within the site using a mechanism powered by wind energy. This system is inspired by the mechanical principles of Al-Jazari. The rainwater harvesting system, operated by wind energy, presents a zero-energy approach to rainwater harvesting methods. The working principles of the system are demonstrated through a case study conducted on a public housing project in Ankara.

Science Code : 80103

Key Words : Al-Jazari mechanics, rainwater harvesting, sustainable architecture

Page Number : 105

Supervisor : Assoc. Dr. Mehmet Tayfun YILDIRIM

TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca emek ve zamanını benden hiçbir zaman esirgemeyen, fikirleriyle bana sonsuz ışık tutan ve motivasyonumu her zaman dinç tutan değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet Tayfun YILDIRIM'a desteklerinden dolayı en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Jüri üyelerim Doç. Dr. Can Mehmet HERSEK “Başkent Üniversitesi” ve Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY “Gazi Üniversitesi” hocalarıma savunma sürecimde yaptıkları kıymetli yorumları ve yönlendirmeleri için teşekkür ederim.

Hayatım boyunca attığım her adımda yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, başta diğer yarım ikizim olmak üzere en kıymetlilerim annem, babam, ablam, abim ve evimizin miniği canım kardeşime en büyük teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu zorlu süreçte başta Sayın şefim Gökhan ÖZÇINAR olmak üzere bana her daim tolerans gösteren değerli yöneticilerime, son ana kadar yardımlarını esirgemeyen ve motivasyonumu kaybetmememde büyük destekleri olan kıymetli arkadaşlarıma büyük bir teşekkür borç bilirim.

Son olarak yaşadığı her an boyunca kıymetli bilgileriyle ve maddi manevi destekleriyle bütün eğitim hayatım boyunca her zaman destekçim olan, son nefesine kadar sayısız öğrencinin yetişmesinde ve başarısında sonsuz emeği olan çok değerli amcam Satılmış Said VARGÜN'e emekleri ve bize bıraktıkları için en büyük teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. DÜNYADA SU SORUNU	13
2.1. Su Kullanım İstatistikleri	13
2.2. Sektörlere Göre Su Kullanımı	17
2.2.1. Tarımda su kullanımı	18
2.2.2. Endüstriyel su kullanımı	19
2.2.3. Evsel su kullanımı	20
3. MİMARLIKTAKİ SU HASADI.....	23
3.1. Yağmur Hasadı Yöntemleri	23
3.1.1. Yağmur suyu toplama bileşenleri	26
3.1.2. Yağmur hasadı yöntemlerinde peyzaj elemanları	32
4. KONUT TİPLERİNİN YAĞMUR HASADI UYGULAMALARI AÇISINDAN İNCELENMESİ.....	41
4.1. Konut Tiplerinde Yağmur Hasadı	42
4.1.1. Bağımsız ev	43

	Sayfa
4.1.2. İkiz evler	45
4.1.3. Apartmanlar	46
4.1.4. Sıra evler.....	49
4.2. Toplu Konutlar	51
5. EL CEZERİ	55
5.1. El Cezeri'nin Yaşamı	55
5.2. El Cezeri'nin İcatları	55
5.2.1. El Cezeri'nin icatlarında kullandığı mekanizmalar	60
5.2.2. Otomatik fışkiyeler	61
5.2.3. Su yükseltme düzenekleri.....	64
6. EL CEZERİ MEKANİĞİ VE RÜZGAR GÜLÜ	71
6.1. Rüzgar Türbinleri	71
6.1.1. Düşey eksenli rüzgar türbinleri	72
6.2.2. Yatay eksenli rüzgar türbinleri.....	72
6.2. El Cezeri Mekanikleriyle Rüzgar Gülü Pompası	74
6.3. TOKİ Konut Projesi Üzerinde Örnek Yağmur Suyu Kapasitesi Hesabı	82
6.3.1. Günlük su tüketim hesabı	84
6.3.2. Toplanabilecek yağmur suyu miktarı	84
6.4. Sarnıç ve Rüzgar Gülü Pompasının Konumlandırılması	89
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	105

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Arazi türüne göre yüzeysel akış katsayısı	28
Çizelge 3.2. Çatı yüzeyinden yağmur suyu toplama verimlilik katsayısı	28
Çizelge 3.3. Malzemeye göre gecikme katsayıları.....	29
Çizelge 3.4. Malzemeye göre su deposu özellikleri	31
Çizelge 5.1. El Cezeri'nin icatlarının sınıflandırılması.....	59
Çizelge 6.1. Bala TOKİ projesinde yağmur suyunun toplanacağı yüzeylerin verileri	85
Çizelge 6.2. Meteoroloji verilerine göre Ankara'nın yağış tablosu.....	87
Çizelge 6.3. Yağmur hasadıyla günlük toplanabilecek su miktarı ve günlük su tüketimi	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışma şeması	4
Şekil 2.1. Nüfusun içme suyu tesislerine erişim payı	14
Şekil 2.2. Küresel temiz su kullanımı	15
Şekil 2.3. Bölgesel temiz su kullanımı.....	16
Şekil 2.4. Yenilenebilir iç akış kaynak seviyesi	16
Şekil 2.5. Dünyada ve Türkiye’de sektörel su kullanım dağılımı.....	17
Şekil 2.6. Tarımsal su kullanımı	18
Şekil 2.7. Türkiye’de sanayide kullanılan suyun kaynaklardan çekilme oranları	19
Şekil 2.8. Endüstriyel su kullanımı	20
Şekil 2.9. Evsel ve kamusal su kullanımı	20
Şekil 2.10. Evsel kullanım için şebekeden su çekme oranları	21
Şekil 2.11. Evsel su kullanım oranları	22
Şekil 3.1. Türkiye yıllık toplam yağış verisinin 1970-2020 yılları arasında dağılımı.....	24
Şekil 3.2. Türkiye aylık toplam yağış verisinin 2022, 2021 ve 1970-2020 ortalama aylık değerleriyle karşılaştırması.....	25
Şekil 3.3. Yağmur suyu kullanım alanları	25
Şekil 3.4. Yağmur suyu toplama sistemi bileşenleri.....	27
Şekil 3.5. Aktif karbondan geçen su	30
Şekil 3.6. Geçirimli yüzeyler ile suyun yönlendirilmesi.....	33
Şekil 3.7. İklim karoları su yönlendirme şeması.....	34
Şekil 3.8. Yönlendirme arkları.....	35
Şekil 3.9. Hendek sistemi.....	35
Şekil 3.10. Araç yolu kenarında drenaj hattı.....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 3.11. Süzdürme çanağı.....	36
Şekil 4.1. Konut tipine göre yıllık su tüketimi (m ³).....	42
Şekil 4.2. Dördüncü Levend k tipi evler, İstanbul	43
Şekil 4.3. Bağımsız ev planında örnek sarnıç yerleşimi	44
Şekil 4.4. Ayırık ve ikiz ev planlaması	45
Şekil 4.5. Bahçeşehir K konutları planları	45
Şekil 4.6. İkiz ev planında örnek sarnıç yerleşimi	46
Şekil 4.7. Konut birimi cephesi serbestlik alternatifleri	47
Şekil 4.8. Blokların tarihsel gelişimi.....	47
Şekil 4.9. Nokta blok tipleri	48
Şekil 4.10. Duvar blok tipleri.....	49
Şekil 4.11. Parçalı blok tipleri.....	49
Şekil 4.12. Sıra evler yönlendirme biçimleri	50
Şekil 4.13. Sıra evlerin alternatif dizilimleri.....	51
Şekil 4.14. Kentsel nüfus artışı	51
Şekil 5.1. El Cezeri'nin makinelerinde kullandığı dişliler.....	60
Şekil 5.2. Denge kefesinin Cezeri'ye ait el çizimi	60
Şekil 5.3. El Cezeri denge kefesi modeli	61
Şekil 5.4. Krank mili ile çalışan su kepçesi modeli	61
Şekil 5.5. Tek başlıklı kefeli fiskiye	62
Şekil 5.6. Tek başlıklı şamandıralı fiskiye Cezeri'ye ait el çizimi	62
Şekil 5.7. Tek başlıklı şamandıralı fiskiye modeli.....	63
Şekil 5.8. Tek başlıklı şamandıralı fiskiye.....	63
Şekil 5.9. Tek kepçeli su yükseltme düzeneği Cezeri'ye ait el çizimi.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. Tek kepçeli su yükseltme düzeneği çalışma modeli.....	65
Şekil 5.11. Dört kepçeli su yükseltme düzeneği Cezeri'ye ait el çizimi.....	65
Şekil 5.12. Dört kepçeli su yükseltme düzeneği çalışma modeli.....	66
Şekil 5.13. Dört kepçeli su yükseltme düzeneği faz oluşturmada kullanılan segment dişliler	66
Şekil 5.14. Dört kepçeli su yükseltme düzeneği faz oluşturmada kullanılan segment dişliler	66
Şekil 5.15. Kranklı su yükseltme kepçesi Cezeri'ye ait el çizimi.....	68
Şekil 5.16. Kranklı su yükseltme kepçesi çalışma şekli	68
Şekil 5.17. Worthington pompası veya çift etkili pompa	68
Şekil 5.18. Çift etkili su yükseltme pompası Cezeri'ye ait el çizimi	69
Şekil 5.19. Çift etkili su yükseltme pompası	69
Şekil 6.1. Düşey eksenli rüzgar gülü çeşitleri.....	73
Şekil 6.2. Yatay eksenli rüzgar türbini.....	74
Şekil 6.3. El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sistem elemanları çizimi	76
Şekil 6.4. El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sistemi, sarnıç detay çizimi	77
Şekil 6.5. El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sistem çizimi	78
Şekil 6.6. El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sisteminin konut kesiti üzerinde dağıtımı	80
Şekil 6.7. Rüzgar gülü ve yağmur hasadı şeması.....	82
Şekil 6.8. Yağmur suyu toplama şeması.....	83
Şekil 6.9. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe Mahallesi kentsel dönüşüm projesi çatı alanları.....	85
Şekil 6.10. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe Mahallesi kentsel dönüşüm projesi sert zeminler.....	86

Şekil	Sayfa
Şekil 6.11. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe Mahallesi kentsel dönüşüm projesi yeşil alanlar	86
Şekil 6.12. Meteoroloji verilerine göre Ankara'nın mevsim normalleri toplam yağış miktarı.....	87
Şekil 6.13. Meteoroloji verilerine göre Ankara'nın mevsim normalleri yağışlı gün sayısı	88
Şekil 6.14. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe Mahallesi kentsel dönüşüm projesi vaziyet planı	90
Şekil 6.15. Ankara ili bala ilçesi Göztepe Mahallesi kentsel dönüşüm projesi arazi eğimi.....	91
Şekil 6.16. Ankara İli Bala İlçesi Göztepe Mahallesi kentsel dönüşüm projesi vaziyet planında eğim gösterimi	91
Şekil 6.17. Şehir katmanlarına göre rüzgar hareketi.....	92
Şekil 6.18. Ankara'nın hakim rüzgar yönü ve hızı	92
Şekil 6.19. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe mahallesi kentsel dönüşüm projesi vaziyet planı sarnıç ve rüzgar gülü yerleşimi	93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Yol kenarlarında kullanılan oluklu bordür taşı	32
Resim 3.2. Kopenhag iklim karoları uygulaması	33
Resim 3.3. Pont du Gard Su Kemerı, Nımes, Fransa	37
Resim 3.4. Fransa’da bulunan Roma Dönemi sarnıçları	37
Resim 3.5. Peru Nazca’daki sarnıcın taş örgü sistemi	38
Resim 3.6. Bozdoğan Su Kemerı, İstanbul	38
Resim 3.7. Yerebatan Sarnıcı, İstanbul, Türkiye	39
Resim 3.8. Binbirdirek Sarnıcı, İstanbul, Türkiye	40
Resim 3.9. Şerefiye (Theodosius) Sarnıcı, İstanbul, Türkiye	40
Resim 5.1. El Cezeri icatlarının minyatür modelleri	56
Resim 5.2. El Cezeri icatlarının minyatür modelleri	57
Resim 5.3. El Cezeri icatlarının minyatür modelleri, Filli Su Saati	57
Resim 5.4. El Cezeri su yükseltme düzenekleri minyatür modelleri	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

lt	Litre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mm	Milimetre
vb.	ve benzeri

Açıklamalar

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BRICS	Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika
ÇŞB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DSİ	Devlet Su İşleri
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development (Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü)
ROW	Rest of World
TEMA	Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma
TOKİ	Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YHGM	Yönetim Hizmetleri Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Problemin tanımı

Dünya nüfusu hızla artmaya devam ederken her geçen gün gelişen teknoloji, endüstriyel faaliyetlerdeki artış ve sanayileşme sebebiyle üretim ve tüketimin artması, beraberinde enerji talebini de arttırmış ve kaynak kullanımı yoğun bir seviyeye ulaşmıştır. Bilinçsiz tüketim ve buna bağlı olarak üretimin artması, doğada geri dönüştürülemeyen atıkların çoğalmasına ve doğal dengenin bozulmasına sebep olmaktadır. Doğaya bırakılan zararlı atıklar, yeryüzündeki kaynaklarımızın kirlenmesine ve kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Doğal dengenin bozulması, artan enerji talebi ve bilinçsizce kaynak kullanımı, yeryüzündeki doğal enerji kaynaklarımızın hızla tükenmesine sebep olmaktadır.

Yeryüzünde var olan kaynaklarımız sınırlıdır ve günden güne azalmaktadır. İnsanoğlunun bu kaynakları bilinçsizce tüketmesi, gelecekte büyük kıtlık ve su sorunlarına sebep olacaktır. Doğal dengenin bozulması, hava kirliliği, su kaynaklarının kirlenmesi, beraberinde insan ve doğada yaşayan bütün canlıların yaşamını etkilemektedir. Bu durumda birincil öncelik insanların sürdürülebilir yaşam konusunda bilinçlendirilmesi ve bu alanda adımlar atılmasını sağlamaktır. İnsanlar doğanın ve yaşamın değerini anladıklarında, doğa doğal döngüsüne devam edecek ve bize kaynaklarını sunmaya devam edecektir.

Doğal kaynaklarımızın giderek tükenmesi, insanları yenilenebilir kaynak kullanımını artırmak ve sürdürülebilir yaşama geçmek için alternatif yollar aramaya itmiştir. Hayatımızın üretim, tüketim gibi her alanında sürdürülebilirlik tartışılmaya başlanmış, bu anlamda çeşitli adımlar atılmıştır. İnsanoğlunun sürdürülebilir yaşam bilincini kazandıktan sonra doğaya verdiği değeri arttırması, üretirken ve tüketirken sürdürülebilir malzemelere öncelik vermesi, kaynak tüketiminin büyük ölçüde azalmasını sağlayacak ve doğanın kendini yenilemesine fırsat tanıyacaktır.

Sürdürülebilir mimari, yapıların tasarım, inşaat ve kullanım süreçlerinde çevresel ve ekolojik etkilere duyarlı bir yaklaşımı ifade eder. Bu anlayış, yapıların çevreye en az zarar veren, enerjiyi, suyu, malzemeyi ve alanı etkili bir şekilde kullanan, aynı zamanda kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayan yapılar olarak ortaya çıkmasını amaçlar. Sürdürülebilir yapılar, iç mekan kalitesini artırırken aynı zamanda kullanıcıların sağlığını ve konforunu korur ve geliştirir.

Sürdürülebilirlik, yapıların yapım aşamasından yıkımına kadar tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir süreçtir. Bu nedenle malzeme seçimi, enerji verimliliği, atık yönetimi ve geri dönüşüm gibi faktörler büyük bir öneme sahiptir. Sürdürülebilir binalar, doğal kaynakları korur, enerji tasarrufu sağlar ve karbon ayak izini minimize eder. Yapıların daha az enerji tüketmesi için tasarım ve teknolojileri kullanır, geri dönüşümlü ve çevre dostu malzemeleri tercih eder ve doğal enerji kaynaklarından yararlanır. Bu, çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur ve gezegenimize daha az zarar veren bir yapılaşma biçimini teşvik eder.

Kullanıcı konforunu ele alan mimari tasarımlarda ısıtma ve soğutma sistemleri için büyük miktarda enerji harcanmaktadır. Özellikle soğutma sistemleri için harcanan elektrik enerjisi miktarının çok yüksek seviyelerde olduğu bilinmektedir. Mimarlık alanında geliştirilen sürdürülebilir yaklaşımlara bakıldığında, ısıtma ve soğutma için geliştirilen çift kabuk sistemleri, hareketli güneş kırıcı paneller, trombe duvarı sistemleri, ısı koruyuculuğu fazla olan malzemelerin tasarımın bütününe entegre edilmesi gibi tasarımlar, özellikle soğutma açısından harcanan enerjinin büyük oranda azalmasını sağlayacaktır.

Yapıların bulunduğu bölgenin iklimsel ve coğrafi koşullarına göre tasarlanması ve konumlandırılması da enerji korunumunu esas alan mimari tasarımlar kapsamında yapılacak en önemli adımlardan biridir. Güneşten sağlanan ısıнын en iyi şekilde değerlendirilmesi için mimari planlamanın güneş açısına göre yerleştirilmesi, cephe açıklıkları ve kullanılan malzemeler açısından doğru cephe tasarımı, ısıtma ve soğutma alanında harcanan enerji miktarını büyük ölçüde azaltacaktır.

Bu tasarım sistemlerine ek olarak güneş enerjisinden enerji eldesinde kullanılan fotovoltaik paneller, yapıların kendi enerjisini üretmesinde en çok kullanılan sistemlerden biridir. Bu sistemler, bölgesel koşullara göre bina çatılarına, geniş arazilere ve son zamanlarda kullanımı geliştirilen otobüs duraklarına yerleştirilerek güneşten büyük oranda enerji kazanılmasına olanak sağlamaktadır.

Her canlının yaşamının en temelinde bulunan su da korunması gereken en önemli kaynaklardandır. Suyun her bir damlasının yaşamımızdaki değeri çok büyüktür. Bu sebeple su kaynaklarının korunmasını sağlamak canlıların yaşam döngüsünü sağlamak için en önemli adımlardan biridir.

Sanayi sektörünün gelişmesiyle su kullanım miktarının ve endüstriyel atıkların su kaynaklarına verdiği zararın artması, gittikçe artan ve önlenemez bir kaynak tüketimine

sebeptir. Yine insanların ve teknolojinin sebep olduğu bozulan iklimsel döngüler, küresel ısınma ve yağış düzensizlikleri gibi etkenler suyun yenilenebilir döngüsünü büyük ölçüde etkilemiştir. Su kullanım miktarının, yenilenebilir su döngüsünün önüne geçmesiyle, doğal su kaynakları hızla tükenmeye başlamıştır.

Son yıllarda dünya genelinde yaşanan salgın hastalıklar sebebiyle hijyene verilen önem artmış ve bu durum evsel su kullanım oranlarını büyük ölçüde etkilemiştir. Bunun yanında tarım sektöründe kullanılan su miktarı da oldukça fazladır. Yanlış sulama teknikleri, tarımda fazla su tüketiminin en önemli sebeplerinden biridir.

Araştırmanın amacı

Günden güne artan nüfus, gelişen sanayi sektörü ve artan endüstriyel faaliyetler sebebiyle kaynak tüketiminin hızla artması ve kaynakların hızla tükenmesi, sürdürülebilir kaynakların devamlılığını sağlayacak alternatif sistemler üretmeyi gerektirmektedir.

Su kaynak tüketimini azaltma yolunda gri suyun ve yağmur suyunun tekrar kullanılabilmesi için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler, kaynak tüketiminin büyük oranda önüne geçmesine rağmen yatırım ve bakım maliyetlerinin göze alınmaması, bu sistemlerin yeterince kullanılmamasına sebep olmaktadır. Oysaki bu maliyetler, doğanın ve yaşamımızın sürdürülebilir geleceği açısından göze alınması gereken küçük teferruat ve fedakarlıklar olarak ele alınmalıdır.

Bu çalışmada, sürdürülebilir kaynak tüketimi anlamında enerji korunumunu hedefleyen ve kendi kendine yetebilen tasarımlar üretmek amaçlanmıştır.

Kapsam

Bu tez çalışmasında, sürdürülebilir kaynak tüketimi yöntemlerinden evsel kullanım ve sulama suyu eldesinde kendine yeten sistemler ele alınmıştır.

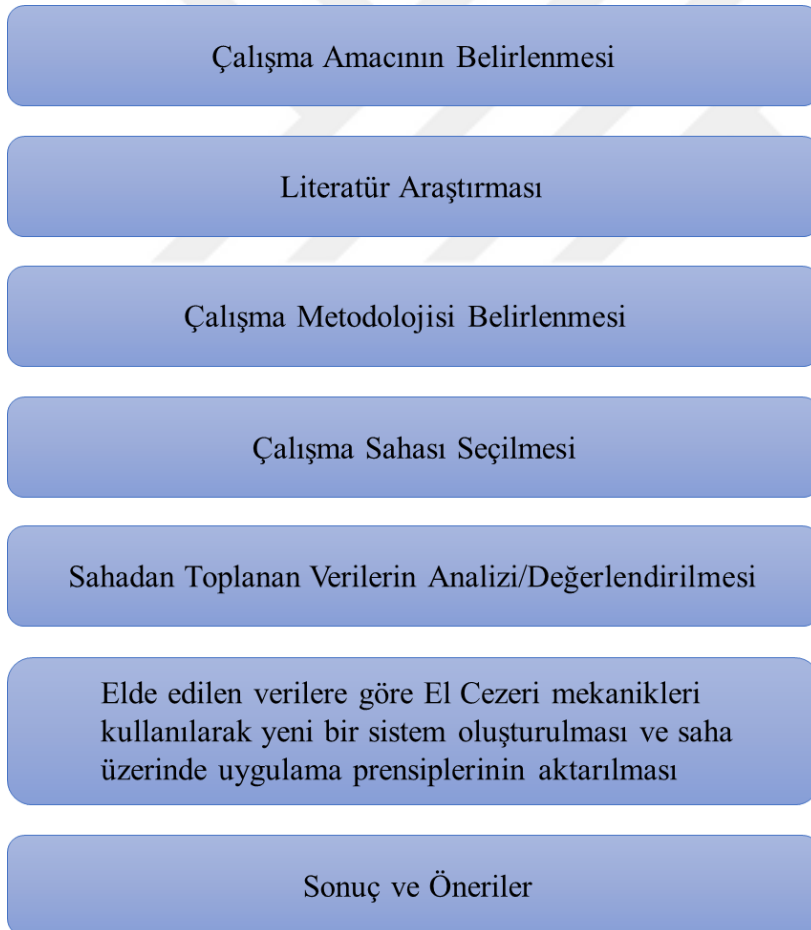
Sürdürülebilir kaynak yönetiminde, su korunumu için ele alınabilecek en faydalı yöntemlerden biri yağmur suyunun toplanarak tekrar kullanımını sağlamaktır. Yağmur suyunun özellikle tarımsal sulama amaçlı kullanılması, doğal su kaynaklarının tüketilmesini engellemek için büyük bir adım olacaktır.

Yöntem

Bu tez çalışmasında, kendi enerjisini kendi üretebilen sıfır enerjili tasarımlar için yapılan çalışmalara örnek olabilecek bir sistem üretilmiştir. Yağmur hasadı yöntemlerine ek olarak El Cezeri mekanikleri kullanılarak tasarlanan sıfır enerjili bir yağmur suyu toplama sistemi önerilmiştir. Ancak bu yöntem makine mühendisliği gibi diğer disiplinlerin katkıları ile geliştirilebilir görülmektedir.

El Cezeri mekanikleriyle çalışan rüzgâr gülü sisteminde, yağmur suyunun toplanarak evsel tüketimde ve bahçe sulama alanında elektrik enerjisine ihtiyaç duymadan tekrar kullanılmasını sağlayan sıfır enerjili bir tasarım üretmek hedeflenmiştir.

Bu araştırma çerçevesinde sırasıyla Şekil 1.1.'de verilen adımlar izlenmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma şeması

Literatür araştırması

Bu bölümde, literatürde sürdürülebilir su yönetimi ile ilgili yayınlanan tez ve makale çalışmalarından ulaşılan bilgilere yer verilmiştir. Literatürde “yağmur hasadı, yağmur suyu toplama yöntemleri ve sürdürülebilir su korunumu” başlıkları altında yapılan taramada 41 adet yayınlanmış yüksek lisans tez çalışmasına ulaşılmıştır. Bunlara ek olarak, yağmur suyunun kullanımı ve geri dönüştürülmesiyle ilgili yayınlanmış sayısız makale ve yayın bulunmaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında, sürdürülebilir su yönetimi alanında, su kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamak ve atık sulardan ve yağış sularından kullanım suyu elde edebilmek alanında yapılan çalışmalara ulaşılmıştır. Literatürde yağmur hasadı yöntemleriyle ilgili birçok kaynak mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bölümünde sürdürülebilir su yönetimi kapsamında yağmur suyu hasadı uygulamalarına ve hesaplama yöntemlerine değinilmiştir.

Öztürk (2022), Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı’nda yaptığı tez çalışmasıyla konutlarda ve peyzaj alanlarında yapılan yağmur hasadı sistemlerini ve bu alanda yapılan çalışmaları bir literatür araştırmasıyla irdelemiştir. Bunun sonucunda yağmur hasadı sistemlerinin tarım alanlarında oldukça verimli ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu vurgulamak için uygun alan seçimi kriterleri belirleyerek bilgisayar destekli modern karşılaştırma teknikleri ve veri analizleriyle Mersin ili tarım arazileri için yaptığı alan çalışmasıyla desteklemiştir (Öztürk, 2022).

Toyran (2022)’in, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı’nda yaptığı çalışmada, günümüzde yaşanan su sorunları ve yağmur sularının değerlendirilememesi probleminden yola çıkarak, yağmur suyu hesaplama yöntemleriyle İstanbul Büyükçekmece bölgesinde bir alan çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, Büyükçekmece bölgesinde kentsel peyzaj alanlarında ihtiyaç duyulan ve bina çatılarından toplanabilecek yağmur suyu miktarını hesaplayarak bölgenin peyzaj alanındaki su ihtiyacının, yağmur suyu hasadıyla %100 oranında elde edilebileceği sonucuna ulaşmıştır (Toyran, 2022).

Kadı (2022), ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yayınladığı tezinde, alternatif su kaynağı kullanımında yağmur suyunu incelemiş, yağmur suyu toplama yöntemlerinden bahsetmiştir. ODTÜ yerleşkesinde yaptığı alan çalışmasıyla,

blokların çatı yüzeylerinden toplanabilecek yağmur suyu hesabını yapmıştır. İdari personeller, akademik personeller ve öğrencilerin tuvalet temizliğinde kullandığı su miktarı, kişi sayısına göre hesaplanmış ve toplanan yağmur suyunun tuvaletlerde kullanılması durumundaki verimliliği analiz edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, alan çalışmasıyla kurgulanan yağmur suyu sisteminin detaylı maliyet analizi ile performans verimliliği kıyaslaması yapmıştır (Kadı, 2022).

Khudhair (2020), Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yayınlanan tezinde, yağmur suyu toplama sistemlerinde dikkat edilmesi gereken coğrafi kriterlerin belirlenmesinde geliştirilen uygunluk modelini kullanarak sistemin kurulması planlanan alanın yağmur suyu toplama sistemi açısından verimlilik hesabını yapmıştır. Bu çalışmada, Coğrafi Bilgiler Sistemi üzerinden ulaşılan veriler yardımıyla, kurak bölgelerde daha etkili ve düşük maliyetli bir yağmur hasadı süreci oluşturulması amaçlanmıştır. Bölgenin Coğrafi Bilgiler Sistemi'nde yer alan arazi eğimi, toprak türü, yağış koşulları gibi ulaşılabilir verileri kullanılarak Irak'ın El Muhammadi vadisi üzerinde örnek bir alan çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, bölgenin yağmur suyu toplamak için elverişli ve elverişsiz olan alanları belirlenmiştir (Khudhair, 2020).

Uygun (2019), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik ve Su Kaynakları Programı'nda yaptığı tez çalışmasında, İstanbul'da mevcut olan yağmur suyu toplama sistemlerindeki hataları incelemiş, yaptığı analizler ve bilgisayar destekli çalışmalarla Almanya ve Türkiye'nin yağış ve bölgesel koşullarını karşılaştırarak sistemde olumsuzluğa neden olan etkenlerin araştırmasını yapmıştır. Bu çalışma sonucunda, sadece yağmur suyu toplama sisteminin yeterli olmadığı, geçirimsiz alanların azaltılması gerektiği ve yağmur suyu sistemleri konumlandırırken arazi koşullarının dikkate alınması gerektiğine değinilmiştir (Uygun, 2020).

Geben (2023), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yayınladığı tezinde, sanayi bölgelerinde kullanılan su miktarının oldukça fazla olmasını ve bunun için alternatif bir su kaynağı olan yağmur suyunun kullanılmasını önermiştir. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir seramik işletmesinde yaptığı alan çalışmasıyla, çatıdan ve zeminden hasat edilebilecek yağmur suyu miktarını hesaplamış ve kurulacak yağmur suyu sisteminde kullanılacak malzeme ve ekipman maliyetlerinin analizini yaparak geri ödeme süresinin 6 yıldan daha az olduğunu tespit etmiştir (Geben, 2023).

Aslan (2019), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda yayınlamış olduğu tezinde, doğada var olan bütün canlıların ihtiyacı olan suyu elde edebilmek için geliştirdiği yöntemlerin bina tasarımlarına aktarılmasıyla kendi suyunu kendi üreten sürdürülebilir binalar üretmenin mümkün olup olmadığını araştırmak üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu bağlamda doğada kendi suyunu elde etmeyi başaran canlılar ve çeşitli biyomimetrik yapı tasarımları incelenmiştir. Bu çalışmayla, binalarda biyomimetrik yaklaşımlarla yağmur hasadı yöntemleri geliştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Aslan, 2019).

Sözer (2018)'in İzmir Ekonomi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda yayınlanan tezinde, geçmişten günümüze kadar yapılan su hasadı teknikleri incelenmiş ve bu tekniklerden yağmur hasadı üzerine detaylı bir araştırma yapılmıştır. Yağmur hasadı sistemlerinin mimari tasarımlarla ilişkisi araştırılmış ve mimari form ile yağmur hasadı ilişkisini geliştirmek ve modernleştirmek üzerine tartışmalara yer verilmiştir. Yağmur hasadının mimari uygulama formlarında yer edinebileceği vurgulanarak bir farkındalık oluşturmak amaçlanmıştır (Sözer, 2018).

Börü (2022), İzmir Ekonomi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda yaptığı tez çalışmasında, alternatif su kaynağı olarak yağmur suyu toplama sistemlerini incelemiş ve toplama, depolama ve kullanım süreçlerinde detaylı bir maliyet analizi yaparak olumlu ve olumsuz yönlerini ele almıştır. Yağmur suyu hasadının ekolojik dengeyi bozabileceği ihtimaline karşı gerekmedikçe kullanılmaması gerektiğine değinilmiştir (Börü, 2022).

Şimşek (2023), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı'nda yayınlanan tez çalışmasında yağmur suyu hasadı yöntemlerinin peyzaj alanında kullanılmasıyla ilgili bir araştırma yapmış, bu araştırmayı Erzurum ilinin kent merkezinde seçilen bir peyzaj alanında uygulamaya geçirerek bir yağmur hasadı sistemi kurmuştur. Bu sistemde, çevre binalardan hasat edilen yağmur suyunun oluşturulan deneme alanına aktararak kullanılması sağlanmıştır. Oluşturulan peyzaj alanında, nemi uzun süre bünyesinde barındırabilen bitkiler seçilmiş, böylece peyzaj alanlarında ihtiyaç duyulan sulama suyu ihtiyacının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Çatıdan toplanan yağmur suyunun depoda toplanılarak, doğal arazi eğimi ile peyzaj alanına ulaştırılması sağlanmış, pompa gibi ek taşıma sistemleri kullanılmamıştır. Böylece kendi kendine yetebilen peyzaj alanları üretilmiştir (Şimşek, 2023).

Değirmenci (2023), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yayınladığı tezinde, artan su ihtiyacına karşı gri suyun ve yağmur suyunun tekrar kullanımına ilişkin bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi'nde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen gri su ve yağmur suyu miktarının gerekli arıtmalardan geçerek, kampüs içerisinde bulunan yeşil alanların sulama suyu ihtiyacında kullanılması amacıyla bir alan çalışması yaparak verilerle araştırmasını desteklemiştir (Değirmenci, 2023).

Ebhomien ve Obarisiagbon (2016), Research Journal of Engineering and Environmental Sciences'ta yaptıkları çalışmada yağmur hasadı yöntemlerinin yağmur suyunun mevsimsel değişkenliği, kullanılan çatı malzemeleri ve estetik kaygılar sebebi ile tercih edilmemesi üzerine bir araştırma sunmuşlardır. Yağmur hasadı sistemleri kullanılırken biçimsel kaygıların azaltılması için çatı formlarının hem yağmur suyu toplamaya uygun hem de daha estetik hale getirilmesi için tasarım önerileri geliştirilmiştir. Ayrıca kullanılan çatı malzemelerinin suyun kalitesi açısından önemini vurgulamış, bunun için malzeme önerileri sunmuşlardır (Ebhomien ve Obarisiagbon, 2016).

Üstün, Can ve Küçük (2020) tarafından Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi'nde yayınlanan çalışmada, yağmur suyu hasadı bileşen ve hesaplama yöntemleri literatürde bulunan kaynaklardan derleme yapılarak incelenmiştir. Yağmur suyu hesaplamaları yapılırken dikkate alınacak bölgesel veriler ve malzeme değerleri hakkında bilgi verilmiştir (Üstün ve diğerleri, 2020).

Şahin (2010), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapmış olduğu tez çalışmasında, dünya genelinde mevcut su potansiyeli incelenerek yaşanan su kıtlığı sorunlarına değinmiştir. Buna bağlı olarak kullanılabilecek su korunumu yöntemlerinden bahsedilmiş, günümüzde kullanılan ve kullanılması önerilen teknikler hakkında bilgilere yer verilmiştir ve bu konudaki yönetmelikler incelenmiştir. Yeşil bina sistemlerinde su korunumuna ilişkin koşullara değinilmiştir, dünyadan ve Türkiye'den örneklerle desteklenmiştir. Araştırma sonucunda, binalarda su korunumu yöntemleri sürecinde ele alınacak parametreler, yurtdışında kullanılan sistemler referans alınarak belirlenerek Türkiye'de kullanılacak yerel bir sertifika değerlendirmesi hazırlanmıştır (Şahin, 2010).

Şahin ve Manioğlu'nun 2011 yılında X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresinde yayınladığı bildiride, binalarda yağmur suyu hasadı yöntemleri araştırılmış, bina içinde ve dışında yağmur suyunun kullanımı örneklerle anlatılmış ve binalarda yağmur suyu

kullanımının Yeşil Bina sistemlerinde nasıl ele alındığı incelenmiştir. Yağmur suyu toplama sistemlerinin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilerek, yağmur suyunun depolandıktan sonra binalara taşınmasına yönelik alternatif yöntemlerden bahsedilmiştir. Aynı zamanda bu deponun şebeke suyundan da beslenmesi önerilerek elektrik kesintisi ve yağmur suyunun depolanamadığı durumlarda şebeke suyunun kullanılması amaçlanmıştır (Şahin ve Manioğlu, 2011).

Sel-Akaydın (2017) tarafından Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan tez çalışmasında, dünyada ve ülkemizde yaşanan su sorunları ele alınarak su korunumu için alternatif bir yöntem olan yağmur suyu kullanımını incelemiştir. Yağmur suyunun konutlarda kullanılmasına yönelik mevcut sistemler, örnekler yardımıyla destekleyerek sunulmuştur (Sel-Akaydın, 2017).

Kılıç-Yalılı ve Abuş (2018), Bursa Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi'nde yayınlanan makalede, yağmur suyunun çatılardan toplanarak konut dışı alanlarda kullanılmasına yönelik araştırmalar yapmıştır. Çalışmada, bir konut örneğinin çatısından hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı bulunarak peyzaj, araç yıkama ve kümes hayvanlarının içme suyu ihtiyacında yağmur suyu hasadı ile karşılanabilecek miktar hesaplanmıştır. Aynı zamanda şebeke suyu ve yağmur suyu sistemi için maliyet analizi yapılarak yağmur suyu sisteminin ekonomik avantajları görülmüştür (Kılıç-Yalılı ve Abuş, 2018).

Kantaroğlu (2009), IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi'nde yayınladığı bildiride, yağmur suyu hasadı yöntemlerini incelemiş, hesaplama prensipleri hakkında bilgi vermiştir. Yapılan çalışmada yağmur suyu toplama sistemi oluşturulması için gerekli koşullar incelenerek, İstanbul'da kurulacak olan bir fabrika binasında toplanabilecek yağmur suyu hesaplaması yapılmıştır (Kantaroğlu, 2009).

Levi (2007)'nin Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yaptığı tez çalışmasında, kentleşmenin etkileriyle çoğalan geçirimsiz yüzeylerin yağış sularının drene edilmesine olan etkilerini araştırmış ve kentsel drenaj yöntemlerini incelemiştir. Çalışmada, Kristianstad Üniversitesi kampüsündeki yağış sularının toplanarak göle aktarılması yerine doğru sistemlerle drene edilerek yer altı sularına karışmasını sağlayan bir yöntem geliştirilmiş ve yağış sularının su kaynaklarına olan olumsuz etkilerinin engellenmesi amaçlanmıştır (Levi, 2007).

Journal of Tropical Forest Science'ta Garcia-Chevesich, Valdés-Pineda ve Pizarro tarafından 2015 yılında yayınlanan makalede, doğanın bir gerçeği ve gerekliliği olan orman yangınlarında, yağmur suyunun kullanılarak yangın söndürme maliyetlerinin azaltılmasıyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. Kontrol edilemeyen yangınlarda helikopterle yapılan müdahalelerde yangınların daha fazla alana yayılması engellenir. Bu nedenle helikopterlerin daha hızlı çalışabilmesi için yakınlarda bulunan doğal bir su kaynağının olması büyük avantaj sağlanacaktır. Çalışmada, yangın oluşmasına yatkın büyük orman alanlarında, belirlenecek bölgelerde yağmur suyu toplanacak bölgeler oluşturularak yangın söndürme işleminin hem daha hızlı hem de oldukça ekonomik olmasının sağlanabileceği savunulmaktadır (Garcia- Chevesich ve diğerleri, 2015).

Sahu, Kumar, R., Kumar, D. (2023), Indian Farming Dergisi'nde yayınlanan makalede, toprağın ve suyun korunması için yağmur suyu hasadı en değerli stratejilerden biri olduğunu savunmaktadır. Sahu, R. ve diğerlerine göre yağmur suyu hasadı erozyonu ve sel felaketlerini önleyerek ekolojik çevrenin korunmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda yeraltı sularını beslemek için de oldukça önemli bir kaynaktır. Nüfusla birlikte tarımsal faaliyetlerin de artmasıyla, tarımda kullanılacak su miktarında ilerleyen yıllarda %53 oranında su artışı olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle kuraklıkla mücadele eden, belirli dönemlerde hayvanlar ve insanlar için içme suyuna erişimin bile oldukça kısıtlı olduğu köylerde hayata geçirilen yağmur suyu hasadı yöntemleriyle, çiftçilerin yağışsız mevsimlerde de suya erişimi sağlanmıştır. Bihar Kenti'nin Banka Köyü'nde, evlerin bahçelerine kurulan yağmur hasadı sistemleriyle köy halkının güvenilir ve temiz suya erişimi sağlanmıştır (Sahu ve diğerleri, 2023).

Aziz ve diğerleri tarafından Environmental Protection Research Dergisi'nde 2023 yılında yayınlanan makalede, Irak'ta bulunan Erbil kentinin yağmur suyu kalitesinin araştırılması amaçlanmıştır. Belirlenen yağmur suyu kalite parametrelerine göre Erbil şehrinin merkezinde ve çevresinde olmak üzere 21 bölgede yağmur suyu toplanarak incelemesi yapılmıştır. Şehre uzak tepe ve dağlardan alınan örneklerin, şehir merkezine göre daha temiz nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen kriterlere göre toplanan yağmur sularının doğrudan tarımsal sulama, balık üretimi, yüzmeye ve inşaat amacıyla kullanabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Aziz ve diğerleri, 2023).

Zheng ve diğerlerinin (2023), Environmental Research Dergisi'nde yayınlanan makalesinde, tarımsal sulamada yağmur suyu kullanımıyla ilgili bir araştırma yapmıştır. Yağmur suyunun,

su kıtlığıyla mücadele eden bölgelerde tarımsal su kaynağı olarak kullanılması gerektiğini savunarak Karak İlçesi'nde uygun yağmur suyu alanlarının seçilmesi için bilgisayar destekli programlarla tespitler yapılmıştır. Bu çalışmada, seçilen alanların yağmur suyu potansiyelleri belirlenerek veriler sunulmuştur. Yağmur suyunun verimli olarak hasat edilip kullanılabileceği bölgeler belirlenmiş, çeşitli tarımsal uygulamalarla desteklenerek bu bölgelerde yağmur suyunun kullanılmasıyla ilgili teşvik yapılmıştır (Zheng ve diğerleri, 2023).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların büyük bölümünde yağmur hasadı yöntemlerinin alan çalışmalarıyla desteklendiği görülmektedir. Farklı konut türleri, üniversite, sanayi bölgeleri, kuraklıkla mücadele eden köyler, havalimanları gibi çeşitli yapı ve yerleşke türlerinde, yağmur suyu kullanımına ilişkin yapılan alan çalışmalarına ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda, bölgesel iklim ve yağış koşulları incelenerek yağmur hasadı yöntemleri ile toplanabilecek su miktarının hesaplanması için çeşitli formüller ve bilgisayar destekli analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda, bölgesel yağmur suyu potansiyellerinin belirlenmesi için parametreler belirlenmiş ve çeşitli bilgisayar programları yardımıyla belirlenen bölgelerin yağmur hasadı potansiyellerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

Evsel, tarımsal ve sanayi olarak ayrılan sektörlerdeki su tüketim oranlarına baktığımızda, tarımsal su kullanımının çok yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu nedenle yağmur suyunun tarımsal alanlarda kullanılarak, tarımda kaynak tüketiminin azaltılmasına ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, kuraklıkla mücadele veren çeşitli köy ve ilçelerde, yağmur suyu hasadı yöntemlerine teşvik etmek ve tarımsal üretim için kaynak kullanımını büyük ölçüde azaltmak amaçlanmıştır.

Yapılan alan çalışmalarında, tasarlanan yağmur suyu toplama sistemlerinin bileşenleri belirlenerek, bu sistemin maliyet analizlerine de yer verilmiştir. Bu analizlerde, depolama maliyeti, elektrik maliyeti gibi parametreler ele alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Tasarlanan yağmur suyu sistemlerinin neredeyse hepsinde elektrik enerjisi ile suyun taşınmasını sağlayan pompa sistemleri kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemler, elektrik kesintisi durumunda çalışmayacak ve alternatif bir güç kaynağına ihtiyaç duyulacaktır.

Literatürde erişilen yağmur hasadı çalışmaları incelendiğinde, depolandıktan sonra oluşturulan iletim hattında aynı sistemlerin kullanıldığı görülmektedir. Elektrikli pompalar kullanılan bu sistemlerde, pompaların kullanım maliyetlerinin yanında bakım ve onarım maliyetleri de dikkate alınmaktadır.

Bu tez çalışmasında mevcut literatür çalışmalarından farklı olarak, sürdürülebilir su yönetimi kapsamında atılan yağmur hasadı adımlarının, su tüketiminin yanında elektrik ve mekanik alanlarında da şebeke elektriği tüketimini engelleyecek tasarımlarla desteklendiği bir çalışma yapılmıştır. El Cezeri mekaniklerinden esinlenilerek; toplanan yağmur suyunun tekrar kullanımını elektrik enerjisi kullanmadan sağlayacak bir yağmur hasadı sistemi geliştirilmiş, çalışma prensipleri çizimlerle desteklenerek anlatılmıştır.



2. DÜNYADA SU SORUNU

Hızla gelişen teknoloji, sanayi sektörünün gelişmesi, küresel iklim değişikliklerine bağlı olarak meydana gelen yağış rejimi düzensizlikleri, son yıllarda artan tüketim çılgınlığı ve dünya genelinde yaşanan salgın hastalıklar sebebiyle hijyene olan önemin artması, su tüketimini büyük bir ölçüde arttırmıştır. Sanayileşme ve endüstriyel faaliyetlerin artmasıyla birlikte zaten kısıtlı olan su kaynaklarının bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi ve kirletilmesi, nüfusa bağlı olarak artan su ihtiyacı mevcut su kaynaklarının korunması için alternatif yöntemler geliştirmeyi gerektirmiştir.

Dünyada ve ülkemizde birçok canlının temel kaynağı sudur. Her alanda suyun bilinçsizce tüketilmesi, kaynakların zamanla tükenmesine sebep olmaktadır. Sanayi bölgelerinde, maddi ve kimyasal atıkların doğal su kaynaklarını kirleterek kullanılamaz hale getirmesi, zaten kısıtlı olan tatlı su kaynaklarımızın tükenmesine sebep olmaktadır.

Dünya genelinde tarım ve sulama için kullanılan su miktarı diğer sektörlerle kıyaslanamayacak kadar çok kaynak tüketimine sebep olmaktadır. Sulu tarımın artması ve bununla beraber yanlış sulama tekniklerinin kullanılması su tüketimini büyük miktarda artırmaktadır. Yağmurlama ve damlama gibi gelişmiş su teknikleri daha az su tüketimini sağlamaktadır. Bu tekniklerin yaygınlaşması, sulama için tüketilen su miktarını büyük ölçüde azaltacaktır.

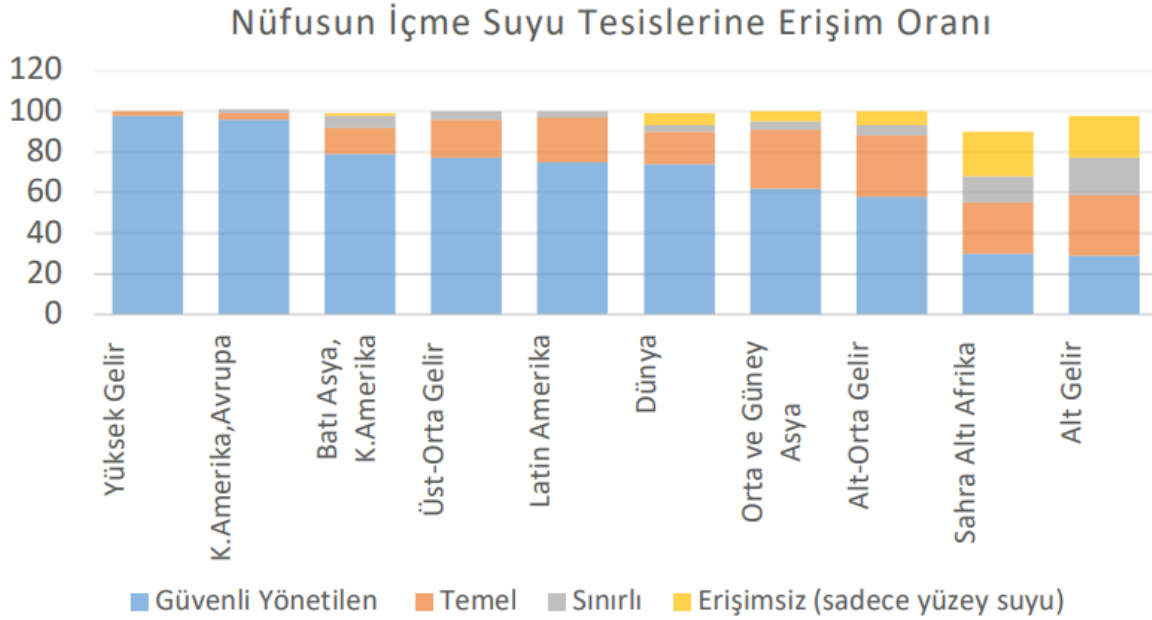
2.1. Su Kullanım İstatistikleri

Dünya Su Komisyonu'nun hazırladığı raporda belirtilen veriler ele alındığında, dünya nüfusunun neredeyse yarısının suya erişim imkanı kısıtlıdır. Suya erişimi oldukça zor olan bu bölgelerde kişisel hijyen sağlanamamakta ve hastalığa sebebiyet vermektedir.

Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi ülkelerin gelişmişlik seviyesine göre nüfusun suya erişim imkanı değişmektedir. Gelişmiş ülkelerde nüfusun neredeyse tamamının içme suyuna erişimi varken, düşük gelirli ve az gelişmiş ülkelerde su yönetimi daha kötü durumdadır. Bu ülkelerde nüfusun yarısından fazlasının içme suyuna erişimi kısıtlıdır.

Kişi başına düşen kişisel kullanım suyu miktarına göre ülkeler, su zengini, su fakiri veya su azlığı olarak sınıflandırılmaktadır. Kişi başına düşen yıllık su miktarı 1000 m³'ten az olan ülkeler su fakiri, 1000-2000 m³ arasında olan ülkeler su azı ve 8000 ile 10000 m³'ten daha

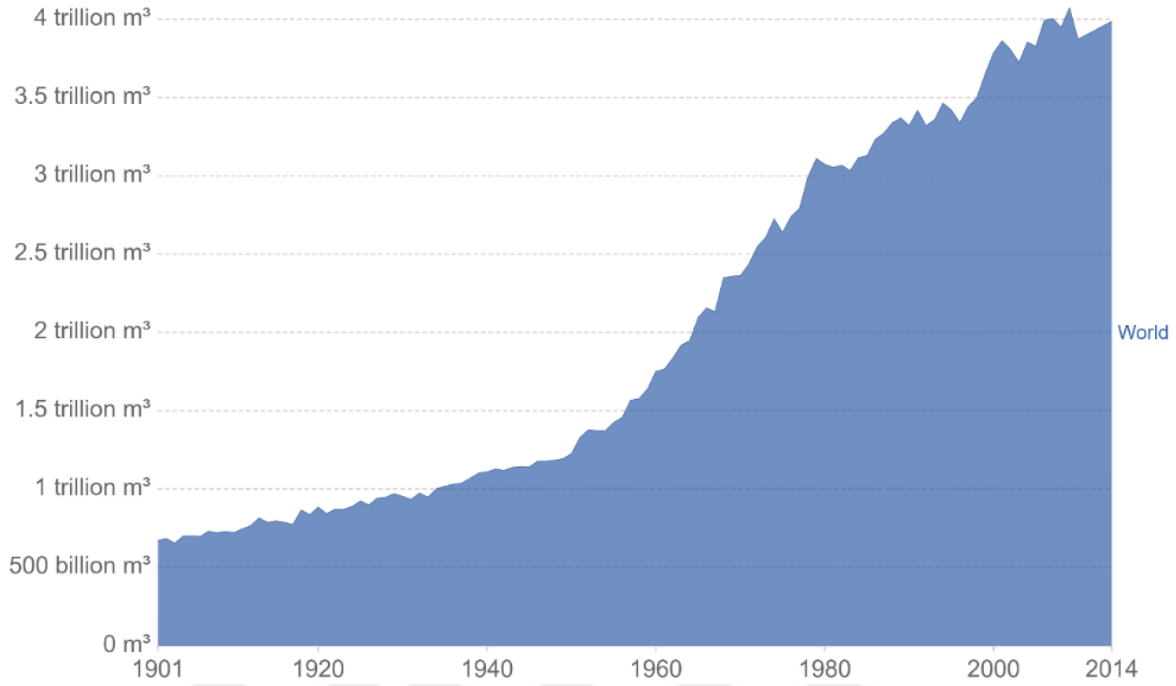
fazla olan ülkeler ise su zengini olarak tanımlanmaktadır. (Türk Tarım ve Orman Dergisi, 2019)



Şekil 2.1. Nüfusun içme suyu tesislerine erişim payı (Grojec, 2017)

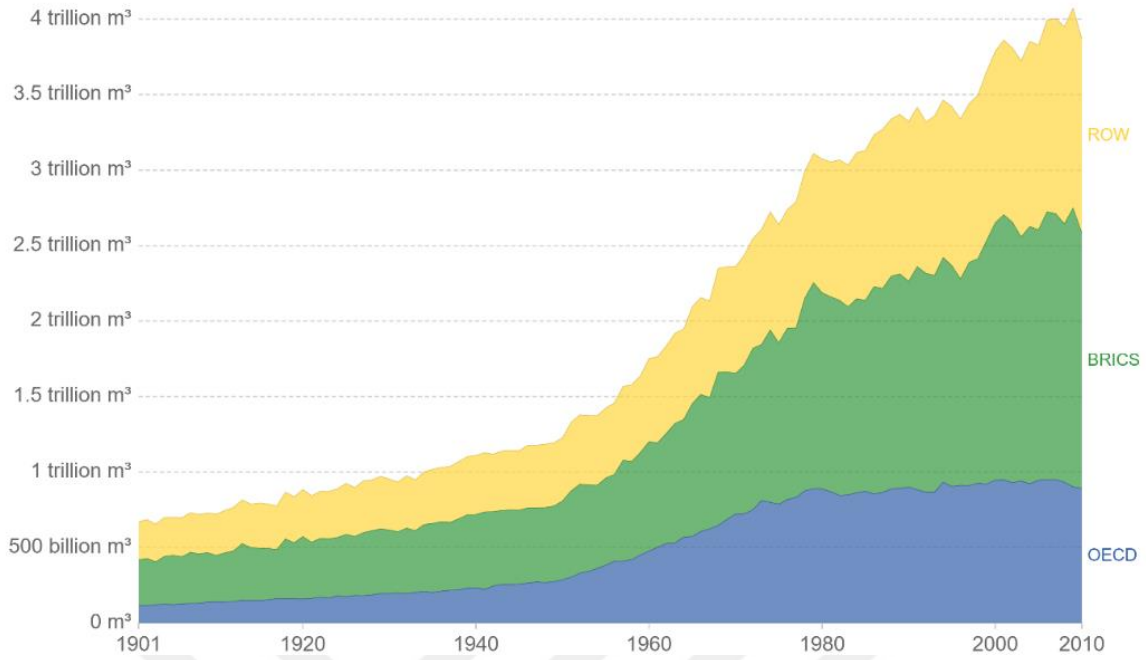
Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nün açıkladığı verilere bakıldığında, ülkemizde yıllık yağış miktarı 642,8 mm olarak tespit edilmiştir. Bu miktar yılda 501 milyar m³ su anlamına gelmektedir. Ancak yüzeysel kayıplar, buharlaşma ve bunun gibi çeşitli sebepler nedeniyle bu miktarın tamamının kullanılması mümkün değildir. Ülkemizde sektörel olarak tüketilebilecek yıllık su miktarı 112 m³ olarak tespit edilmiştir. Fakat ülkemizde bu miktarın yalnızca %39'undan faydalanılabilmektedir (URL-1).

Artan küresel nüfusun etkisiyle, tarım, sanayi ve evsel faaliyetler için tatlı su kullanımının 1900'lü yıllardan bu yana yaklaşık 6 kat arttığı gözlenmektedir. Şekil 2.2.'e göre küresel tatlı su kullanım oranları, 1950'lerden sonra keskin bir şekilde artmış, fakat 2000 yılından bu yana yatay bir seyir izleyerek yavaşlamaya başlamıştır (URL-2).



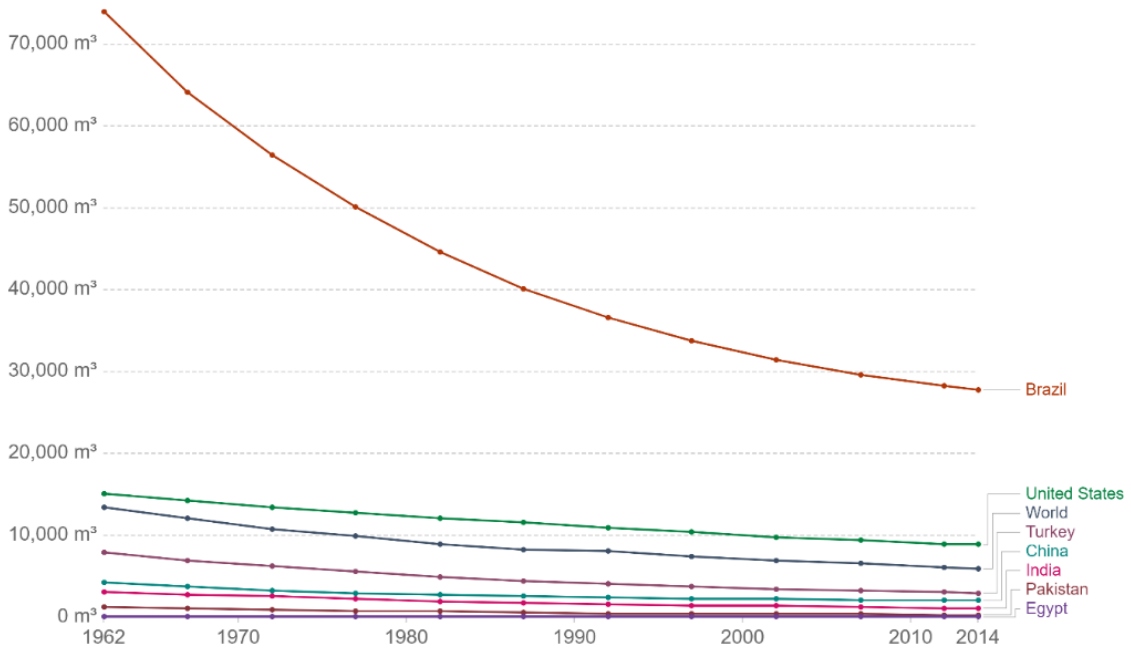
Şekil 2.2. Küresel temiz su kullanımı (URL-2)

Şekil 2.3.'te 1900'den beri küresel tatlı su kullanımının Türkiye, ABD, Avusturya, Kanada, Fransa, Hollanda, Lüksemburg, Almanya, İtalya, İngiltere, Belçika, Danimarka, İrlanda, Yunanistan, İsviçre, İsveç, İspanya, İzlanda, Norveç, Portekiz'in içinde bulunduğu İktisadi İş Birliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD) ülkeleri; BRICS ülkeleri (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) ve Dünyanın geri kalanı (ROW) olarak geniş bölgesel gruplara göre ayrıştırılmış Şekil verilmiştir. Bu verilere baktığımızda, mutlak tatlı su kullanımı günümüzde artış göstermiş olsa da kullanımların bu bölgesel gruplar arasındaki dağılımında, geçen yüzyılda önemli ölçüde bir değişiklik görülmemiştir. OECD ülkeleri yaklaşık yüzde 20-25 kullanırken; BRICS ülkeleri yaklaşık yüzde 45 ile en büyük payı kullanmaktadır. Dünyanın geri kalanında ise kullanım oranı yüzde 30-33 olarak görülmektedir (URL-2).



Şekil 2.3. Bölgesel temiz su kullanımı (URL-2)

Yenilenebilir iç tatlı su akışı, ülkedeki yenilenebilir iç kaynakları yani nehir akışları ve yağıştan kaynaklanan yeraltı suyunu ifade eder. Yenilenebilir iç akışlar bu nedenle su kıtlığının önemli bir göstergesidir. Tatlı su çekme oranları yenilenebilir akışları aşmaya başlarsa, kaynaklar azalmaya başlar. Şekil 2.4.'da bazı dünya ülkelerinin kişi başına yenilenebilir iç tatlı su kaynaklarının seviyesi gösterilmektedir (Ritchie ve Roser, 2015).



Şekil 2.4. Yenilenebilir iç akış kaynak seviyesi (URL-2)

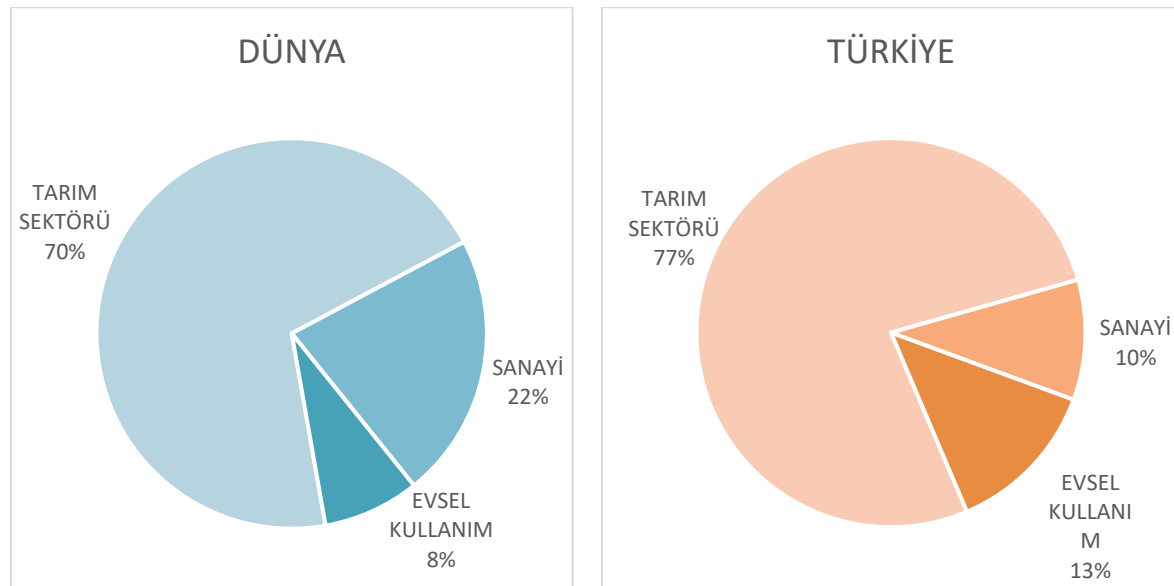
Kişi başına düşen yenilenebilir kaynaklar, yenilenebilir akışların toplam miktarı ve nüfusun büyüklüğü olarak iki faktöre bağlıdır. Yenilenebilir kaynaklar azalırsa -örneğin muson mevsimleri gibi yağışlarda yıllık büyük değişkenliğin olduğu ülkelerde sıkça olabileceği gibi- kişi başına düşen yenilenebilir enerji miktarları da düşecektir. Benzer şekilde, toplam yenilenebilir kaynaklar sabit kalırsa, bir ülkenin nüfusu artıyorsa kişi başına düşen seviyelerde düşüş görülebilir (URL-2).

Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi, nüfus artışının bir sonucu olarak birçok ülkede kişi başına düşen yenilenebilir kaynak miktarları azalmaktadır

2.2. Sektörlere Göre Su Kullanımı

Dünyada ve Türkiye’de su kullanım alanları tarım, sanayi ve evsel kullanım olarak sınıflandırılmaktadır.

DSİ’nin 2019-2023 kalkınma planında belirttiği verilerde dünyada suyun sektörlere göre dağılımı tarımda %70, sanayi ve endüstriyel alanlarda %22 ve evsel kullanım alanında ise %8 olarak belirtilmiştir. Türkiye’de bu kullanımların oranlarına baktığımızda, kullanılabilir su miktarı 57 milyar m³ olarak tespit edilmiş ve bu miktarın %77’lik bölümü tarımda, %10’luk bölümü sanayi sektöründe ve %13’lük bölümünün de evsel kullanımda olduğu belirtilmiştir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018).



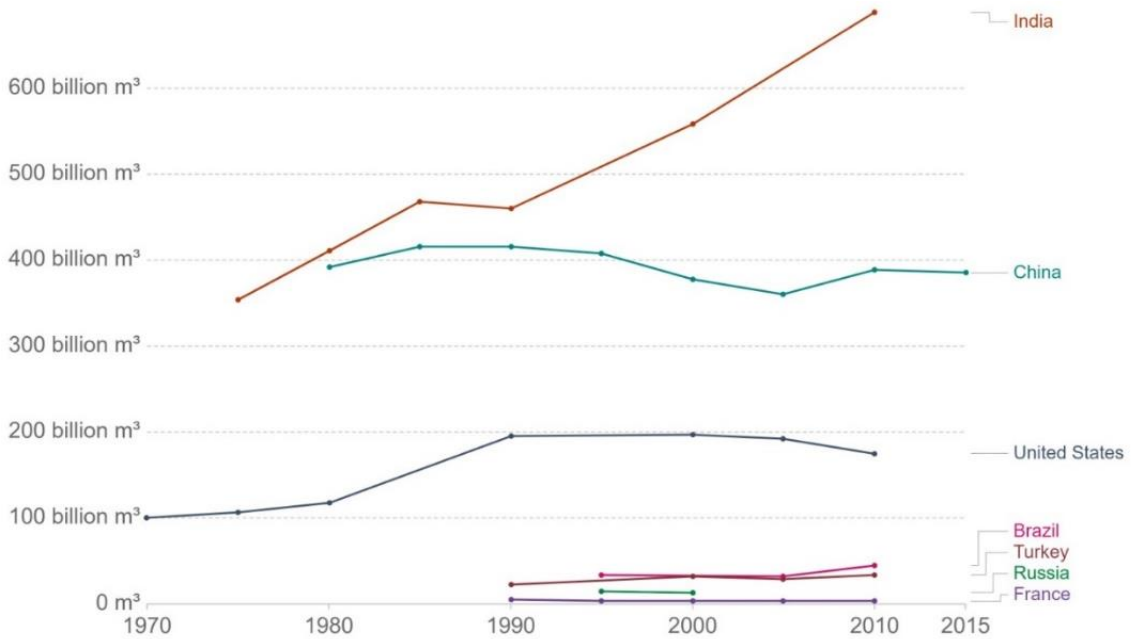
Şekil 2.5. Dünyada ve Türkiye’de sektörel su kullanım dağılımı (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018)

2.2.1. Tarımda su kullanımı

Su, ilk medeniyetlerden beri tarımsal faaliyetler için birincil kaynaktır. Ülkemizde ve dünyada sektörel su kullanım verilerine baktığımızda, en çok su tüketiminin tarımsal faaliyetlerde olduğu görülmektedir. Yanlış sulama teknikleri, bu tüketimin başlıca sebeplerindendir. Türkiye’de sulama yapılırken büyük oranda yüzeysel sulama tekniği kullanılmaktadır. Yüzeysel sulama tekniği, bitkilerin fazla sulanmasına sebep olmakta, bu da bitkiler için zararlı olabilmektedir. Damlama ile sulama tekniğinde ise bitkiler orantılı ve kontrollü olarak sulanır. Bu nedenle en doğru tekniklerden biri damlama ile sulama tekniğidir. Bu teknik sayesinde tarımsal faaliyetlerde tüketilen su miktarı büyük oranda düşürülebilir.

Şekilde gıda mahsulü, çiftlik hayvanları, biyoyakıtlar veya diğer gıda dışı mahsul üretimleri için tarımda kullanılan tatlı su kullanımlarının toplam miktarını gösterilmektedir.

2010 yılında yaklaşık 700 milyar m³ ile Hindistan dünyanın en büyük tarımsal su tüketimine sahip ülkesi olmuştur. Hindistan'ın nüfusunun ve buna paralel olarak gıda talebinin artmaya devam etmesiyle, tarımsal su tüketimi de hızla artmaktadır. Bu artış miktarı 1975 ile 2010 yılları arasında neredeyse ikiye katlanmıştır. Çin yaklaşık 385 Milyar m³ ile dünyanın en büyük ikinci kullanıcı olmuştur.



Şekil 2.6. Tarımsal su kullanımı (URL-2)

Bakir ormanlarda ve insanların erişemediği bölgelerde, bitkilerin tek sulama kaynağı yağmurdur. Bu nedenle tarımsal faaliyetlerde kullanılan şebeke suyu miktarını azaltarak yağmur suyundan maksimum verim sağlanacak sistemler geliştirilmelidir. Doğru sulama şekli ve malzeme seçimi, arazinin doğru kullanımı, sulama için kullanılan su miktarını azaltabilecek yöntemlerdendir.

2.2.2. Endüstriyel su kullanımı

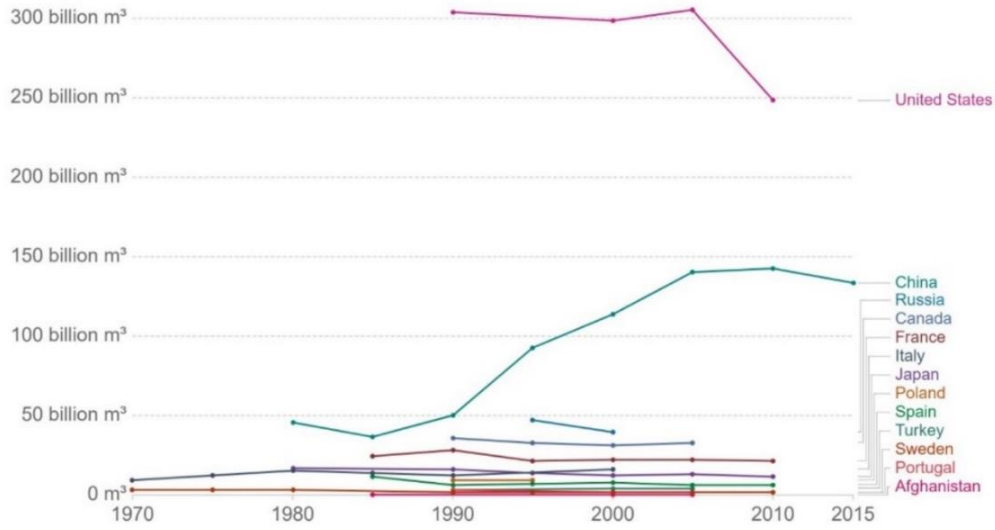
Su, seyreltme, buhar üretimi, yıkama ve imalat ekipmanlarının soğutulması, maden eritme tesisleri, petrol rafinerileri ve kimyasal ürünler, gıda ve kağıt ürünleri üretimi gibi bir dizi endüstriyel uygulama için kullanılır. Gıda, kağıt ve kimyasal üretimi için büyük miktarlarda su kullanılır. Türkiye’de su kullanımının en yoğun olduğu sektörler gıda, demir çelik, tekstil, kağıt ve kimya sanayidir.



Şekil 2.7. Türkiye’de sanayide kullanılan suyun kaynaklardan çekilme oranları (URL-3)

Şekil 2.7.’de, endüstriyel amaçlar için kullanılan toplam yıllık su çekimleri gösterilmektedir. Küresel olarak, Amerika Birleşik Devletleri, yılda 300 milyar m³’den fazla su çeken en büyük endüstriyel su kullanıcısıdır. 140 milyar m³ ile ikinci sırada Çin bulunmaktadır (URL-2).

Dünya genelinde, yüksek gelirli ülkeler sularının yüzde 59’unu endüstriyel kullanım için kullanırken, düşük gelirli ülkeler yüzde 8 oranında endüstriyel su kullanımına sahiptir (URL-2).

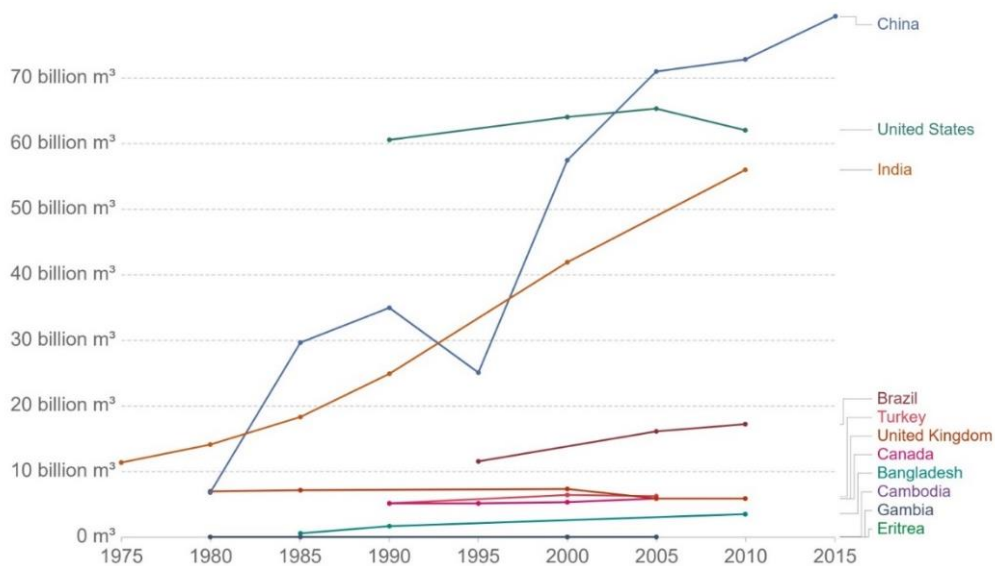


Şekil 2.8. Endüstriyel su kullanımı (URL-2)

2.2.3. Evsel su kullanımı

Evsel su kullanımı, genellikle suyun en görünür şeklidir. İçme, temizlik, yıkama ve yemek pişirmek için kullandığımız su evsel kullanım olarak adlandırılır.

Evsel su çekimleri Şekil 2.9.'da gösterilmektedir. En büyük nüfusa sahip olan Çin'in evsel su talepleri yılda 70 milyar m³'ün üzerindedir. İkinci en büyük nüfusa sahip olan Hindistan, evsel su kullanımı en fazla üçüncü ülkedir. Amerika Birleşik Devletleri, çok daha düşük bir nüfusa sahip olmasına rağmen, kişi başına düşen su talebinin yüksek olması nedeniyle ikinci en büyük kullanıcıdır (URL-2).



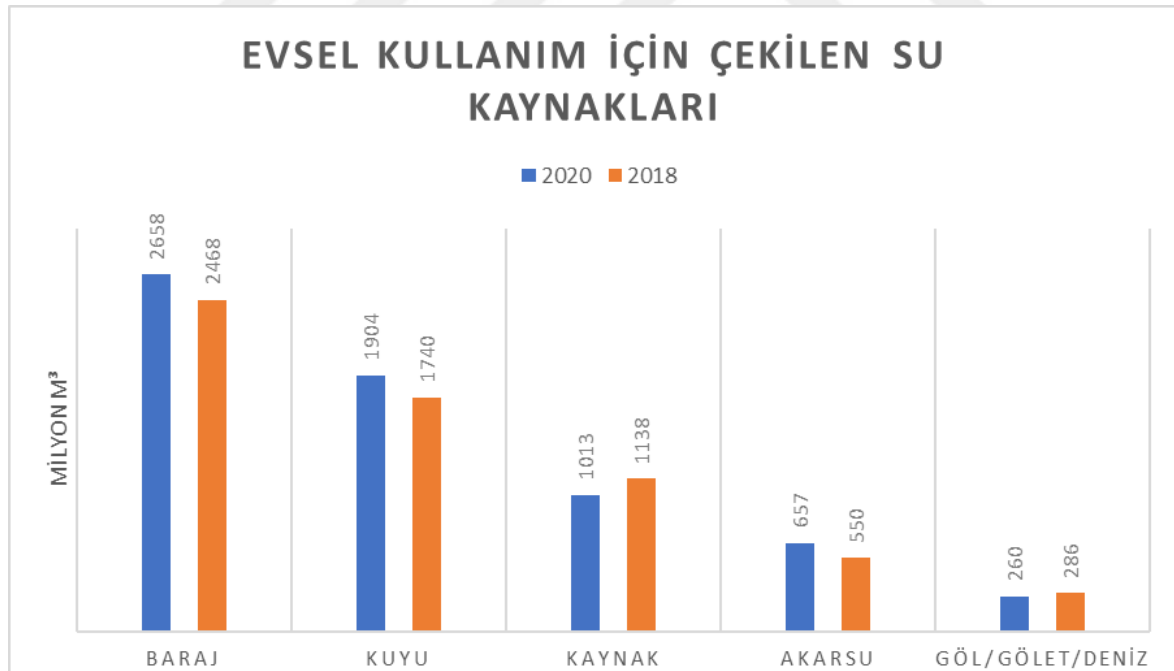
Şekil 2.9. Evsel ve kamusal su kullanımı (URL-2)

İklimsel değışiklikler sebebiyle yaşanan yağış düzensizlikleri kuraklığı da beraberinde getirmektedir. Artan kuraklık ve su tüketimiyle birlikte su kaynaklarının azalmaya başlaması, suyun geri kullanımını kaçınılmaz bir ihtiyaç haline getirmektedir.

Tatlı su kaynaklarındaki kıtlık endişeleri, binalarda su tüketimini azaltan tasarım stratejilerine yönelimi sağlamaktadır. Buna bağılı olarak atık suların ve yağmur suyunun toplanarak yeniden kullanılması için çeşitli sistemler geliştirilmeye başlanmıştır.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun açıkladığı verilere göre evsel kullanım için şebekeden çekilen su miktarı 6,5 milyar m³ olarak belirtilmiştir. Bu miktarın %40,9'luk kısmı barajlardan, %29,3'lük kısmı kuyulardan, %15,6'luk kısmı kaynaklardan, %10,1'i akarsulardan ve %4'lük kısmı ise göl ve denizlerden sağlanmıştır (URL-4).

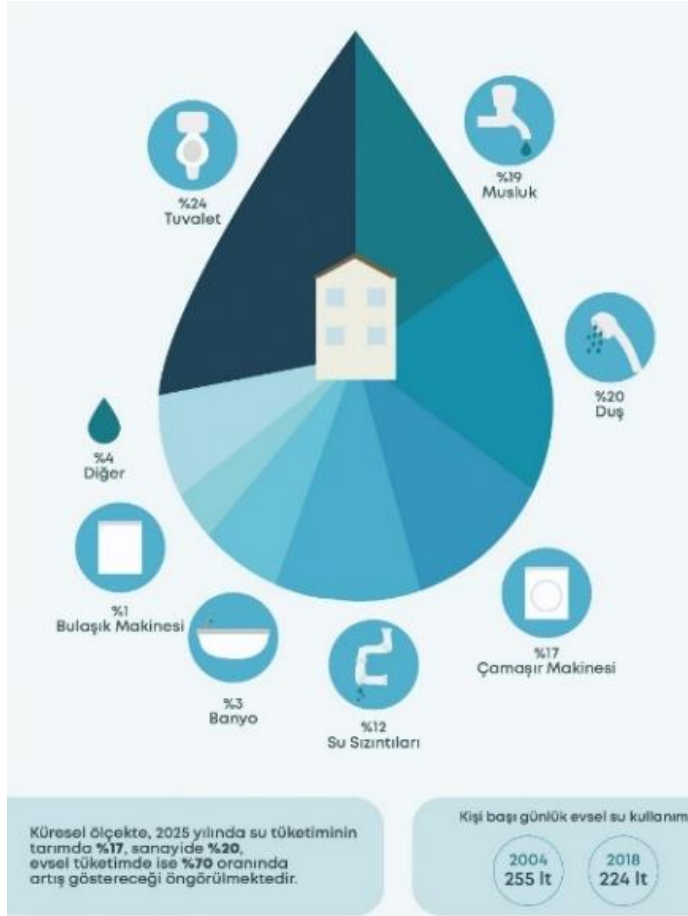
Açıklanan su çekme oranlarının 2018 ve 2020 yıllarında karşılık geldiği miktarlar karşılıklı olarak Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Nüfusun giderek artması, konutların modernleşmesi ve yaşanan COVID 19 salgını sebebiyle 2020 yılında şebekeden kullanılan su miktarlarında, 2018 yılına göre artış olduğu görülmektedir.



Şekil 2.10. Evsel kullanım için şebekeden su çekme oranları belediye su istatistikleri (URL-4)

TÜİK tarafından açıklanan belediye su istatistiklerine göre, Türkiye'de evsel kullanım için şehir şebekesinden kullanılan günlük su miktarı kişi başı 228 litre olarak hesaplanmıştır. Bu

miktarın Ankara’da 246 lt, İzmir’de 221 lt ve İstanbul’da 190 lt olduğu belirtilmiştir (URL-4).



Şekil 2.11. Evsel su kullanım oranları (URL-5)

Evsel su tüketimini azaltmak için geliştirilen tasarruflu musluklar, çift rezervuar kapasiteli klozetler, daha az su tüketen çamaşır ve bulaşık makineleri vb. ürünlerin kullanılması, su tüketimini büyük ölçüde azaltmaktadır.

Şekil 2.11.’de açıklanan Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma [TEMA] Vakfı verilerine bakıldığında, evsel su tüketiminin %24 oranında tuvalet, %19 musluk, %20 duş, %17 çamaşır makinesi, %12 su sızıntıları, %3 banyo ve %1 oranında bulaşık makinesi kullanımında olduğu görülmektedir.

Küresel iklim değişiklikleri, yağış düzensizlikleri ve artan sanayi faktörü, günümüzde su kaynaklarının hızla tükenmeye başlamasına ve ekosistemin bozulmasına yol açmıştır. Artan su kirliliği ve doğal kaynakların giderek yetersiz hale gelmesi, suyun her damlasının insanlık için önemini arttırmıştır. Böylece suyun geri kullanımının gerekliliği doğmuş, bunun için çeşitli sistemler geliştirilmeye başlanmıştır.

3. MİMARLIKTAKİ SU HASADI

Türkiye'nin gelecek yıllarda yağış rejimi değişikliği ve buna bağlı olarak su kaynaklarının azalmasıyla kuraklıkla mücadele edeceği öngörülmektedir. Değişen iklim koşulları göz önüne alındığında, yağmur hasadı ile yağmur suyunun depolanarak birçok amaçla geri kullandırılmasına kazandırılması Türkiye'nin kuraklıkla mücadelesinde etkin bir yol olabilir (Coşgun ve Özdemir, 2017).

Birçok ülkede kırsal alanlarda temiz suya erişim imkânı kısıtlıdır. Mevcut su kaynaklarının kirlenmesi ve azalması, tarım için kullanılan su kaynaklarının yetersiz hale gelmesine sebep olmuştur. Bu durumda kırsal kesimlerde su temini için alternatif su kaynağı olarak yağmur suyu kullanılabilir (Kantaroğlu, 2009).

Ülkemizde her geçen gün artan nüfus, son yıllarda sıkça yaşadığımız deprem, sel gibi doğal afetler kentsel dönüşümü zorunlu hale getirmiş ve buna bağlı olarak toplu konutlarda artış meydana gelmiştir. Kentsel dönüşümün kontrolsüzce yapılması, kentlerin gri ve geçirimsiz yüzeyler haline gelmesine sebebiyet vermiş, yeşil alanlarda büyük ölçüde azalma meydana getirmiştir. Artan yağış sularının geçirimsiz tabakalarda doğal yollarla drene edilememesi taşkınlarla ve sellere sebebiyet vermektedir. Bu nedenle yağmur suyunun doğru bir şekilde toplanarak geri kullanıma kazandırılması, hem erozyon ve sel gibi felaketlerin önüne geçilmesine hem de su kaynaklarımızın daha verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlar.

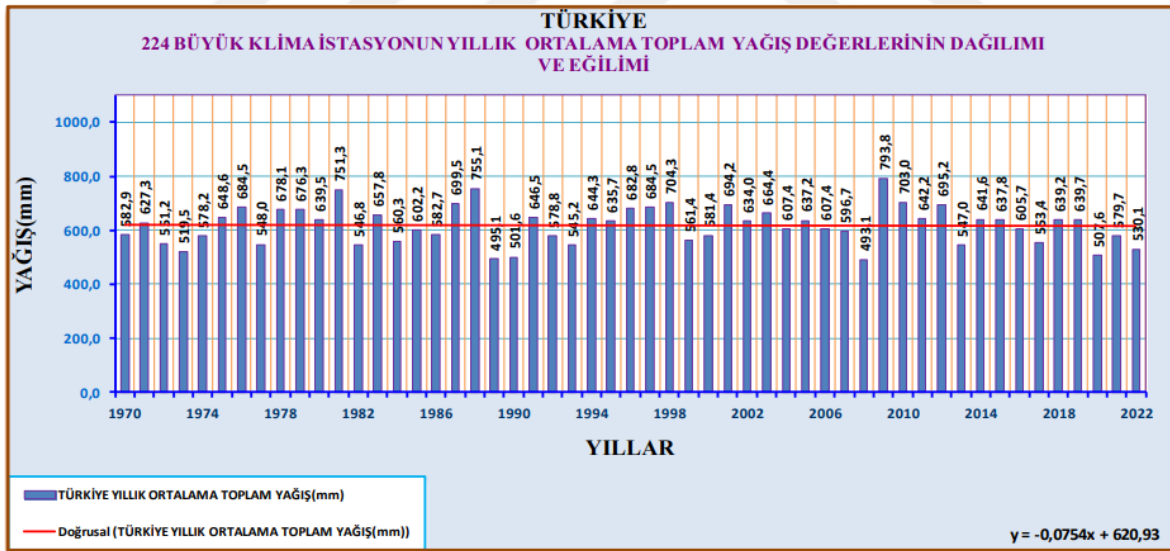
3.1. Yağmur Hasadı Yöntemleri

Yağmur suyu hasadı, yağmur suyunun toplanarak bir depo veya sarnıçta depolanmak üzere taşınmasıdır. Yağmur suyu hasadının ilk yerleşik hayat kuran insanlardan beri var olduğu bilinmektedir. Eski çağlarda insanlar, hayatlarını sürdürebilmek için tarımsal faaliyetlerde bulunmuşlardır. Sulak alanlardan uzak yerde yaşayan toplumların, su taşımak için oldukça çaba harcaması gerekmektedir. Bu nedenle tarım için en verimli kaynak olan yağmur suyunu depolamak için sarnıçlar, su yolları gibi çeşitli yağmur hasadı teknikleri geliştirmişlerdir (Mays ve diğerleri, 2013).

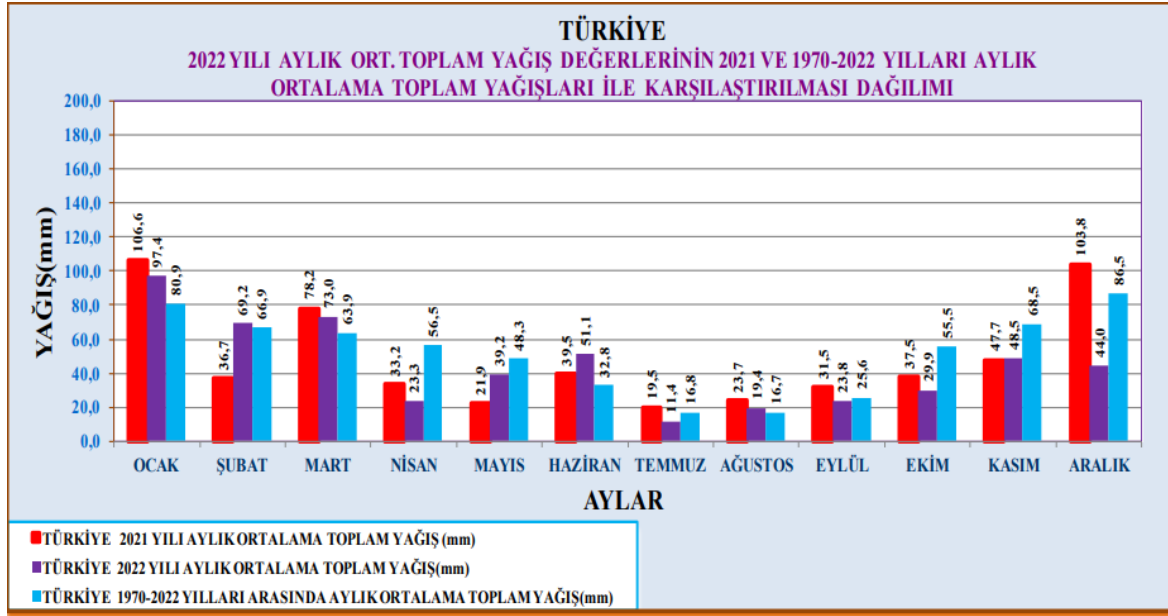
Yağmur suyu hasadı, yaklaşık 4000 yıldır çeşitli medeniyetler tarafından kullanılan yaygın bir teknolojidir. Su hasadı uygulaması, geçmiş zamanlarda genellikle tarımsal sulama ve

içme amaçlı kullanılmıştır. Mısırlılar, günümüzde hala kullanımı süren ve kapasitesi 2000 m³'e kadar ulaşan yağmur suyu depolama tankları inşa etmişlerdir. Tayland'da da 2000 yıl öncesine kadar dayanan yağmur suyu depolama uygulamaları olduğu bilinmektedir. Günümüzde kullanılan yağmur suyu sistemlerine bakıldığında, teknik olarak aynı fakat kullanılan malzemeler ve yapım teknolojilerin farklı olduğu görülmektedir. Birçok ülkede, yağmur suyu depolama sistemleri kullanılmaktadır (Yetik ve Şen, 2020).

Yağmur suyu toplama sistemleri, bulunduğu bölgenin iklim koşulları, yağış rejimi, geleneksel yapı malzemeleri gibi birçok etken göz önünde bulundurularak özel olarak tasarlanmalıdır. Yağmur suyu toplama sistemi tasarlanırken öncelik, su tutma, toplama ve yüzeysel akış alanlarını belirleyerek su kaybını minimum seviyede tutacak bir kurgu oluşturmaktır. Var olan her eleman, su toplama ve iletme aracı olarak tasarlanmalıdır. Sert zeminler tasarlanırken suyun doğru yönlendirilmesi sağlanmalı, yüzeysel akışla kaybolan su en aza indirilmelidir. Yüzeysel akış, düştüğü yüzeyden buharlaşmaya uğramadan, toprak tarafından emilime uğramayan ve bitkilerin tutmadığı, yüzeyden akan su miktarını ifade etmektedir.



Şekil 3.1. Türkiye yıllık toplam yağış verisinin 1970-2020 yılları arasında dağılımı (URL-6)



Şekil 3.2. Türkiye aylık toplam yağış verisinin 2022, 2021 ve 1970-2020 aylık ortalama değerleriyle karşılaştırması (URL-6)

Yağmur suyu hasadında su toplama alanları meydanlar, avlular, caddeler gibi kentsel peyzaj alanları, su akışının ve toplamının kolay olduğu çatılar, baraj ve göl gibi alanlar olarak örnek verilebilir.

Toplanabilecek yağmur suyu miktarı hesaplanırken, yıllık ortalama yağış miktarı ve yağış sıklığı göze alınmalıdır. Yılda kaç gün yağış aldığı, depolanacak yağmur suyunun kaç gün kullanmak için depolanacağını etkileyeceğinden, yağış sıklığı da göz önüne alınarak hesap yapılmalıdır. Özellikle yaz aylarında, yağış sıklığının azaldığı dönemlerde, yağmur suyunun imkan dahilinde tutulabileceği maksimum seviyede tutulması, özellikle sulama için şebekeden çekilecek su miktarını düşürecek, büyük bir tasarruf avantajı sağlayacaktır.

Yağmur suyu, bahçe sulama, dış mekan ve araç yıkama, tuvalet temizliği, çamaşır yıkama suyu ve endüstriyel üretim alanlarında kullanılabilir. Yağmur suyu, sulama maddesi olarak kullanılabilir en verimli kaynaktır. Depolanıp kullanılmak istenildiğinde herhangi bir arıtmaya ihtiyaç duymadan kullanılabilir. Ayrıca depolanıp sarnıçta bekletilen su, bitkiler için ideal sıcaklığa ulaşır (Stanhope, 2012).

Yağmur suyu kalitesi, toplandığı yüzeye göre farklılık gösterir. Depolanmış su basit bir arıtma işleminden geçirilerek bitkisel sulama ve tuvalet kullanımı gibi alanlarda rahatlıkla kullanılabilir. Yağmur suyu genellikle içilebilir kalitede değildir. İçme suyu olarak kullanılabilmesi için daha detaylı bir arıtma işleminden geçmesi gerekmektedir.



Şekil 3.3. Yağmur suyu kullanım alanları (URL-7)

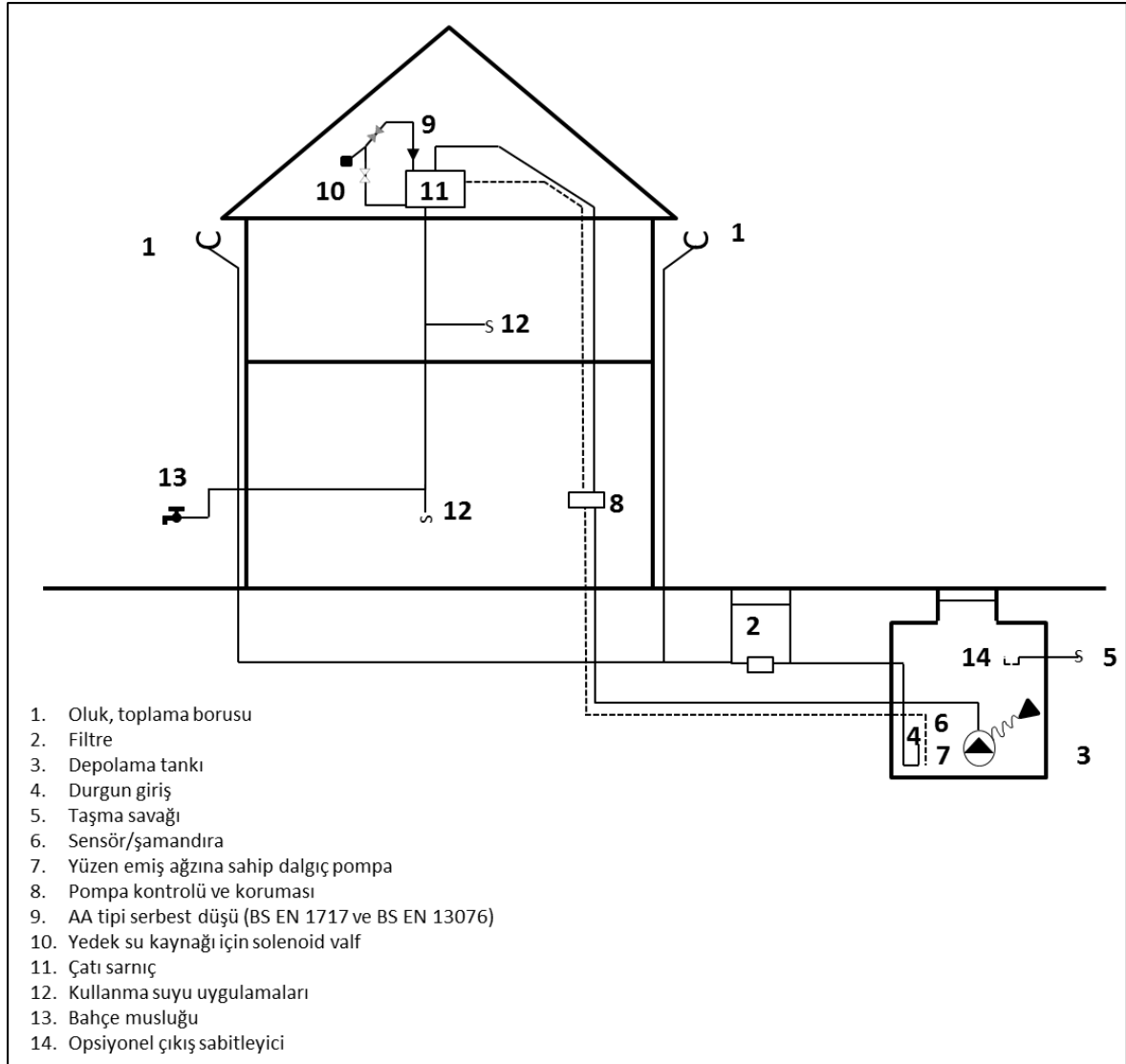
Suyun depolanması için kullanılan yöntemler ise yeraltı ve yer üstünde olmak üzere ikiye ayrılır. Çatı yüzeyinde toplanan yağmur suları, yağmur olukları yardımıyla toprak yüzeyindeki veya yer altındaki bir depoya aktarılaraq burada depolanması sağlanmaktadır. Depolama yapıları toprak altı sarnıçları, betonarme, fiberglas veya paslanmaz çelik kullanılarak üretilmektedir. Bunların yanında havuz, gölet gibi oluşturulan yapay su alanları da yağmur suyunun depolanması için kullanılan yöntemlerdendir.

Yağmur suyunun tutulması hem çevresel hem ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Beşeri faktörlerin de etkisiyle çevre kirliliğinin artması ve oluşan doğal afetler, doğaya ve içerisinde yaşayan canlılara ciddi zararlar vermektedir. Yağmur suyu hasadı, erozyon, sel gibi afetlerin önlenmesinde etkili olmasıyla birlikte; su kirliliğinin azaltılmasına, yer altı suyunun rejenerasyonunun sağlanmasına, daha kaliteli içme suyu ve sulama suyunun elde edilmesine ve toprak verimliliğinin artırılmasına önemli ölçüde katkı sağlar. Tüm canlılar için kaliteli bir yaşam alanı oluşmasını sağlar. Çevresel faydalarının yanında, su kaybının ve afetlerin azalmasıyla oluşacak maliyetlerin de azaltılması ekonomik faydaları arasındadır (Lancaster, 2008).

3.1.1. Yağmur suyu toplama bileşenleri

Yağmur suyu toplama sistemlerinde kapasite hesabı yapılırken, yüzeysel akış ile elde edilecek su miktarını etkileyen birçok faktör vardır. Mevsimsel sıcaklıklar ve yağış miktarı gibi bölgesel iklim koşulları, yağmur suyunun yüzeysel akışla toplandığı ve taşındığı

yüzeylerin cinsi, yüzey eğimleri, suyun ne kadar mesafe taşınacağı ve toplanan suyun kullanım amacı ve kaç gün kullanılmak üzere depolanmak istendiği gibi birçok madde sıralanabilir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan Yağmur Suyu Yönetmeliği Resmi Gazete’de yayınlanmış ve yağmur suyu toplama prensipleri ve hesaplama yöntemleriyle ilgili verilere yer verilmiştir.



Şekil 3.4. Yağmur suyu toplama sistemi bileşenleri (URL-8)

Toplama yüzeyi

Yağmur suyu toplama sistemlerinde, sistemin verimini belirleyen birincil etmen toplama yüzeyleridir. Yağmur suyunun düştüğü ve toplandığı yüzeyin cinsi, su toplama verimini artırmak, su kaybını en aza indirmek ve kaliteli bir kullanım suyu elde etmek için en önemli

etmenlerden biridir. Yağmur suyu düştüğü her yüzeyden aynı miktarda toplanamaz. Her yüzeyin su toplama verimi ve kapasitesi farklıdır. Buna göre su toplama hesabı yapılırken, kaybedilen su miktarını hesaplayabilmek için her yüzey için farklı emniyet katsayıları ele alınır. Örneğim kiremit çatı, metal çatı malzemeleri, asfalt yol, beton yol, kaldırımlar ve yürüme yolları gibi birçok su toplama yüzeyi vardır. Bu yüzeylerden toplanabilecek su miktarını hesaplamak için her yüzey ayrı ayrı ele alınmalıdır.

Çizelge 3.2. Çatı yüzeyinden yağmur suyu toplama verimlilik katsayısı (Üstün ve diğerleri, 2020)

Çatı	e Katsayısı	Kaynak
Çatılar (Genel)	0,7 - 0,9	Pacey ve Cullis (1986)
	0,75 - 0,95	ASCE (1969), McCuen (2004), Singh (1992), TxDOT (2009), Viessman ve Lewis (2003)
	0,85	McCuen (2004), Rahman ve diğ. (2010)
	0,8 - 0,9	Fewkes (2000)
	0,8	Ghisi ve diğ. (2009)
	0,8 - 0,95	Lancaster (2006)
	0,9 - 0,95	Tomas (2009)
Eğimli Çatılar		
Beton/Asfalt	0,9	Lancaster (2006)
Metal	0,95	Lancaster (2006)
	0,81 - 0,84	Liaw ve Tsai (2004)
Alüminyum	0,7	Ward ve diğ. (2010)
Düz Çatılar		
Ziftli/Bitümlü	0,7	Ward ve diğ. (2010)
Çakıl	0,8 - 0,85	Lancaster (2006)
Çimento	0,81	Liaw ve Tsai (2004)

Çizelge 3.1. Arazi türüne göre yüzeysel akış katsayısı (Sevimli, 2021)

Arazi kullanım türü	Yüzeysel Akış Katsayısı	Kaynak
Asfalt yol	0.90	Çalışkan 2007
Beton kaplama	0.90	Çalışkan 2007
Küp taş kaplama	0.70	Anonim 2020c
Orman alanları	0.25	Çalışkan 2007
Ziraat alanları	0,30 (0 15-0 40)	Avcı 1991
Park alanları	0,30 (0 15-0 40)	Avcı 1991
Binalar	0,75	Nicklow ve ark.. 2006

Taşıma sistemi

Toplanan yağmur suyunun depolama alanına ulaşması için çeşitli mimari veya yapısal elemanlarla taşınmasıdır. Yağmur toplama sisteminin verimini belirleyecek diğer bir etmen de taşınma yollarıdır. Yağmur suyu toplama sistemlerinde, yüzeye düşen yağmur suyu çeşitli elemanlar aracılığıyla depoya aktarılır. Bu elemanlara yağmur olukları, çatı iniş boruları, drenaj kanalları, beton oluklar ve buna benzer geçirimsiz zemin malzemeleri olarak örnek verilebilir. Bu sistemde kullanılacak malzemeler de toplama yüzeyinde olduğu gibi çeşitli verim katsayılarına sahiptir. Yüzeylerin sahip olduğu sürtünme ve geçirimsizlik katsayıları, su kayıplarını etkileyecek faktörler arasındadır. Bu nedenle sistemin yüksek verimle çalışması için sadece toplama yüzeylerinde değil, su taşıma kanallarında da su kaybını önleyecek veya en aza indirecek malzemeler kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Detaylı hesaplama yapılmak istendiğinde, taşıma yüzeylerinin sahip olduğu sürtünme katsayıları da ele alınır.

Çizelge 3.3. Malzemeye göre gecikme katsayıları (URL-8)

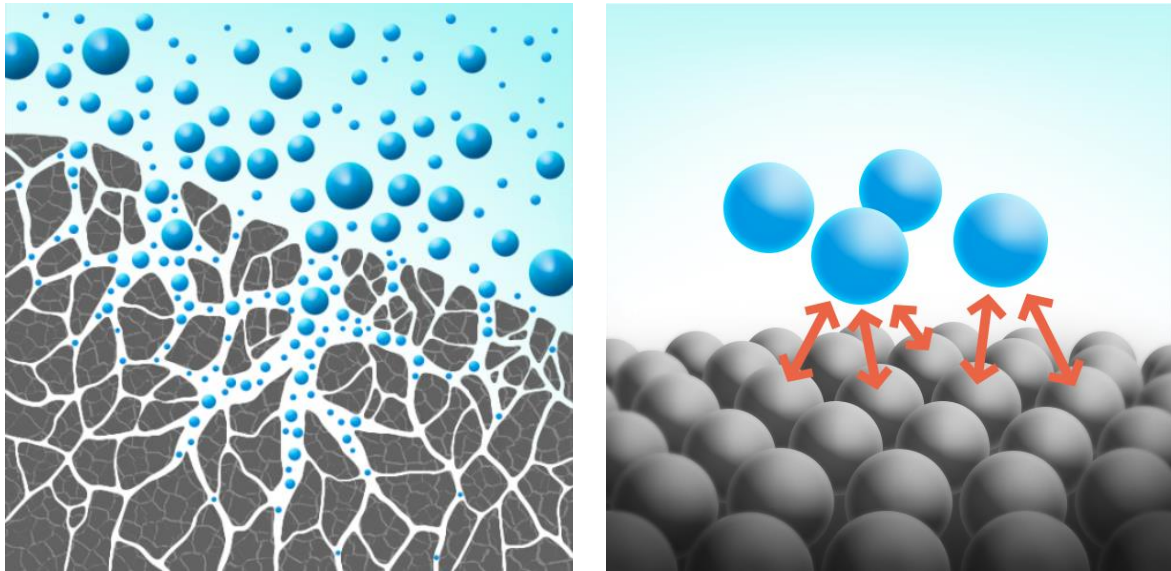
Yüzey şekli	Gecikme katsayısı (C_r)
Pürüzsüz asfalt yüzey	0,007
Beton yollar	0,012
Katran ve çakıl kaplamalar	0,017
Çimenle örtülü alanlar	0,046
Sık çimle kaplı yüzeyler	0,06

Filtreleme/Arıtım

Oluklar, yağmur iniş boruları, drenaj kanalları, yürüme yolları ve kaldırımlar suyun taşınma bileşenlerine örnek verilebilir. Suyun depoya taşınırken ilk olarak sisteme zarar verecek katı malzemelerin filtrelenmesini sağlamak için çeşitli yapı elemanları kullanılmaktadır. Yağmur oluklarına takılan yaprak tutucular, zemin süzgeçlerinde kullanılan ızgaralar, yağmur suyunu toplanırken kullanılan ilk filtreleme elemanlarıdır. Suyun bu elemanlar yardımıyla katı maddelerden arındırılmasıyla su taşıma kanallarının tıkanması önlenerek oluşacak su kayıplarının önüne geçilmesi sağlanır. Çakıl taşları da suyun basit arıtılma işlemi için kullanılabilecek malzemeler arasındadır.

Yağmur suyunun çamaşır yıkama alanında kullanılabilmesi için daha detaylı bir arıtım işleminden geçmesi gerekmektedir. Toplanan suyun depoya aktarıldığı kanal içerisine aktif karbon, kum ve çakıl kullanılarak yapılan drenaj, suyun temizlenerek süzülmesini ve pisliğin dibe çökmesini sağlar. Böylece toplanan yağmur suyu, tuvalet ve çamaşır yıkama gibi alanlarda kullanılabilecek şekilde filtrelenmiş olur.

Geçmişte su arıtma sistemlerinde sünger, kum ve kömür kullanılarak suyu içerisindeki zararlı maddelerden ayıştırmışlardır. Günümüzde su arıtma sürahilerinde de bu arıtma teknikleri kullanılarak içme suyu elde edilmektedir.



Şekil 3.5. Aktif karbondan geçen su (URL-9)

Depolama

Toplanan yağmur suyunun daha sonra kullanılmak için yer üstünde veya yer altında konumlanmış depo, tank veya sarnıç gibi yapılarda toplanması işlemidir. Depo kapasitesinin belirlenmesi için, suyun ne amaçla ve ne kadar süre boyunca kullanılacağı ve yüzeylerden toplanabilecek yağmur suyu miktarı belirlenmelidir. Elde edilen kapasiteye ve su miktarına göre deponun büyüklüğü belirlenir. Belirlenen deponun boyutuna göre, kaç adet depo kullanılacağı ve hangi alanda konumlandırılacağı belirlenir. Sistemin ve alanın büyüklüğüne göre bir veya birden fazla depo kullanılabilir.

Çizelge 3.4. Malzemeye göre su deposu özellikleri (Üstün ve diğerleri,2020)

Malzeme Türü		Özellikler
Beton		Zeminin üzerine ya da gömülü olarak inşa edilebilir. Ağırlıkları nedeniyle taşınması oldukça zordur. Çatlamaya bağlı sızıntı olabilir. Depolama tankı, yapısında sahip olduğu CaCO_3 'ın duvarlardan ve zeminden çözünmesine izin vererek yağmur suyunun aşındırıcılığını azaltır.
Çimento/Betonarme		Demir çerçeve etrafında örülmüş çelik hasır ve çimento harcından oluşmaktadır. Diğer malzemelere göre daha ucuz olmasına rağmen bakım sıklığı fazladır. Buharlaşmayı azaltmak ve suyu serin tutmak için beyaz renge boyanabilir. Toksik bileşik içeriği kontrol edilmelidir.
Plastik	Fiberglas	Hafif, uygun fiyatlı ve uzun ömürlüdür. Temin edilmesi ve taşınması kolaydır. Çeşitli boyutları mevcuttur. Güneş ışığının geçişini önlemek için dış yüzeyi kaplanmalıdır.
	Plastik Astar	Kontrplak gibi malzemelerden yapılmış düşük maliyetli depolama tanklarında kullanılabilir. İçme suyu kullanımı için uygundur.
	Polietilen	Boyut, şekil ve renkleri çeşitlidir. Yer altında veya yer üstünde inşa edilebilirler. Maliyeti nispeten düşüktür. Fiberglasa göre daha dayanıklıdır. İç yüzeyleri pürüzsüz olduğundan kolay temizlenebilir. Hafif olduklarından dolayı kolaylıkla taşınabilir. Alg büyümesini engellemek için boyanmalıdır.
Metal		Temin edilmesi kolaydır ve uygun fiyatlıdır. Çok tercih edilir. Nispeten hafiftir ve taşımaya elverişlidir. Asidik koşullarda korozyona uğrayabilir.

3.1.2. Yağmur hasadı yöntemlerinde peyzaj elemanları

İklimsel değişiklikler sebebiyle artan yağış miktarı, ülkemizde son yıllarda sıkça yaşanan sel ve taşkın felaketlerine yol açmaya başlamıştır. Bunun sebebi altyapı yetersizliğinin yanında, kentleşmenin getirdiği geçirimsiz yüzey artışıdır. Yeşil alanların azalmasıyla kentlerde nefes alacak yüzeylerin kalmaması yağışların doğal emilimini engellemekte, yağan yağmurlar şehir altyapısına yüklenmekte ve taşkınlara sebebiyet vermektedir. Bu sebeple yağmur suyunun toplanması altyapıya aşırı yüklenmeyi azaltarak taşkınların ve sellerin önüne geçilmesini sağlar. Kentsel peyzaj alanlarında gittikçe artan geçirimsiz alanlar, doğru bir şekilde tasarlanarak yağmur suyu toplama yüzeyleri olarak kullanılabilir.

Yağmur hasadını kolaylaştıran en önemli elemanlar peyzaj elemanlarıdır. Yağmur suyunu yönetmenin en temel yolu, yapısal ve bitkisel peyzajın doğru tasarlanmasıdır. Peyzaj tasarımı yapılırken yağmur suyu toplama yüzeyleri oluşturulmalı, suyun doğal akışına izin verilmelidir. Suyu yönlendirmeyi sağlayan kentsel peyzaj elemanlarıyla, suyun depo veya sarnıçlarda toplanması sağlanır. Böylece hem şehrin alt yapı yükü hafifletilerek su taşkınlarının önüne geçilebilir hem de yağmur suyunun kaybı önlenerek yeniden kullanılması mümkün hale getirilir.

İklimsel faktörler, çevresel özellikler, yağmur toplama yüzeylerinde kullanılan malzemeler, yağmur suyu toplama verimini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Toplanabilecek yağmur suyu miktarı ve buna bağlı olarak belirlenecek sistem kapasitesi, büyük ölçüde bu faktörlere bağlıdır.

Sert zeminlerde yağmur suyunu tutma yöntemleri

- Beton Yağmur Oluğu



(a)

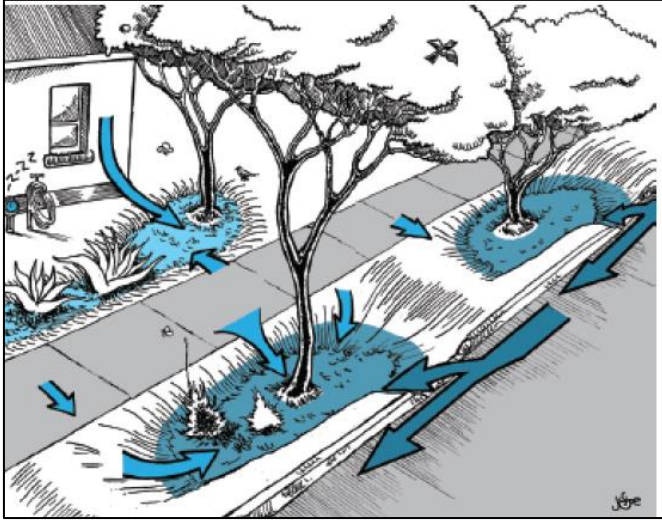


(b)



(c)

Resim 3.1. Yol kenarlarında kullanılan oluklu bordür taşı; a) Kaldırım kenarı uygulaması, b) Oluklu bordür taşı birleşimi, (c) Kaldırım kenarı uygulaması



Şekil 3.6. Geçirimli yüzeyler ile suyun yönlendirilmesi (Lancaster, 2008)

- Gözenekli Kaplamalar

Gözenekli zemin kaplamaları, suyun gözeneklerden süzülerek yavaşça toprağa karışmasını sağlayarak taşkınların önüne geçilmesini sağlar. Gözenekli zemin kaplamalarına örnek olarak, çim taşları, Arnavut kaldırımları, kilitli parke taşları ve iklim karoları örnek gösterilebilir.

Kopenhag'da 50 metrelik bir kaldırım alanında uygulaması yapılan iklim karoları, zeminin geçirimsizlik etkisini azaltarak su baskınlarının önüne geçilmesi için tasarlanmıştır. Yağmur suyunun kaldırımlarda birikmesinin önlenmesi ve suyu toplayarak bitki çukurlarına yönlendirilmesi amaçlanmıştır. İklim değişikliği nedeniyle öngörülen ilave yağmur suyunun mevcut drenaj altyapısına aşırı yüklenmesini önleyerek, zemine düşen yağmur suyunun %30'unu toplayabilir ve yönlendirebilir. (URL-10)



(a)



(b)

Resim 3.2. Kopenhag iklim karoları uygulaması; a) Kaldırımda uygulanması (b) Görünüş (URL-10)

Sürdürülebilir kentlerin hayata geçmesinde iklim karolarının geliştirilmesi de yer edinebilir. Sürdürülebilir yaşam alanlarının inşası, yaşam kalitesini arttırarak şehirlere değer katar. Bunun yanında iklim karoları, kentsel peyzaj anlamında estetik ve doğayla uyumlu tasarımı bir araya getiren bir sistem olmuştur.



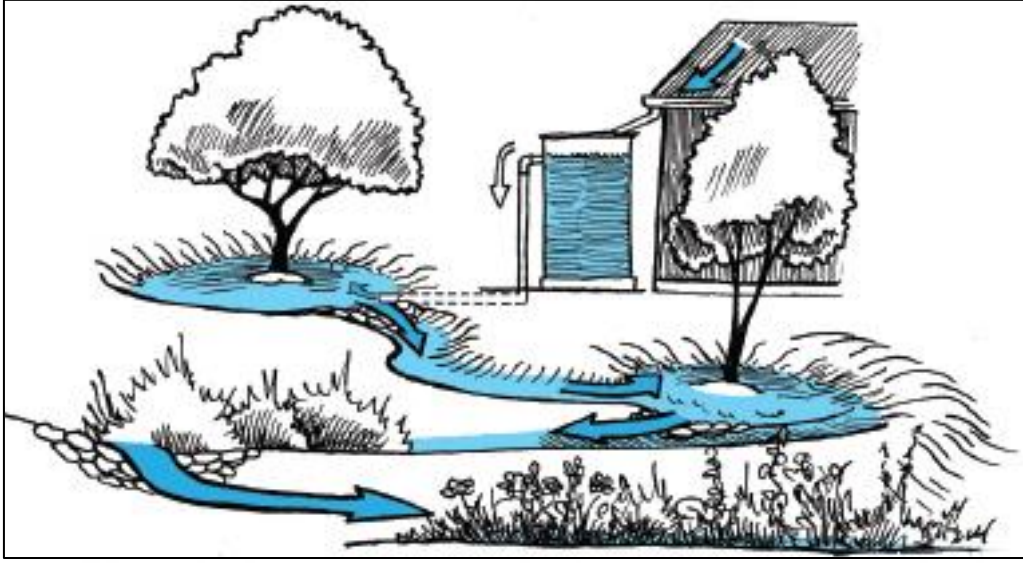
Şekil 3.7. İklim karoları su yönlendirme şeması (URL-10)

Bitkisel alanlarda yağmur suyunu tutma yöntemleri

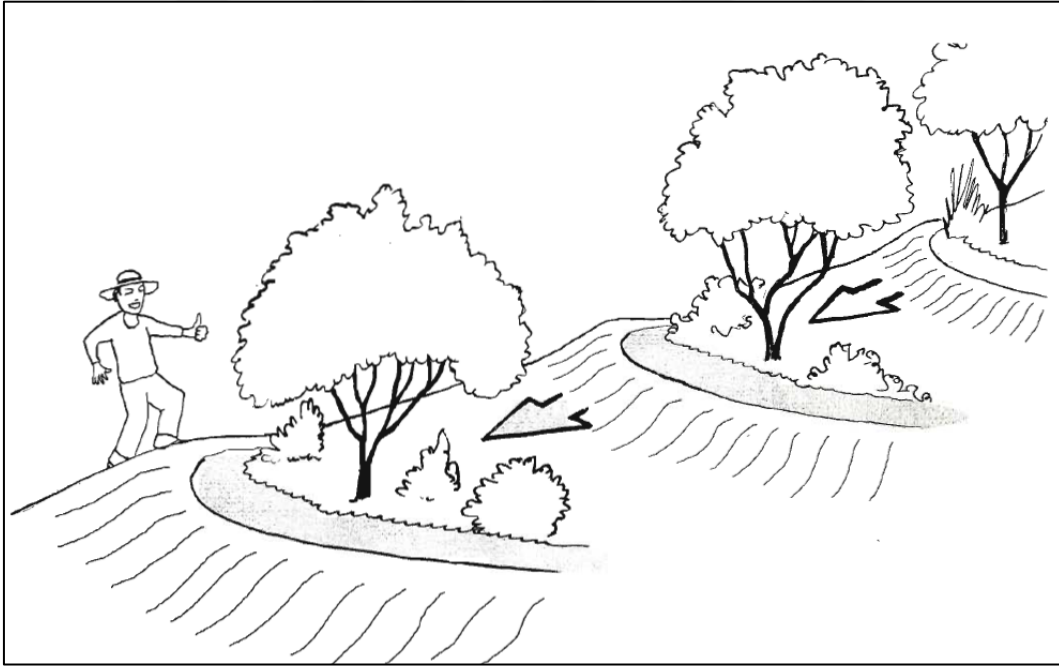
Yağmur suyunun bitkisel alanlarda kontrolü de oldukça önemlidir. Yeşil alanlarda su tutma peyzajları oluşturularak, bitkilerin suya erişiminin daha kontrollü olması sağlanır. Ayrıca su tutma peyzajları, yağmur suyunun kaybını azaltarak daha verimli kullanılabilmesine olanak sağlar (Lancaster, 2009).

Yönlendirme Arkları

Arazinin en yüksek seviyesinden başlanarak suya yön verilmeli, böylece suyun belli bir bölgede yoğunlaşması engellenmelidir. Aynı zamanda süzdürme çanakları, hendekler ve savaklar yardımıyla su tutma peyzajları oluşturularak toprakta erozyon önlenabilir, yağmur suyunun yönlendirilmesi ve yönetimi sağlanabilir.



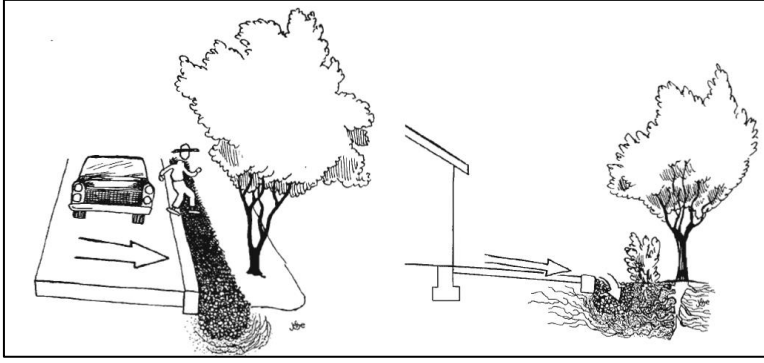
Şekil 3.8. Yönlendirme arkları (Lancaster, 2008)



Şekil 3.9. Hendek sistemi (Lancaster, 2008)

Drenaj Kanalları

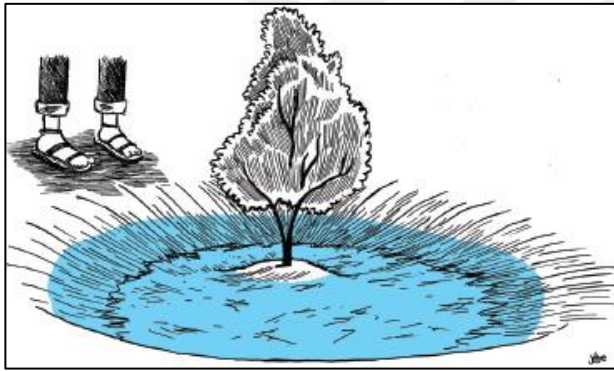
Bu sistemde, delikli borular, boşluklu taşlar veya ağaç kabuğu gibi organik maddeler kullanılarak suyun yavaşça süzülmesini sağlayacak geçirimli bir yüzey oluşturulması sağlanır. Böylece yüzeylerde fazla su birikmesi önlenir.



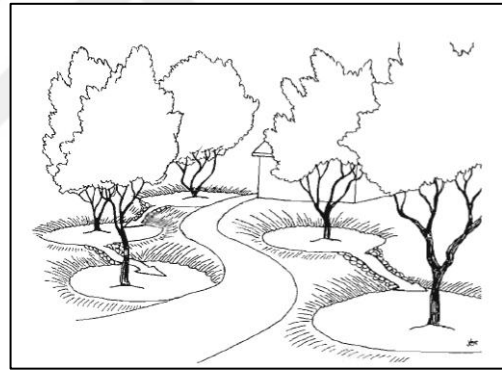
Şekil 3.10. Araç yolu kenarında drenaj hattı (Lancaster, 2008)

Yağmur Bahçeleri

Süzdürme çanakları olarak da anılan bu sistemlerde, ağaç çevresine ağacın tac çapının 1.5 katı büyüklüğünde bir çanak açılarak suyun ağaç etrafında depolanması sağlanır. Böylece toplanan su ağaç köklerine yavaşça süzülerek beslenmesini sağlar.



(a)



(b)

Şekil 3.11. Süzdürme çanağı; a) Ağaç dibi uygulaması, b) Çoklu çanak uygulaması (Lancaster, 2009)

3.2. Sarnıçlar

Tarihi çağlar boyunca şehirler genellikle su kenarlarına inşa edilmişlerdir. Bu yerleşimlerde su ihtiyacı, göller ve akarsulardan karşılanmaktaydı. İlerleyen dönemlerde, tarımın gelişmesi ve su kaynaklarına uzak bölgelerde daha verimli topraklara ulaşılması, yerleşimlerin bu bölgelere doğru kaymasına sebep olmuştur. Zamanla artan tarımsal faaliyetler ve yaşamsal ihtiyaçlardan doğan su ihtiyacını karşılamak, su kenarlarından uzaklaştıkça zorlaşmıştır. Suyu erişimin zorlaşmasıyla doğal kaynaklardan suyu taşıyabilmek için inşa edilen su kemerleri, kemerler yoluyla taşınan suyun ve yağmur sularının depolanması için tasarlanan

açık ve kapalı sarnıçlar bu çözüm arayışı sonucunda karşılaşılan mimari elemanlara örnektir (Güngör, 2017).



Resim 3.3. Pont du Gard Su Kemer, Nimes, Fransa (Altuğ, 2013)

Yağmur suyu sarnıçlarının varlığı Neolitik döneme kadar uzanmaktadır. Bu dönemde Orta Doğu ve Güneybatı Asya’da kireçle sıvalı su geçirmez sarnıçlar inşa edilmiştir (Mays ve diğerleri, 2013).

Yağmur sularını biriktirmek için önemli bir mimari eleman olarak karşımıza çıkan sarnıçlar, çoğunlukla yer altına örülen taş veya tuğla duvarların horasan harcı gibi su geçirmez bir sıva ile yalıtılmasıyla oluşturulan su depolarıdır. İnsan hayatı boyunca sürekli bir problem olan su ihtiyacı ve suya erişimde yaşanan güçlük, sarnıçların ortaya çıkması ve dünya genelinde yaygınlaşmasındaki en büyük etkidir (Güngör, 2017).



(a)



(b)

Resim 3.4. Fransa’da bulunan Roma Dönemi sarnıçları; a) Sarnıç su haznesi, b) Sarnıç dış görünüşü (Ocak, 2009)

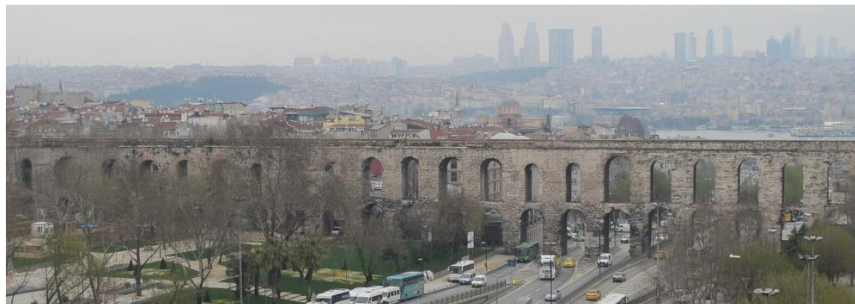
Puquios olarak adlandırılan sarmal delikler dünyanın en kurak bölgelerinden biri olan Peru'nun Nasca (Nazca) bölgesinde yer almaktadır. Aynı zamanda bu bölgede oyulmuş devasa geometrik görüntü manzaralarına da rastlanmaktadır. Bu gizemli ve garip sarmallar hakkında yıllardır süren bilimsel tartışmalar neticesine ulaşmış ve gizemleri çözülmüştür (URL-11).

Rosa Lasaponara'nın yaptığı bu keşif, suyun bulunmadığı bu bölgede halkın yaşamını nasıl sürdürdüğünü açıklamaktadır. Üstelik bölge halkı çıkan bu suyla yalnızca yaşamsal faaliyetlerini sürdürmemiş, aynı zamanda tarımsal faaliyetlerde de bulunmuşlardır. Yıllar boyunca tükenmez bir su kaynağı olarak kullanılan Puquios sistemi, dünyanın en kurak bölgelerinden birinde, vadilerde yoğun bir tarım faaliyeti sürdürülmesini sağlamıştır (URL-12).



Resim 3.5. Peru Nazca'daki sarmal delikler; a) deliklerin taş örgü sistemi, b) deliklerin kuş bakışı görüntüsü (URL-11; URL-12)

Ülkemizin tarihine baktığımızda, yağmur suyu toplamak için birçok şehrimizde sarnıçlar inşa edilmiştir. İstanbul'da sayısı yüzden fazla sarnıç bulunmaktadır. Bizans İmparatorluğu döneminde, şehirdeki kaynak yetersizliği sebebiyle su ihtiyacının, su kemerleri yoluyla şehir dışında bulunan kaynaklardan şehirdeki sarnıçlara ve hamamlara ulaştırıldığı bilinmektedir (Altuğ, 2013).



Resim 3.6. Bozdoğan Su Kemerini, İstanbul (Altuğ, 2013)

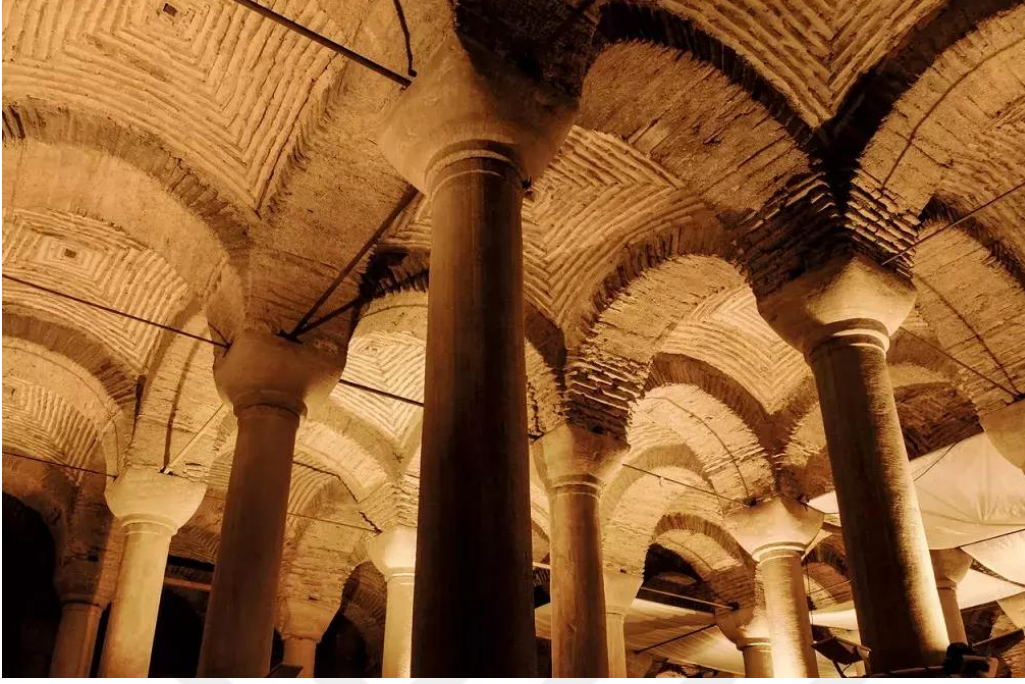
İstanbul'da bulunan Aetius Sarnıcı, Aspar Sarnıcı, Atpazarı Sarnıcı, Şerefiye Sarnıcı, Yerebatan Sarnıcı olarak bilinen ve 336 sütun bulunan İmparator Sarnıcı, 224 sütundan oluşan Binbirdirek Sarnıcı, Nuruosmaniye ve Acımusluk sarnıçları başlıca sarnıç örnekleri arasındadır (Kerim ve Süme, 2018).



Resim 3.7. Yerebatan Sarnıcı, İstanbul, Türkiye (URL-13)

İstanbul'daki en büyük kapalı sarnıçtır. Uzunluğu 138 m, genişliği 64. 6 m olan dikdörtgen bir alan üzerine inşa edilmiştir. Sarnıç içerisinde 9 m yüksekliğinde 336 adet sütun bulunmaktadır. Yaklaşık 9800 m² zemin alanı olan sarnıç 80000 ton su depolayabilme kapasitesine sahiptir (Müller-Wiener, 1977; Altuğ, 2013).

Yerebatan sarnıcından sonra İstanbul'da bulunan ikinci en büyük kapalı sarnıçtır. Uzunluğu 64 m ve eni 56.40 m olan dikdörtgen alanlı bu sarnıcın içerisinde 224 adet mermer sütun bulunmaktadır. Yaklaşık 40000 m³ su depolama kapasitesine sahiptir (Müller-Wiener, 1977; Altuğ, 2013).



Resim 3.8. Binbirdirek Sarnıcı, İstanbul, Türkiye (URL-13)



Resim 3.9. Şerefiye (Theodosius) Sarnıcı, İstanbul, Türkiye (URL-13)

Bizans dönemi sarnıçlarından olan Şerefiye Sarnıcı, 24 m x 40 metre ölçülerinde dikdörtgen bir alan üzerine inşa edilmiştir. Sarnıç içerisinde 11 metre yüksekliğinde 32 adet sütun bulunmaktadır. Yaklaşık 10000 ton su depolama kapasitesine sahiptir (Altuğ, 2013).

4. KONUT TİPLERİNİN YAĞMUR HASADI UYGULAMALARI AÇISINDAN İNCELENMESİ

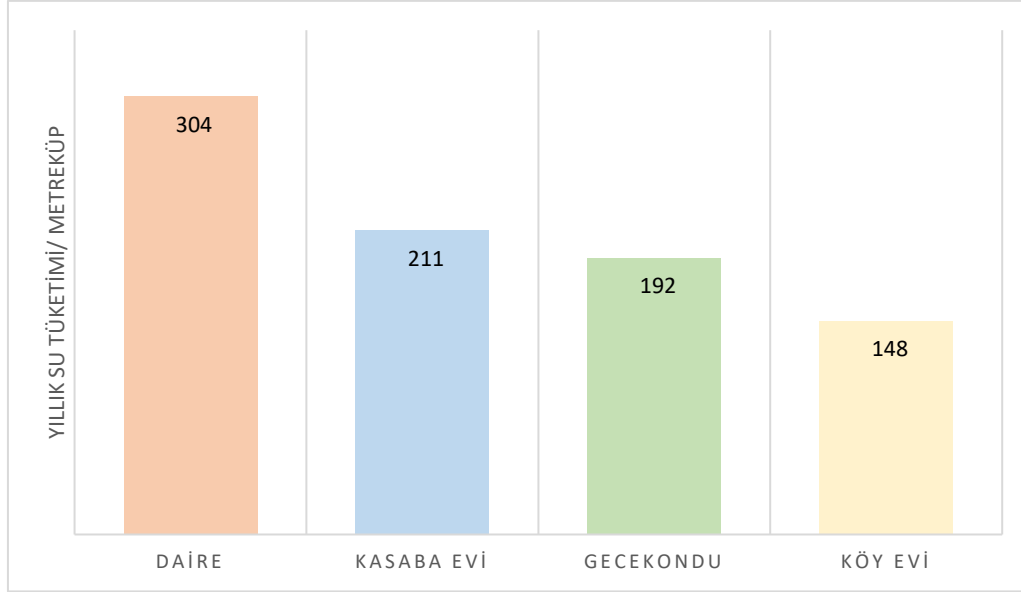
Doğada yaşayan tüm canlıların en temel ihtiyaçlarından biri barınmadır. Geçmişte insanlar, barınma ihtiyacını karşılamak için uzun yollar kat etmişler ve yerleşik hayata geçerek kendilerine barınma alanları oluşturmuşlardır. Barınma birimleri, bulundukları bölgenin iklimsel ve coğrafik koşullarına göre şekillenmiş, günden güne gelişmeye ve daha konforlu hale gelmeye devam etmiştir. Bu şekilde konut biçimleri ortaya çıkmış, insanların temel yaşama alanı haline gelmiştir.

Konut talebinin en temel sebebi nüfus artışıdır. Sürekli artmaya devam eden dünya nüfusu, her geçen gün konut ihtiyacının artmasına sebep olmaktadır. Konutlar için doğadan alınan parseller gittikçe artmaktadır. Nüfus artışının yanında, özellikle son yıllarda dünya genelinde yaşanan büyük deprem ve sel gibi doğal afetler de konut ihtiyacını arttırmış, bu artış sebebiyle devletler tarafından çeşitli konut politikaları izlenmeye başlamıştır.

Bir yerin iklim özelliklerini anlamak, coğrafi çalışmalarda büyük bir öneme sahiptir. Sadece sıcaklık ve yağışın ortalamaları değil, aynı zamanda ekstrem hava olayları, bu olayların sıklığı ve eğilimleri de bölgenin karakterini belirlemekte yardımcı olur. Rüzgar, sıcaklık ve yağış gibi iklim elemanları, özellikle planlama süreçlerinde yön verici bilgiler sunar.

Binaların yerleşim planlaması yapılırken bulunduğu bölgenin iklim koşulları dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır. Konutlar yerleştirilirken, güneşin en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan tasarım kriterleri belirlenmeli, binaların cephe tasarımında ve yönlendirilmesinde dikkate alınmalıdır. Böylece enerjinin daha verimli kullanılması sağlanarak kaynak tüketimi azaltılabilir.

Konutlarda ısıtma ve soğutma için harcanan enerji dışında dikkate alınması gereken en önemli kaynak sudur. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, modernleşen konut türleri, su tüketiminin artmasında oldukça etkilidir. Konutlarda sürdürülebilir bir gelecek için dikkate alınması gereken en önemli hususlardan biri de su korunumudur. Bu nedenle günümüzde inşa edilen ve edilmesi planlanan yeni konut ve yapılaşmalarda, su kullanımını azaltmayı hedefleyen tasarım kriterleri izlenmelidir.



Şekil 4.1. Konut tipine göre yıllık su tüketimi (m³) (Deniz, 2012)

Konut tipolojileri yağmur suyu toplama sistemleri açısından ele alındığında blokların yerleşim planları büyük önem taşımaktadır. Konutların az veya çok katlı olması, geçirimli ve geçirimsiz yüzeylerin miktarı, dizilim şekli gibi birçok etken, yağmur suyu toplama kapasitesini etkilemektedir.

Mevcut yapılarda, sarnıç yeri belirlenirken, arazi koşulları dikkate alınmalıdır. Yeni yapılarda ise arazi eğimi, topografya ve bina yerleşimleri, sarnıç yeri düşünülerek belirlenmelidir. Yağmur suyunun sert zeminlerden yüzey akışıyla toplanabilmesi için doğal bir eğim olması gerekmektedir. Çatılardan toplanan yağmur suları ise oluk ve yağmur boruları yardımıyla depoya aktarılır.

Bu çalışmada, binalarda su korunumu yasaları doğrultusunda, modernleşen ve yaygınlaşan yapı türlerinde sürdürülebilir kaynak kullanımını esas alan bir çalışma yapılmıştır. Sürdürülebilirlik bağlamında, yağmur suyunun iç ve dış mekanda tekrar kullanımını sağlamak amaçlanmıştır.

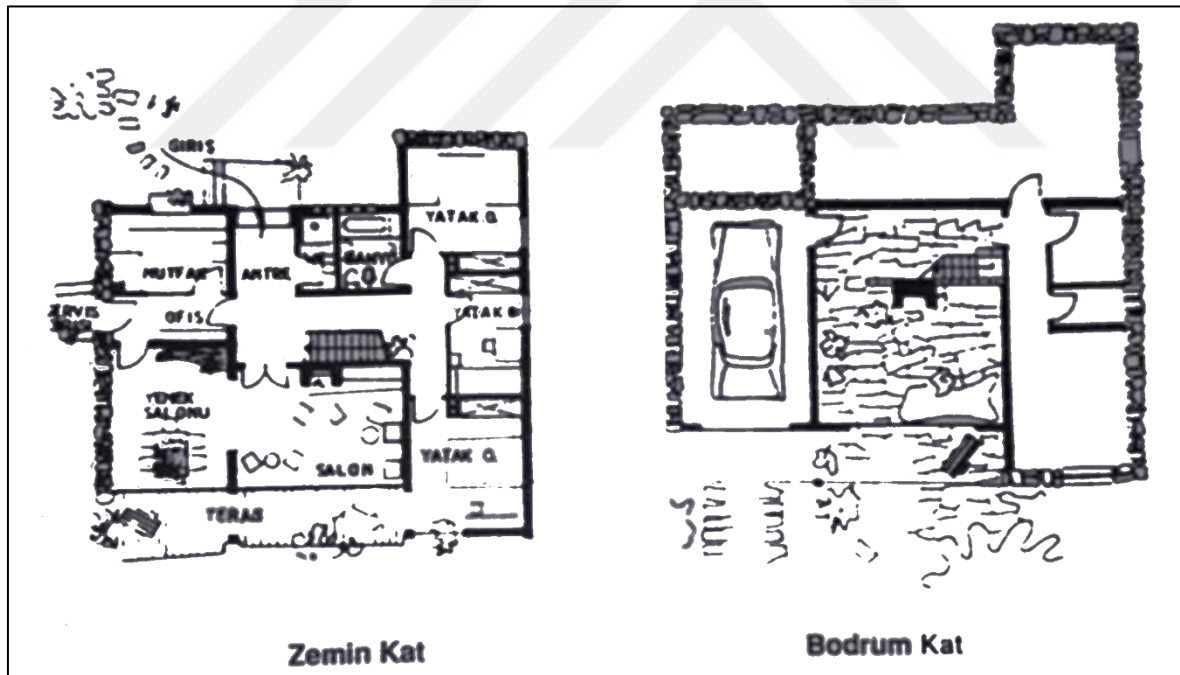
4.1. Konut Tipolojilerinde Yağmur Hasadı

Bu bölümde, konut tipleri, yağmur suyu toplama yöntemleri kapsamında incelenmiştir. Sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarından yağmur hasadı sistemlerinin, konut tiplerinde uygulanabilmesi için kriterler belirlenerek, yağmur suyunun yüzey akışıyla toplanıp depolanabilmesi için uygun olabilecek sarnıç yerleri vaziyet planları üzerinde belirtilmiştir.

Kıray (1979), konut gruplarını yatay ve düşey yönde gelişen konutlar olmak üzere iki temel kategoriye ayırmıştır. Yatayda gelişen konutlar, bağımsız ve yarı bağımsız evler, sıra evler, teras evler, avlulu evler ve dubleks evleri içerir. Dikeyde gelişen konutları ise nokta bloklar, duvar bloklar ve parçalı bloklar olarak sınıflandırmıştır.

4.1.1. Bağımsız ev

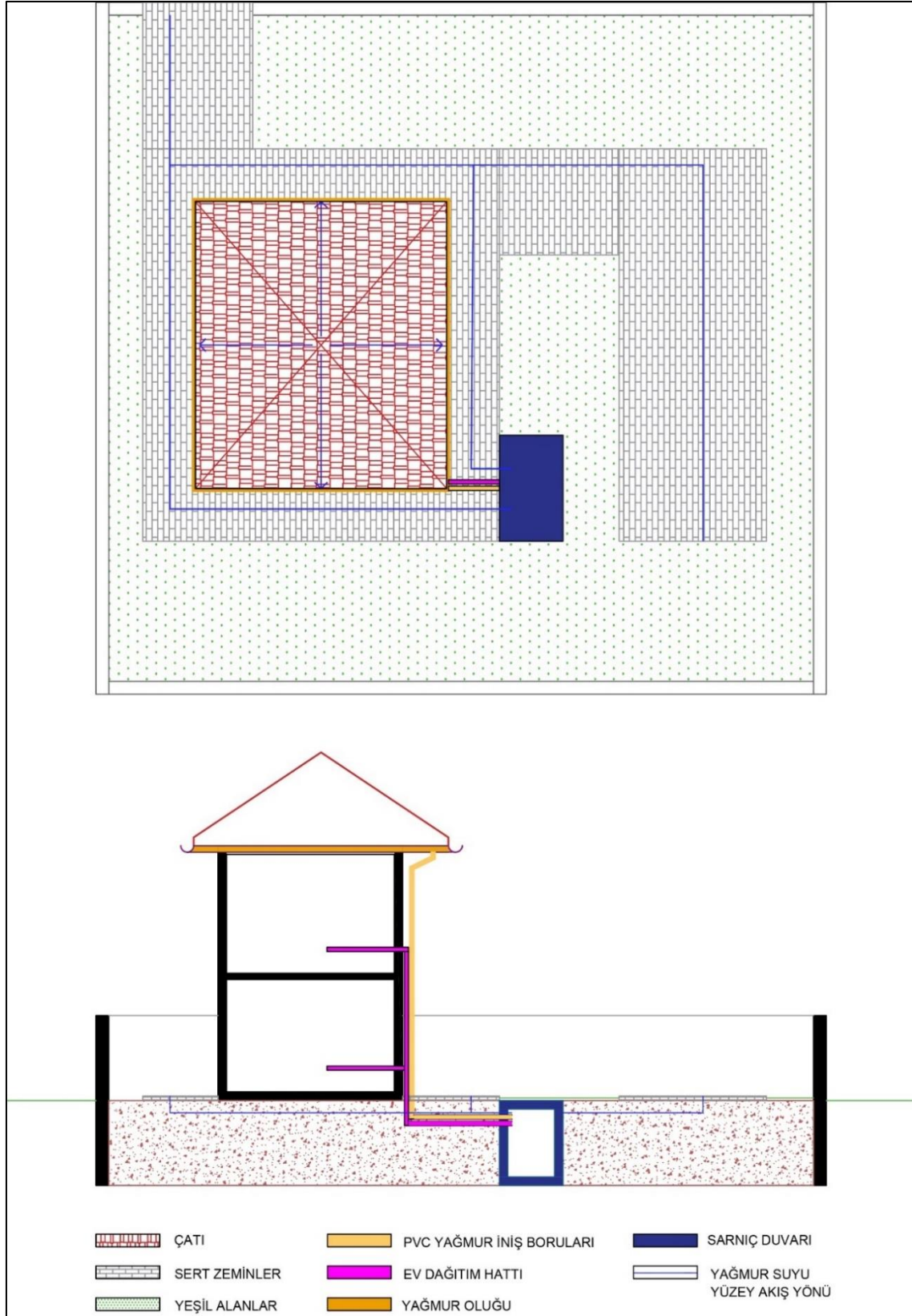
Tek ailelerin bağımsız yaşama istekleri ve aile yaşantısı için uygun mekan arayışı, bağımsız ev kavramını ortaya çıkarmıştır. Kullanan kişilerin rahat bir yaşam sürmesini amaçlayan bağımsız evlerde, iç ve dış ortam arasındaki ilişki genelde oturma bahçeleriyle sağlanmaktadır. Genellikle bahçesi olan bu konutlar dört yandan açıktır ve az katlı bir yapıya sahiptirler. Bu konutların plan tasarımında çok fazla kısıt olmaması, ayrı evlerin ışık ve ısı gibi fiziksel çevre elemanlarına uyum sağlamasını kolaylaştırırken, yüksek altyapı maliyetleri ile karşılaşılmasına yol açmaktadır (Dülgeroğlu, 1998).



Şekil 4.2. Dördüncü Levend k tipi evler, İstanbul (Dülgeroğlu, 1998)

Bağımsız evlerin bahçeli ve az katlı yapısı, yağmur suyu toplama sistemleri için oldukça uygundur. Çatı yüzeylerinden ve yürüme yollarından toplanan yağmur sularının fazla yol kat etmeden bahçede konumlanan bir su deposu veya sarnıçta toplanması sağlanabilir. Böylece yüzeysel akış süresince yaşanacak kayıp miktarı az olacak ve yağmur suyunun

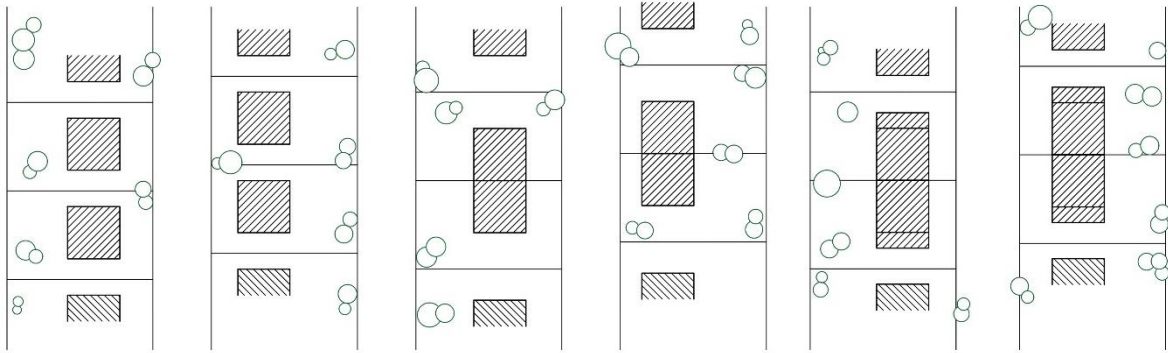
verimle toplanması sağlanacaktır. Aynı zamanda yüzeysel akışla toplanma süresince temas ettiği yüzeyin az olması, yağmur suyunun daha temiz kalmasını sağlayacaktır.



Şekil 4.3. Bağımsız ev planında örnek sarnıç yerleşimi

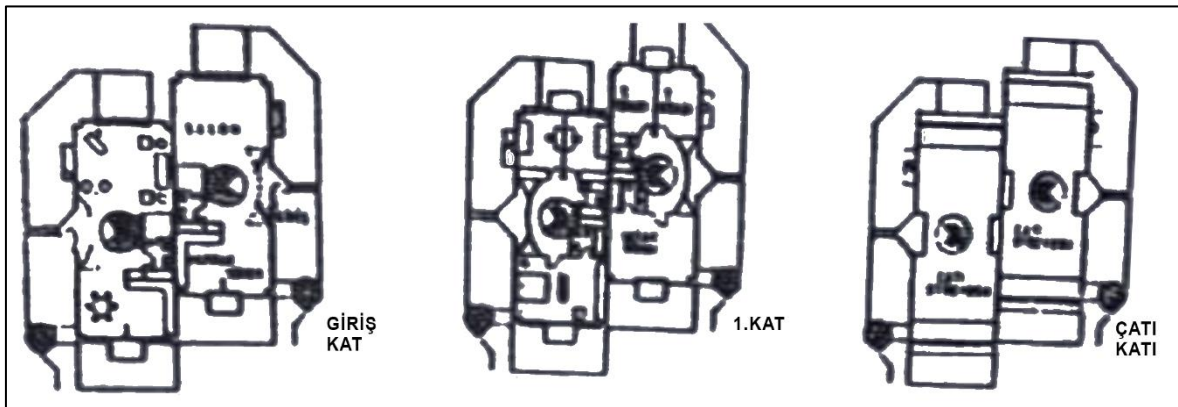
4.1.2. İkiz evler

Bir binada iki dairesi bulunan ve yan duvarını komşu ev ile paylaşan ev olarak tanımlanmaktadır. Komşu ev ile ortak kullanılan duvarın tesisat duvarı olarak değerlendirilmesi maliyeti düşürmekte, ısı kaybını azaltmakta ve araziye yerleşirken daha geniş yeşil alanlar kullanılmasını sağlamaktadır. İkiz evler bahçe kullanımını daha verimli bir hale getirmektedir. Dülgeroğlu'na göre müstakil yerine ikiz ev tercih edilmesi hem konut metrekaresinin hem de yeşil alanın artmasına olanak sağlamaktadır (Dülgeroğlu, 1998).

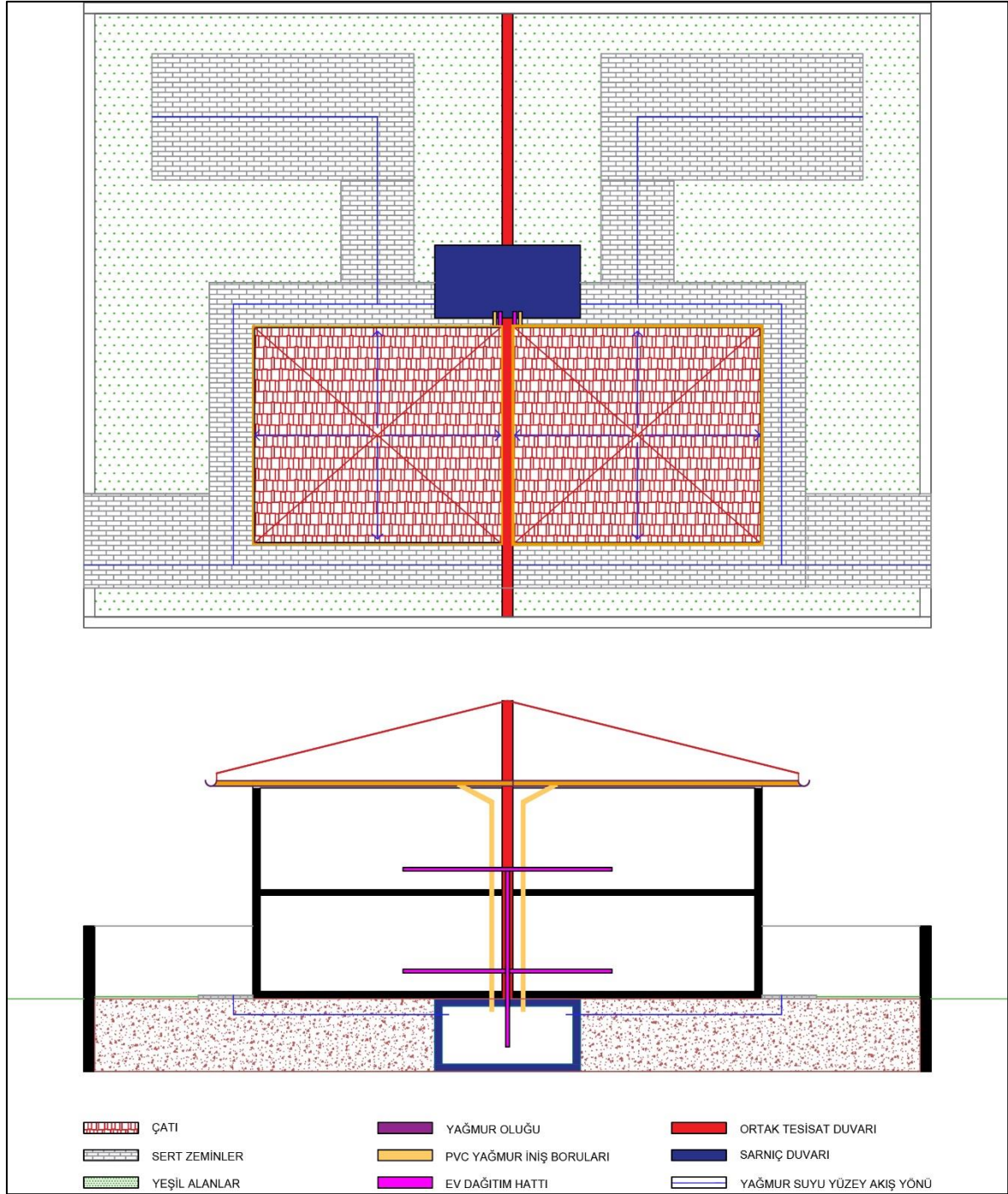


Şekil 4.4. Ayırık ve ikiz ev planlaması (Dülgeroğlu, 1998)

Bu konut türlerinde yağmur suyu toplama sistemleri, ortak çözümlenerek tek bir depoda toplanılabilir. Böylece kurulacak tek bir sistem iki bloğa da hizmet verebilir. Tesisat duvarından çözülecek ortak iletim hatları sayesinde, iki konut için harcanacak kurulum maliyeti yarıya düşecektir.



Şekil 4.5. Bahçeşehir K konutları planları (Dülgeroğlu, 1998)

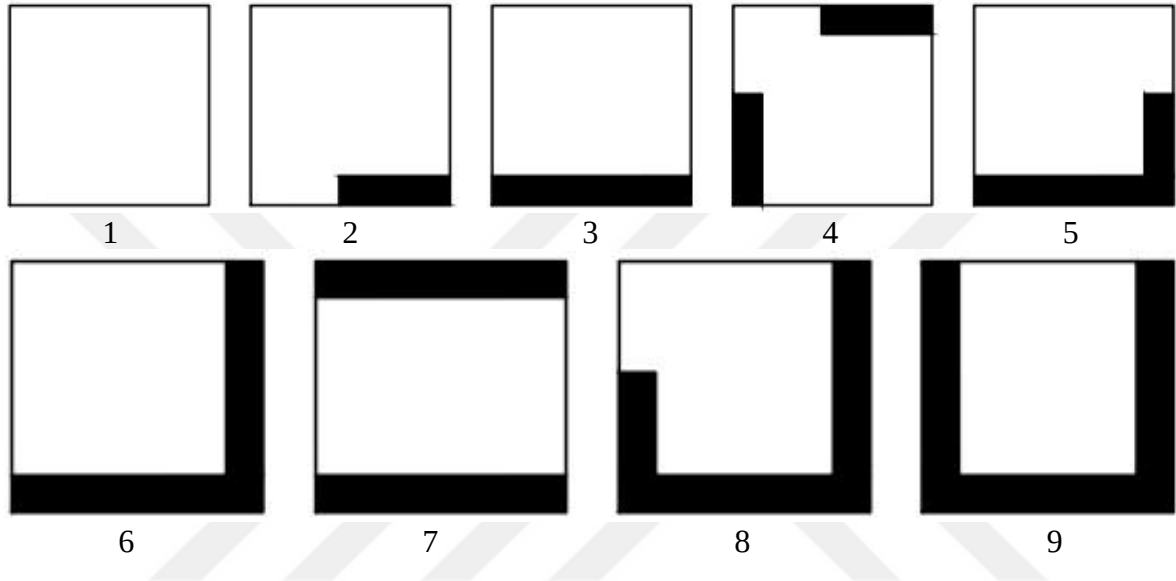


Şekil 4.6. İkiz ev planında örnek sarnıç yerleşimi

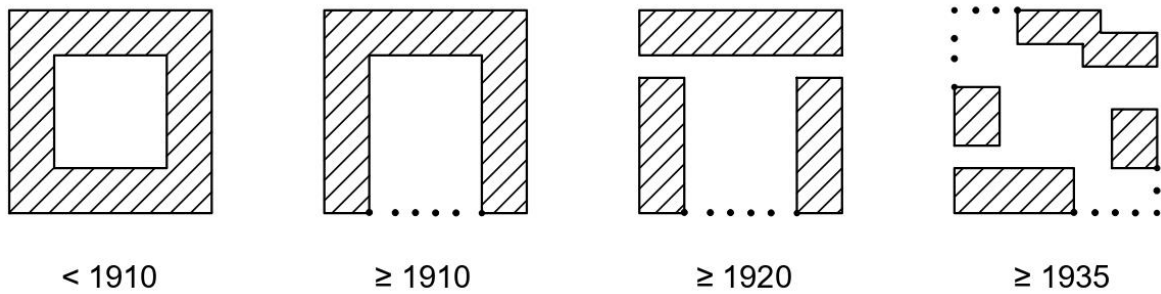
4.1.3. Apartmanlar

Aynı katta bir çekirdek etrafında mümkün olduğunca çok konutun konumlandırılabilmesine olanak sağlayan apartmanlar, orta gelir grubun konut problemine çözüm sağlanması amacıyla yaygınlaşmıştır (Dülgeroğlu, 1998).

Daireler arası düşey ilişki çekirdek ile sağlanırken, yatay ilişki de balkonlar ile sağlanmaktadır. Mutfak gibi servis mekanlarının da yerleştirildiği balkon cepheleri, ortak bir sokak özelliği taşımakta ve daireler arası bağlantıyı desteklemektedir. Apartman konut tipinde, katlar tekrar eden yapısal bir özelliğe sahiptir. Bir konutun cephesini, apartmandaki çekirdek ve dairelerin konumu belirler. Bu faktörler, konutun görünümü, ışık alması, manzara ilişkisi ve komşu dairelerle olan ilişkisini etkileyebilir (Dülgeroğlu, 1998).



Şekil 4.7. Konut birimi cephesi serbestlik alternatifleri (Dülgeroğlu, 1998)



Şekil 4.8. Blokların tarihsel gelişimi (Dülgeroğlu, 1998)

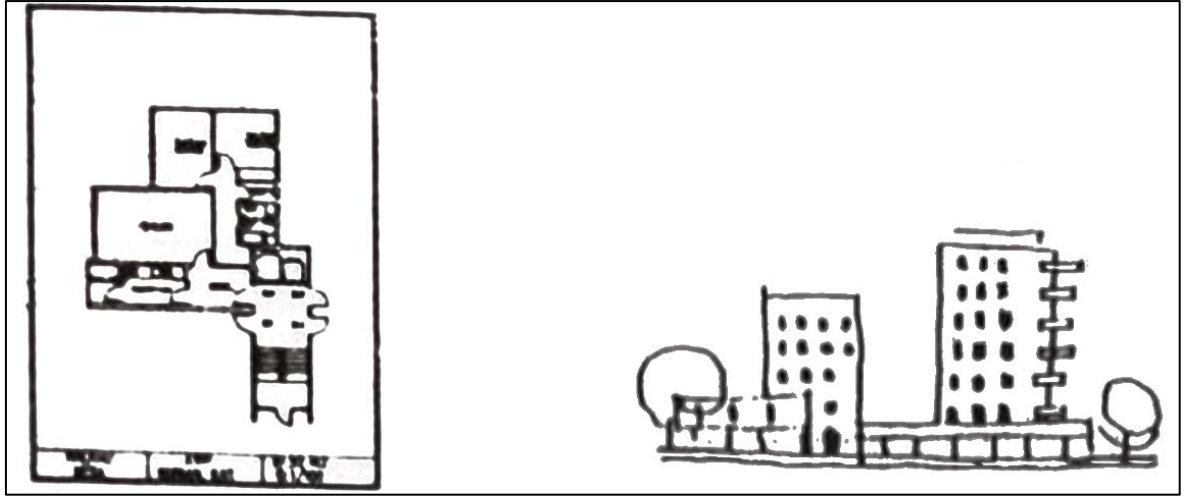
Apartmanlar kütle yapılarına göre genellikle nokta bloklar, duvar bloklar ve parçalı bloklar olmak üzere üç grupta incelenir.

Nokta blok

Nokta bloklar, yüksek ve dar oturumlu bir yapıya sahiptir ve düşey prizma şeklinde görünürler. Yükseklikleri genellikle 6 kat veya daha fazladır ve içerisinde çöp bacası ve

asansör gibi unsurlar bulunur. Bir katta bulunan daire sayısı diğer türlerle karşılaştırıldığında genellikle azdır. Nokta blokların bir türevi olan yıldız bloklar, ışık almayı artırmak amacıyla kırılmış bir formda tasarlanmış apartman konutlarıdır. Bu tasarım, bloklara dinamiklik katmak ve konut yerleşimlerinde odak noktası oluşturmak amacıyla kullanılır. Ancak nokta blokların bir dezavantajı, yüksek yapısı nedeniyle yeşil dokunun bu bloklara ulaşmasının zor olmasıdır (Dülgeroğlu, 1998). Yüksek katlı olması sebebiyle genellikle kent merkezlerinde ve kooperatiflerde kullanımı görülmektedir (Sarıcıoğlu, 2017).

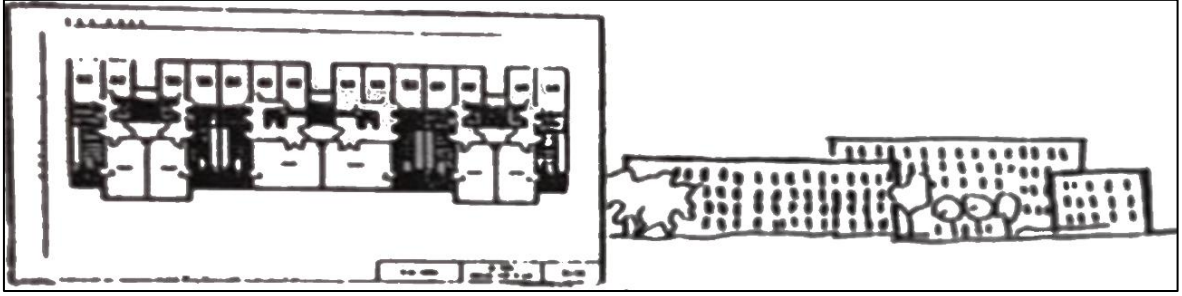
Kentsel dönüşüm sonucu neredeyse her şehirde karşımıza çıkan TOKİ konutları, nokta blok apartman tipolojisine örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 4.9. Nokta blok tipleri (Dülgeroğlu, 1998)

Duvar blok

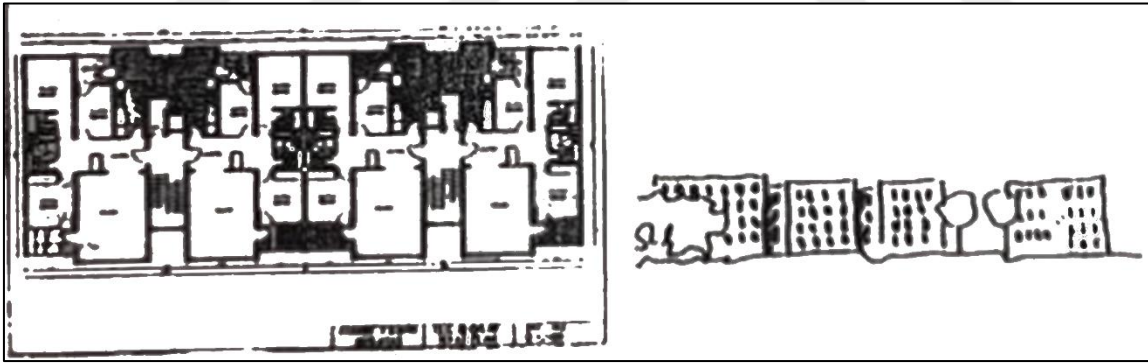
Çok aileler için uygun olabilecek bu tür, mimari olarak genellikle uzun ve düz kütlelere sahiptir. Yükseklikleri değişkendir ve birden fazla çekirdeğe sahip olabilmektedirler. Duvar blok binalar, avlulu konut tipinin parçalanmasıyla ortaya çıkmıştır. Duvar bloklar, mimari açıdan bir duvar hissi yaratır ve genellikle sert ve rijit bir tasarım diline sahiptir. İçerisinde bulunan konutlar genellikle iki yöne bakmaktadır ve bu durum daireler arasında benzer ışık alış, giriş noktaları ve yönlendirmeler oluşturmaktadır. Aynı durum iklim ve çevre kontrolü açısından da geçerlidir. Duvar bloklarında yatak odalarının genellikle aydınlık bir alana bakması tercih edilir. Bu şekilde doğal ışık alımı artırılır ve daha ferah bir yaşam alanı oluşturulur (Dülgeroğlu, 1998).



Şekil 4.10. Duvar blok tipleri (Dülgeroğlu, 1998)

Parçalı blok

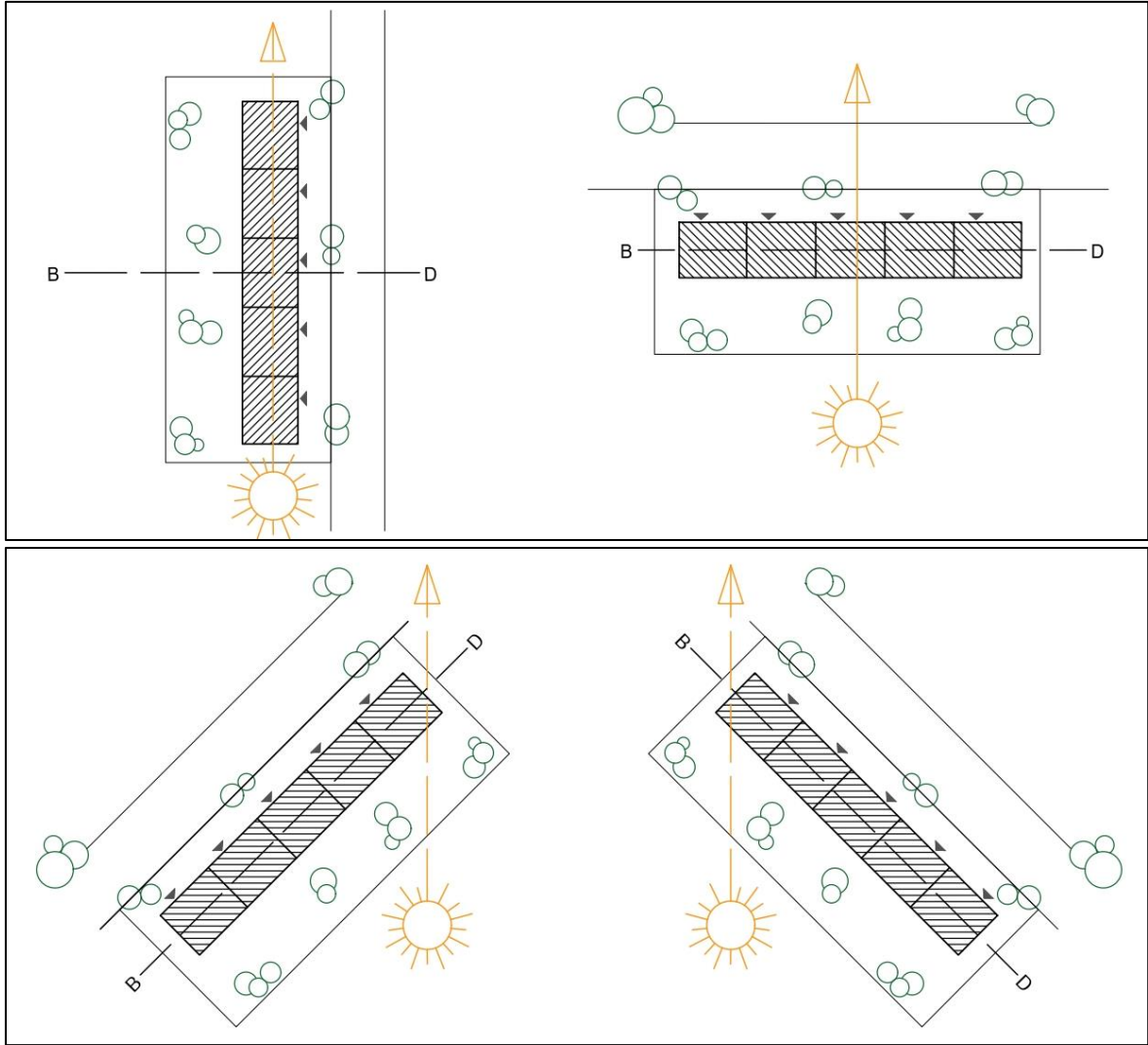
Parçalı blok tasarımı, blok tipi binaların monotonluğunu kırmak ve daha insani boyutlara ulaştırmak amacıyla kullanılan bir yaklaşımdır. Uzun ve düz blokların kırılarak, kısaltılarak veya boşluklar bırakılarak tasarlandığı bu özgün yaklaşım, ışık alan cephe yüzeyleri artırılmasına ve yeşilin etkin olarak tasarıma dahil edilmesine olanak sağlamaktadır. Blok boyları ve yönlerinde değişiklikler yapılması farklı kütle kompozisyonları oluşturulmasını destekler ve daha çeşitli yapı oluşturma imkanı sağlar (Dülgeroğlu, 1998).



Şekil 4.11. Parçalı blok tipleri (Dülgeroğlu, 1998)

4.1.4. Sıra evler

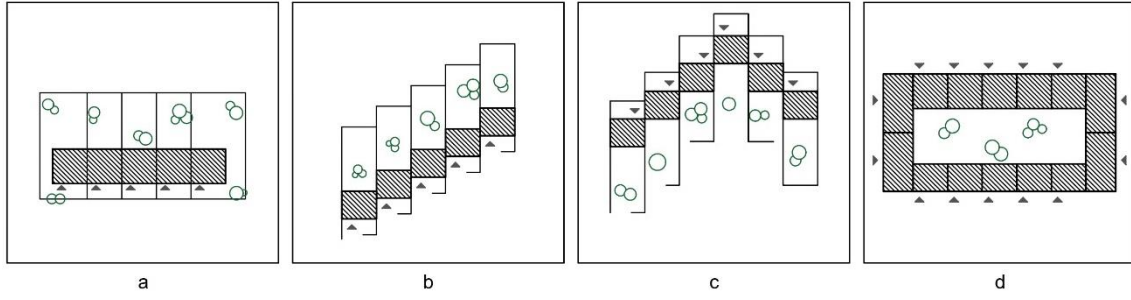
Sıra evler, standart olarak tasarlanmış tip konutların birbirine sıralandığı bir konut tipidir. Bu konutlarda, blok başlarındaki konutların 3 serbest cephesi bulunurken, aradaki konutların 2 serbest cephesi vardır. Blok başlarındaki konutlar, sıranın dışına açılan 3 farklı cepheleriyle daha fazla doğal ışık alabilirler ve genellikle daha ferah bir yaşam alanı sunarlar (Dülgeroğlu, 1998).



Şekil 4.12. Sıra evler yönlendirme biçimleri (Dülgeroğlu, 1998)

Sıra evler, çoğunlukla ayrı girişli ve bağımsız parseller üzerine inşa edilen konutlardır. Bu tür evler genellikle 2 ya da 3 katlıdır ve tek bir ailenin kullanımı için tasarlanmıştır. Sıra evler, ortak duvarda çözülen tesisat ve çekirdek çözümleri bakımından ikiz evler ile benzerlik gösterir (Dülgeroğlu, 1998).

Sıra evlerin yolun durumuna göre yola paralel veya dik olarak konumlandırılması, farklı görsel etkiler yaratmaktadır. Sıra evlerin yola paralel konumlandırılması, uzun ve katı bir yüzey oluşturarak duvar etkisi yaratabilir. Yola dik olarak konumlandırılırsa derinlik hissi oluşabilir ve perspektif etkisi daha belirgin hale gelebilir. Sıra evlerin dizilimi, evlerin birbirlerine göre olan yerleştirilmelerine bağlı olarak farklı şekillerde gerçekleşebilir. Cepheyle sıfır bitmesi, kaydırılması, gruplanması veya yay etrafında yerleşim gibi tercihler olabilmektedir (Dülgeroğlu, 1998).

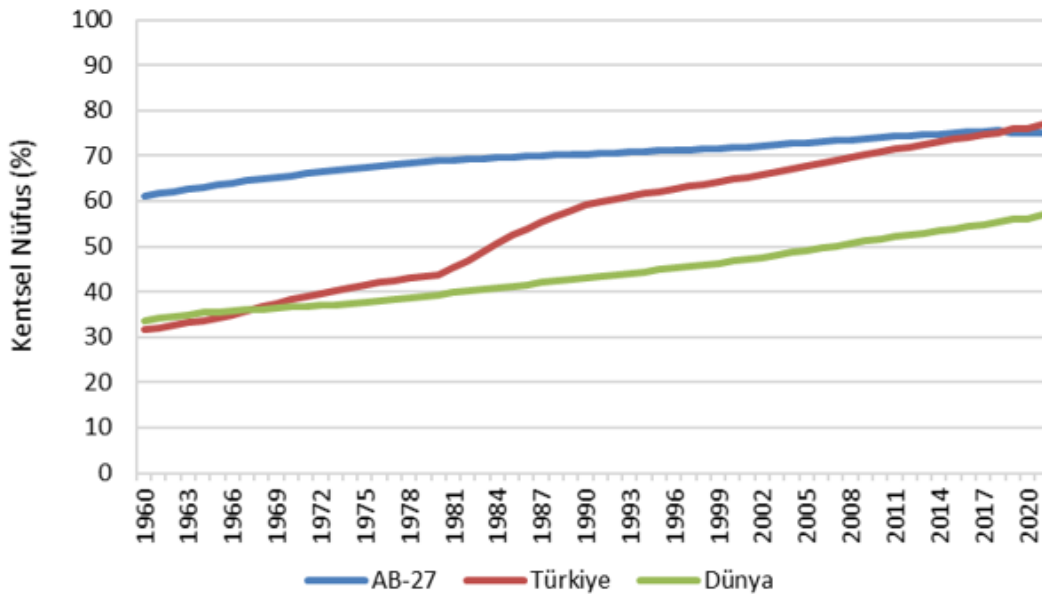


Şekil 4.13. Sıra evlerin alternatif dizilimleri (Dülgeroğlu, 1998)

Apartman bloklarında uygulanan yağmur hasadı sistemleri, bağımsız ev, ikiz ev ve sıra evlerle aynı prensiptedir. Yağmur suyunun depoda toplanarak evsel kullanımda veya bahçe sulamada kullanılması sağlanır. Genellikle depoda toplanan su, elektrikli pompa kullanılarak dairelere aktarılır. Kullanılacak pompa bina yüksekliğine ve sistem kapasitesine göre değişiklik gösterebilir.

4.2. Toplu Konutlar

20.yy. ortalarında tarım alanındaki gelişmeler ve makineleşmeyle artan işsizlik ve ulaşım imkanlarının gelişmesi kırdan kente göçlerin artmasında etkili olmuştur. Türkiye’de çoğunlukla altyapısı gelişmiş bölgelerde ve büyük kentlerde ekonominin daha çok büyüme gösterdiği gözlenmiştir. Tarım ile uğraşmayan ve daha iyi yaşam standartları bekleyen insanlar bu kentlerde yoğunlaşmıştır.



Şekil 4.14. Kentsel nüfus artışı (URL-14)

1927 yılında Türkiye’de yapılan ilk nüfus sayımının sonuçlarına göre halkın %75,8’i köy ve beldelerde yaşarken, kalan %24,2’lik kısmı ise il ve ilçe merkezlerinde yaşamaktaydı. 1950 yılından sonra sanayileşme sonucunda kentlere göç başlamış, kentsel nüfus yoğunluğu artış göstermiştir. Bu oran sadece Türkiye’de değil dünya genelinde artış göstermiştir (URL-14).

TÜİK tarafından açıklanan verilere bakıldığında, 2021 yılında il ve ilçe merkezlerinde yaşayan nüfus oranı %93,2 iken 2022 yılında ise bu oran %93,4’e yükselmiştir. Aynı dönemde, köylerde ve beldelerde yaşayanların oranının ise %6,8’den %6,6’ya düştüğü belirtilmiştir (URL-15).

Kırsal alanlardan kentlere göçlerin artması sonucunda, kaçak yapılaşma başlamış ve kentlerde gecekondulaşma problemi ortaya çıkmıştır. Kentsel nüfusun artmasıyla büyüyen kentlerde altyapı, ulaşım ve sanayi alanlarına olan ihtiyaç artarken bunlara bağlı olarak atıksu, gürültü, hava kirliliği gibi sorunlar da artış göstermektedir. Kentleşme, sanayileşme ve ekonomik gelişmelerle birlikte yaşanan önemli bir süreçtir (Albayrak, 1996).

Kentlerde bilinçsizce çoğalan gecekonduların azaltılması, altyapı problemlerinin çözülmesi ve bilinçsiz yapılaşmanın önüne geçilebilmesi için kentsel dönüşüm adımları atılmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda, sağlıklı bir kent yapılaşması için toplu konut üretimlerine başlanarak modern bir kent görünümüne ulaşmak amaçlanmıştır.

Toplu konut tipolojisi, birden fazla konut biriminin yatay ve dikey olarak bir araya getirilmesiyle oluşan bir sınıflandırmadır (URL-16). Toplu konutlar, kentin fiziksel ve sosyal karakteri üzerinde büyük etkisi olan yapı türleridir. Toplu konut inşaatının temel amaçları afet ve göç durumlarında insanların barınma ihtiyacını sağlamak ve sanayileşme sonucu hızla artan ve artmaya devam eden kent nüfusunun konut ihtiyacını karşılamak olarak açıklanabilir (Evren, 2014).

Artan konut talebi ve ihtiyacı dikkate alındığında, ülkemizde ve dünyada büyük bir yapılaşma süreci başlamıştır. Bu süreçte çevreye ve doğaya verilen zarar oldukça fazladır. Bu zararın yanında, sınırlı olan doğal kaynakların tüketimi artmaya devam etmekte ve ileride yaşanacak büyük kıtlık sorunlarına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanan 11. Kalkınma Planı’nda, Konut Politikaları Özel İhtisas Komisyonu tarafından hazırlanan Konut Politikaları kitapçığında, ülkemizdeki konut sorunları ele alınarak yeni stratejiler belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Bu kapsamda, kentsel alanlarda gittikçe artan konut sorunu ve talebi için izlenen ekonomik

adımların yanında, daha sürdürülebilir ve yaşanabilir konutlar üretmek için yeni politikalar belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Sürdürülebilir konut tasarımı anlamında, enerji verimliliği gündeme getirilmiş ve konutlarda yenilenebilir enerji kullanımının arttırılması ile ilgili stratejiler geliştirilmesi gerektiğine değinilmiştir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Bu bağlamda gerçekleştirilmesi hedeflenen politikalarda yeni konut tasarımlarında ve mevcut konutların iyileştirilmesinde sürdürülebilirlik ilkeleriyle hareket edileceği belirtilmiştir. Sürdürülebilirlik ilkeleri altında, su ve elektrik kullanımında yenilenebilir kaynak kullanımına yönelen, kullanım sularının gri su dönüştürme yöntemleriyle tekrar kullanımını sağlayan, doğru malzeme seçimi ve ısıtıl korunum yöntemleriyle ısınma ve soğutma anlamında kullanılan enerji tüketimini azaltmayı hedefleyen, sürdürülebilir malzeme kullanımına öncelik veren, bulunduğu bölge koşullarına göre tasarlanmış, insan sağlığını ve konforunu dikkate alan tasarım ve üretim politikalarının izlenmesi amaçlanmıştır (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Bu politikalar doğrultusunda, konutlarda kaynak tüketimini en aza indiren, gerektiğinde kendi enerjisini kendi üretebilen, sürdürülebilir kaynak kullanımını destekleyen yapıların üretimini teşvik eden maddeler belirlenerek, her alanda zorunlu kılınmalıdır.



5. EL CEZERİ

Bu bölümde El Cezeri'nin hayatı ve Artuklu Sarayı'nda hayata geçirdiği icatları ele alınmıştır. El Cezeri'nin buluşlarında kullandığı prensipler ve icatları görsellerle desteklenerek tanıtılmıştır.

5.1. El Cezeri'nin Yaşamı

El-Cezeri Mezopotamyalı, eski deyiimi ile Cezirelidir. Yabancı literatürde tam ismi, Abū al-'Izismā'il b. al-Razāz al-Jazarī olarak geçmektedir. Bu çalışmada bundan sonra Abū al-'Izismā'il b. al-Razāz al-Jazarī ismi yerine El Cezeri kısaltması kullanılacaktır.

El Cezeri, dünya bilim tarihinde sibernetik ve robot bilimi alanında çalışan ilk bilim adamı olarak kabul edilir. 1206'da Diyarbakır Artuklu Sarayı'nda icatlarını bir araya getirip anlattığı bir mühendislik kitabını kaleme almıştır. Eserinin adı El Cāmi-u'l Beyn'el İlmî ve ElAmelî'en Nâfi fî Sınâ'ati'l Hiyel. Türkçesi "Mekanik Hareketlerden Mühendislikte Faydalanmayı İçeren Kitap" anlamına gelmektedir (Yörük ve Çırak, 2016). El Cezeri, bu sarayda ilk olarak Nureddin Muhammed'e, daha sonra oğulları Kutbuddin II. Sökmen'e ve kitabı yazmasını isteyen Sultan Nasıruddin Mahmud'a en az 26 yıl boyunca, sarayın baş mühendisi olarak hizmet vermiştir. Cezeri hakkında ulaşılabilen bilgiler oldukça sınırlıdır. Kaleme aldığı Kitab'ül Hiyel'in önsözünde kendisi hakkında yazdığı bilgiler dışında kesin bilgilere ulaşılamamaktadır. Kitab'ül Hiyel'in dili Arapçadır. Kitapta su ile çalışan saatler, robotlar, saatler, kilit sistemleri, fiskiyeler, su yükseltme mekanizmaları gibi 50 adet araç ve makinenin tasarımları, Cezeri'nin kendisine ait el çizimleriyle desteklenerek anlatılmıştır (Çalışkan, 2019).

El Cezeri, mekanik makineler ve robotlar tasarlayarak günlük yaşama entegre etmiş, sibernetiğin öncüsü ve makine mühendisi olarak kabul edilen bir dehadır. Özellikle su gücüyle çalışan veya su temini için kullanılan makineler üretmesi nedeniyle "üstün bir su mühendisi" olarak bilim dünyasında tanınır (Çakır, 2018).

5.2. El Cezeri'nin İcatları

Cezeri icatlarında özellikle hava ve boşluk prensiplerini kullanarak statik denge ve su hareketlerini elindeki imkanları en iyi şekilde değerlendirerek tasarlamış ve makinelerinin

amacına uygun olarak kusursuz bir şekilde çalışmasını sağlamıştır (Çalışkan, 2019).

Cezeri icatlarının bir kısmını işlevsellik, bir kısmını ise tamamen estetik amaçlarla yapmıştır. Gündelik işlevleri yerine getiren robotları genellikle insan şeklinde tasarlamıştır. Bu robotlar misafirlere kadeh sunmak, abdest alan bir kişiye su ve havlu tutmak gibi işlevleri gerçekleştirmektedir.

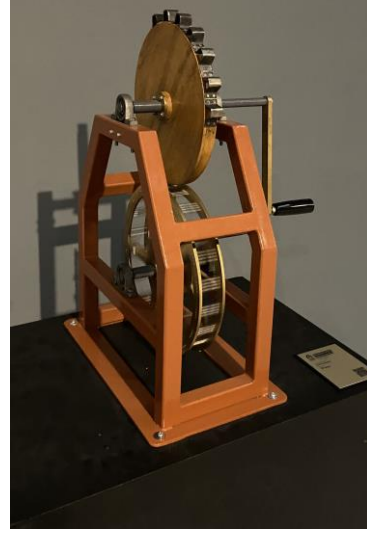


Resim 5.1. El Cezeri icatlarının minyatür modelleri (CerModern El Cezeri'nin Olağanüstü Makineleri Sergisi, 2022)

Cezeri'nin işlevsel icatlarından olan su saatleri ise, zamanı suyla ölçmeyi amaçlamıştır. Enerjisini suyun hareketinden alan saatler tasarlamış, bunları zamanın ölçümünde bir araç olarak kullanmıştır. Bu saatlerden bazıları aynı zamanda belirli aralıklarla ses çıkararak ne kadar zaman geçtiğini hatırlatmak amacıyla tasarlanmıştır.



(a)



(b)

Resim 5.2. El Cezeri icatlarının minyatür modelleri; a) Ses çıkaran su otomatları, b) Dişli segment (Cermmodern El Cezeri'nin Olağanüstü Makineleri Sergisi, 2022)

Cezeri'nin mum saatleri de su saatleri gibi zamanı ölçmek için kullanılmıştır. Ancak bu saatlerde araç su değil ısı olmuştur. Mumun erimesiyle birlikte terazi olarak çalışan bir sistem geliştirmiş, bu hareketle zamanı belirtmiştir. Cezeri tasarladığı su saatlerinde, işlevselliğin yanında görselliği de ön plana çıkarmıştır.



Resim 5.3. El Cezeri icatlarının minyatür modelleri, Filli Su Saati (Cermmodern El Cezeri'nin Olağanüstü Makineleri Sergisi, 2022)

Cezeri, hizmet ettiği sarayı güzelleştirmek için de birçok sistem geliştirmiştir. Su fıskiyeleeri bu amaçla yaptığı icatlarıdır. Kendine ait bir buluş olan denge kefeleeriyle, suyun belirli zaman aralıklarıyla, farklı deliklerden çıkmasını sağlayarak kendi zamanında görsel bir şölen oluşturmuştur.

Cezeri'nin neredeyse bütün icatlarının temelinde olan su, kefe, hava ve denge hareketleri, ses otomatları yapmak için de kullanılmıştır. Hava ve suyun sıkıştırma hareketiyle sürekli ses çıkan otomatlar tasarlamıştır.

Cezeri, uzun yıllar boyunca Artuklu Sarayı'nda mühendis olarak hizmet vermiştir. Artuklular, Fırat ve Dicle Nehri'nin arasında kalan Mezopotamya bölgesinde yaşamaktaydı. Artuklu Devleti, tarımsal faaliyetler konusunda köylüleri destekleyen birçok yatırımlar yapmıştır. Köylülerin suya adil bir şekilde ulaşmasını sağlayan su yolları inşa ettirmiştir (Çalışkan, 2019).

Cezeri, akarsulardan suyun temin edilmesi için çeşitli su yükseltme düzenekleri icat etmiştir. Bunlardan bir kısmı hayvan gücüyle çalışırken, doğrudan akarsu hareketiyle çalışan düzenekleri de mevcuttur. Cezeri su yükseltme düzeneklerinde, dişli çarklar, krank mili, dişli segmentler ve piston sistemi gibi dahice çözümler geliştirmiş, suyu 10 m yüksekliğe kadar pompalamayı başarmıştır.



(a)



(b)

Resim 5.4. El Cezeri icatlarının minyatür modelleri; a) Denge kefi, b) Dört kepeçli su yükseltme düzeneği (Cermmodern El Cezeri'nin Olağanüstü Makineleri Sergisi, 2022)

Cezeri'nin icat ettiği bu düzenekler, günümüz teknolojisinin öncüsü olmuştur. Günümüzde kullandığımız birçok teknolojik araçta, Cezeri'nin buluşu olan krank mili, piston ve çark sistemleri kullanılmaktadır.

Çizelge 5.1. El Cezeri'nin icatlarının sınıflandırılması

ESTETİK	Sohbet meclislerinde kullanılan kaplar ve otomatik araçlar	
	Kadeh otomatı	Sohbet meclislerinin hakemi
	Hazneli kadeh otomatı	Öküzlü içecek otomatı
	Belirli aralıklarla değişen otomatik fiskiyeler ve sürekli ses çıkaran otomatlar	
	Tek başlıklı kefeli fiskiye	Kefeli çift vanalı fiskiye
	Çift başlıklı kefeli fiskiye	Küreli ses otomatı
	Tek başlıklı şamandıralı fiskiye	Terazili ses otomatı
	Çift başlıklı şamandıralı fiskiye	Şamandıralı ses otomatı
	Tarceharlı çift vanalı fiskiye	Kepçeli su yönlendirme düzeneği
FONKSİYONEL	Sabit saate ve güneş saatine göre zamanın geçişini bildiren su ve mum saatleri	
	Filli Su saati	Anıt su saati
	Kayıklı Su Saati	Davulcu su saati
	Kayıkcı Saati	Kılıç dövüşçüsünün mum saati
	Tavuş Kuşlu Su saati	Katipli mum saati
	Müzikli eğlence kayığı	Maymunlu mum saati
	Bardak su saati	Kapılı mum saati
	Kan aldırma ve abdest ile ilgili otomatik araçlar	
	Rahipli kan ölçme teknesi	Muhasipli kan ölçme teknesi
	Katipli kan ölçme teknesi	Köşklü kan ölçme teknesi
	Hayvan ve akarsu gücüyle suyu yükselten araçlar	
	Tek kepçeli su yükseltme düzeneği	Çift etkili su yükseltme pompası
	Dört kepçeli su yükseltme düzeneği	Havuzlu su yükseltme dolabı
	Kranklı su yükseltme kepçesi	

5.2.1. El Cezeri'nin icatlarında kullandığı mekanizmalar

El Cezeri, icatlarının neredeyse bütünün çalışmasının temelinde yer alan bazı mekanizmalar geliştirmiştir. Bu icatlar ve çalışma prensipleri günümüzde kullanılan birçok buluşa öncülük etmiştir.

Metal dişli çarklar ve segment dişliler

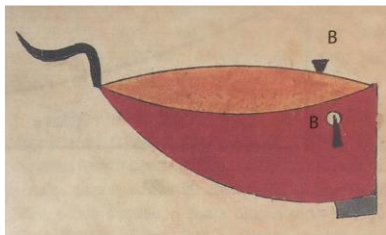
Cezeri, birçok icadında dişli çark sistemlerini kullanmış, bu sayede kuvvet ve hareket aktarımını sağlamayı başarmıştır. Birbirine dik şekilde konumlanmış metal dişli çarkları hem ağır yük taşıyan sistemlerinde hem de çok az kuvvet gerektiren yerlerde kullanmıştır (Çalışkan, 2019).



Şekil 5.1. El Cezeri'nin makinelerinde kullandığı dişliler (Çalışkan, 2019)

Kefe

Hassas dengeler üzerine tasarlanmış olan kefenin, yarım saat, çeyrek saat ve bir saat gibi belirlenmiş zaman aralıklarıyla dengesi değişerek içine dolan suyu boşaltmaktadır. Cezeri bu dengeyi genellikle su ile sağlamıştır (Çalışkan, 2019). El Cezeri kitabında kefeyi anlatırken kenarlara doğru daralan bir yarım tase benzeterek kayığa benzediğini söylemiştir (Çakır, 2018).



Şekil 5.2. Denge kefesinin Cezeri'ye ait el çizimi (Çakır, 2018)



Şekil 5.3. El Cezeri denge kefesi modeli (Çalışkan, 2019)

Krank mili

Cezeri'ye ait bir buluş olan krank mili, dairesel hareket ile doğrusal hareket arasında dönüşümü sağlayan bir düzendir. Günümüzde makine ve motor yapımının temelini oluşturan buluşlardandır. Krank mili, Cezeri'nin buluşundan 300 yıl sonra ilk kez Leonardo Da Vinci tarafından kullanılmıştır. İlk buharlı lokomotiflerin tekerlerinin dönmesinde krank mili kullanılmıştır.



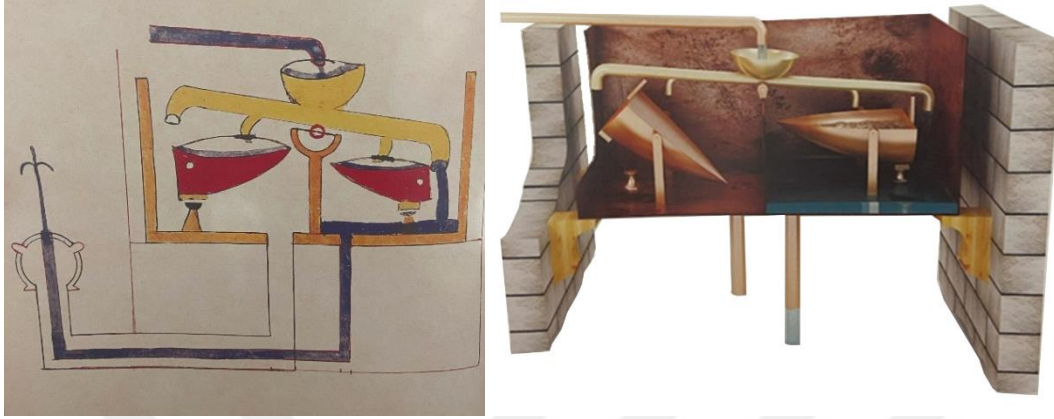
Şekil 5.4. Krank mili ile çalışan su kepçesi modeli (Çalışkan, 2019)

5.2.2. Otomatik fışkiyeler

Tek başlıklı kefeli fışkiye

Cezeri'nin bu fışkiye sisteminde kullandığı mekanizma, suyu bir saat arayla iki farklı boru hattına yönlendirmektedir. Mekanizmada bir terazili yönlendirme borusu ve borudan bir saat

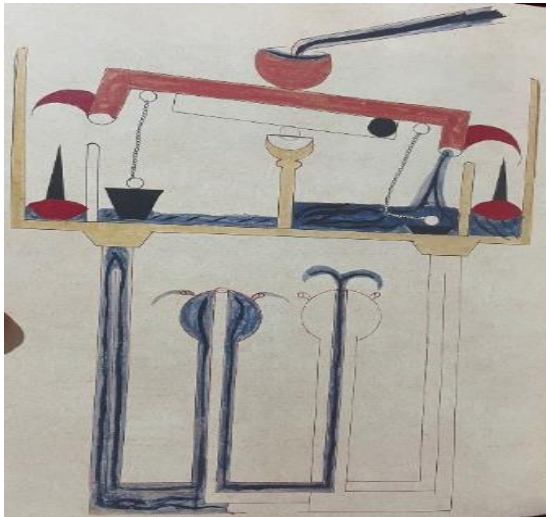
boyunca akan suyla dolduktan sonra devrilen iki ayrı kefe kullanılmıştır. Bu kefelerin çalışma mekanizması, tamamen Cezeri'ye ait bir buluştur. Bu iki kefe sayesinde faz oluşturmuştur (Çalışkan, 2019).



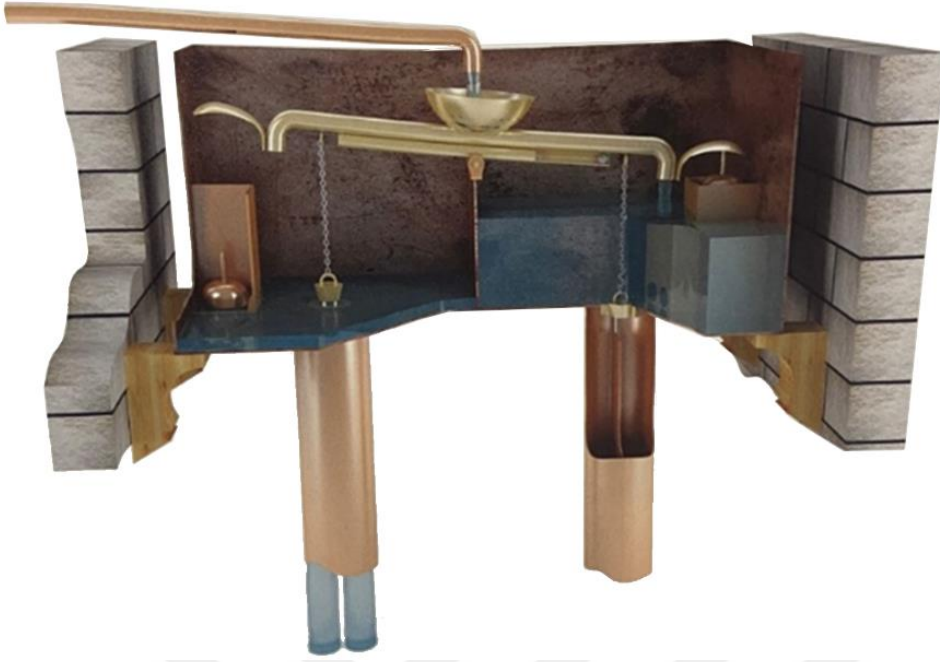
Şekil 5.5. Tek başlıklı kefeli fiskiye (Çalışkan, 2019)

Tek başlıklı şamandıralı fiskiye

Bu mekanizmanın çalışma prensibi de tek başlıklı kefeli fiskiye ile aynıdır. Ancak burada fişkirtma başlığındaki fişkirtma şekli, 15 dakika aralıklarla yay şeklinde veya inci çiçeğine benzer şekilde oluşmaktadır. Mekanizmada yine terazili yönlendirme borusu vardır. Bu borunun üzerinde kararlı dengeyi kolayca sağlamak için ayrıca bir küreli silindir kullanılmaktadır. Bu sistemde su önce peş peşe haznelerden birinde birikmekte ve biriken suları fişkirtma başlığına ulaştırmak için iki ayrı şamandıra ve iki ayrı valf kullanılmaktadır. Burada da çok hassas denge şartları gerçekleştirilmiştir (Çalışkan, 2019).

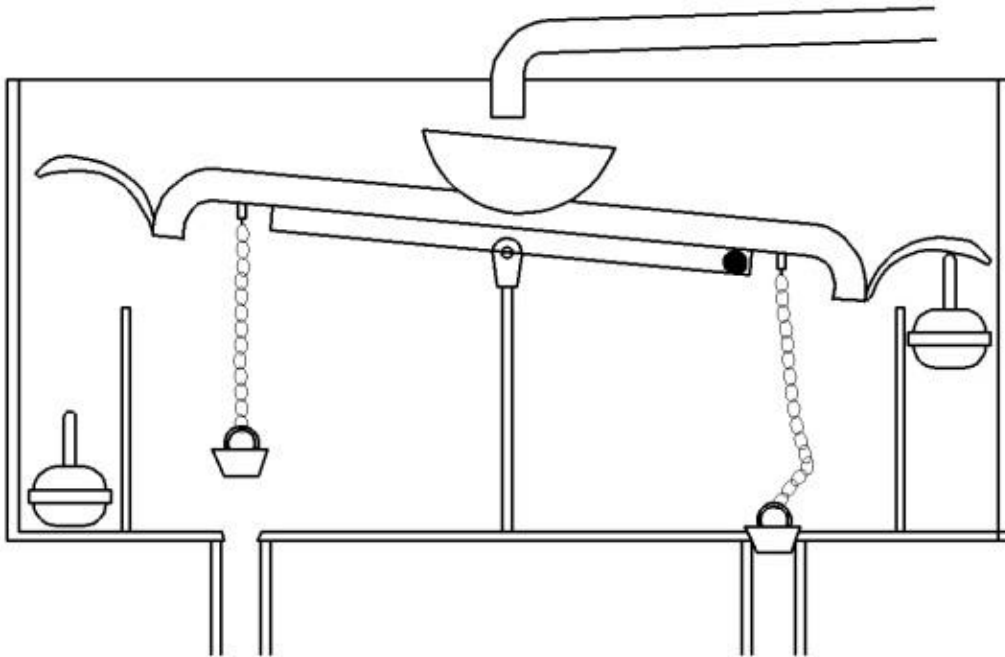


Şekil 5.6. Tek başlıklı şamandıralı fiskiye Cezeri'ye ait el çizimi (Çalışkan, 2019)



Şekil 5.7. Tek başlıklı şamandıralı fiskiye modeli (Çalışkan, 2019)

Bu sistemin haznelerinde, dengeyi sağlayan kefeler yerine şamandıralar kullanılmıştır. Şamandıralar üzerinde boruyu itmeye yarayan parçalar vardır. Şamandıraların itme kuvveti hem boruyu yönlendirmeye hem de hazne içerisindeki tıpların açılmasını sağlayacak güçte olmalıdır (Çakır, 2018).



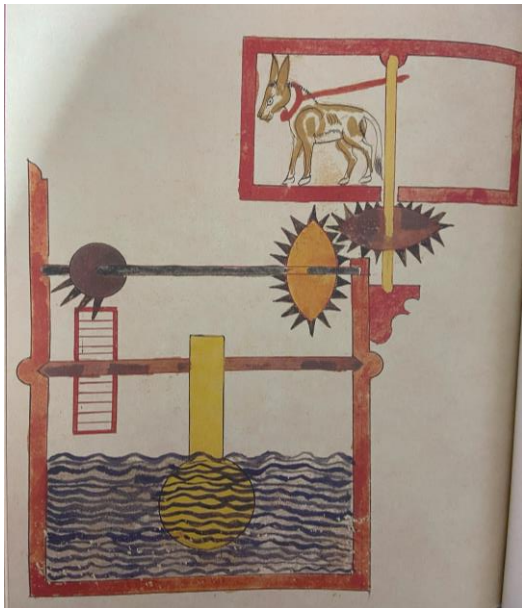
Şekil 5.8. Tek başlıklı şamandıralı fiskiye (Çakır, 2018)

5.2.3. Su yükseltme düzenekleri

Tarihte birçok medeniyet, yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için su kenarlarında kurulmuştur. Özellikle tarımın yaşamsal refah için önemi, suyun medeniyetler için önemini arttırmıştır. Müslümanlar tarımda sulama sistemlerini geliştirmek ve kolaylaştırmak için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. El Cezeri'nin su yükseltmek için yaptığı mekanik icatlarıyla tarımsal faaliyetler için derin vadi ve akarsulardan sulama suyu çekebilmeyi amaçlamıştır. Cezeri bu icatlarında hayvan gücü ve akarsuyun kendi hareketinden faydalanarak dahice sistemler geliştirmiştir. Bu sistemlerde çeyrek dişliler, birbirine dik ekseninde çalışan metal dişli çarklar, krank mili gibi buluşlarını kullanarak suyun yükseğe taşınmasını sağlamıştır (Çalışkan, 2019).

Tek kepçeli su yükseltme düzeneği

Hayvan gücüyle çalışan bu düzenek, en basit temelli su yükseltme düzeneğidir. Hayvanın dönmesiyle oluşan yatay doğrusal hareket, birbirine dik çalışan dişliler sayesinde kepçeyi döndürmek için gerekli olan dikey doğrusal harekete dönüşür. Bu kepçenin suyu kanala aktarabilmesi için tam dönme hareketi yapmaması gerekir. Bu nedenle Cezeri, faz süresini değiştirmek için segment dişli kullanarak hayvanın 360 derece dönme hareketiyle kepçenin 90 derece dönmesini sağlayacak bir sistem kurmuştur. Böylece kendi içinde kanal bulunan kepçe, 90 derece yükselerek suyu ana su kanalına aktarmaktadır (Çalışkan, 2019).



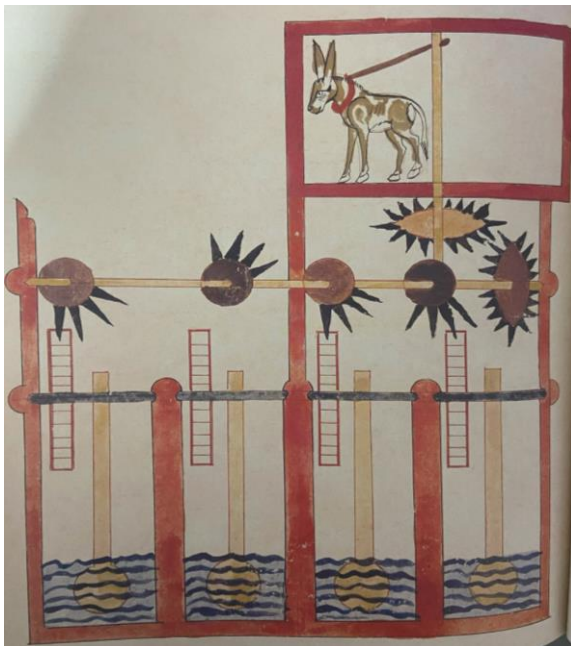
Şekil 5.9. Tek kepçeli su yükseltme düzeneği Cezeri'ye ait el çizimi (Çalışkan, 2019)



Şekil 5.10. Tek kepçeli su yükseltme düzeneği çalışma modeli (Çalışkan, 2019)

Dört kepçeli su yükseltme düzeneği

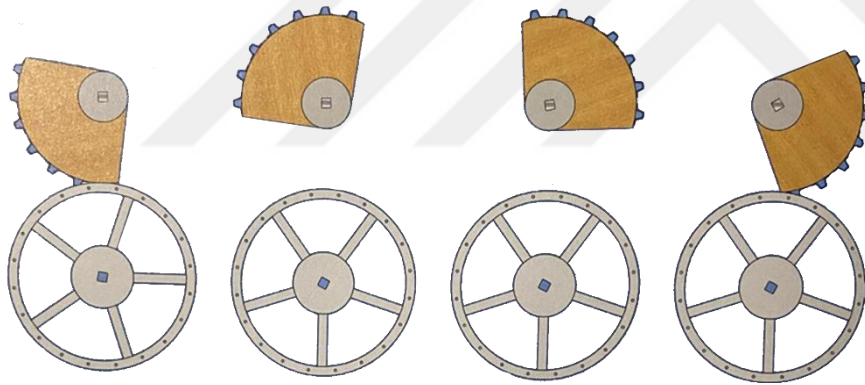
Bu sistemin çalışma prensibi de tek kepçeli sistemin çalışma prensibiyle neredeyse aynıdır. Bu sistemde farklı olan, birbirinin fazını takip eden dört farklı segment çark bulunmasıdır. Bu sayede hayvanın her 90 derece hareketiyle bir kepçe hareketini tamamlıyor ve sistem 4 kat verimle çalışmış oluyor.



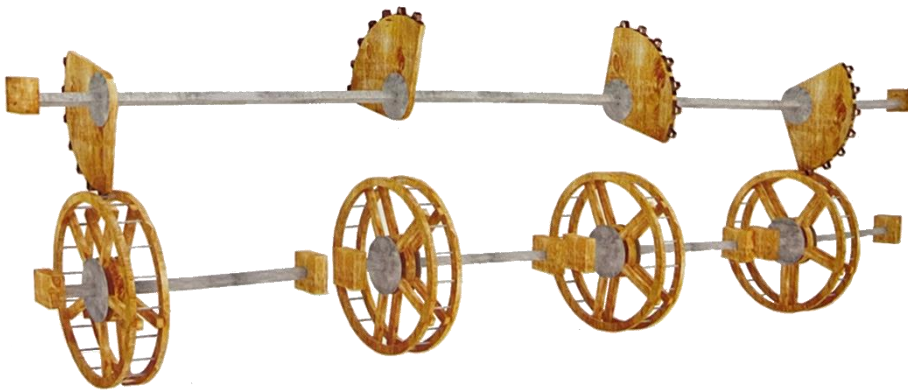
Şekil 5.11. Dört kepçeli su yükseltme düzeneği Cezeri'ye ait el çizimi (Çalışkan, 2019)



Şekil 5.12. Dört kepçeli su yükseltme düzeneği çalışma modeli (Çalışkan, 2019)



Şekil 5.13. Dört kepçeli su yükseltme düzeneği faz oluşturmada kullanılan segment dişliler (Çalışkan, 2019)

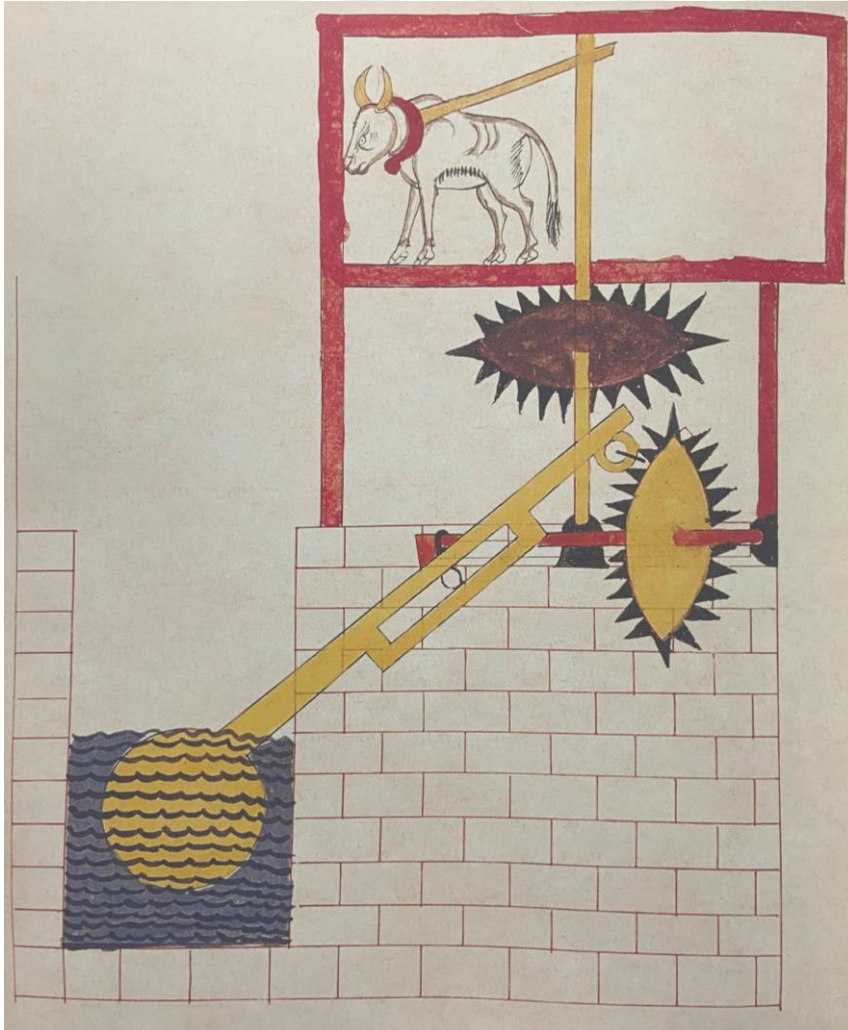


Şekil 5.14. Dört kepçeli su yükseltme düzeneği faz oluşturmada kullanılan segment dişliler (Çalışkan, 2019)

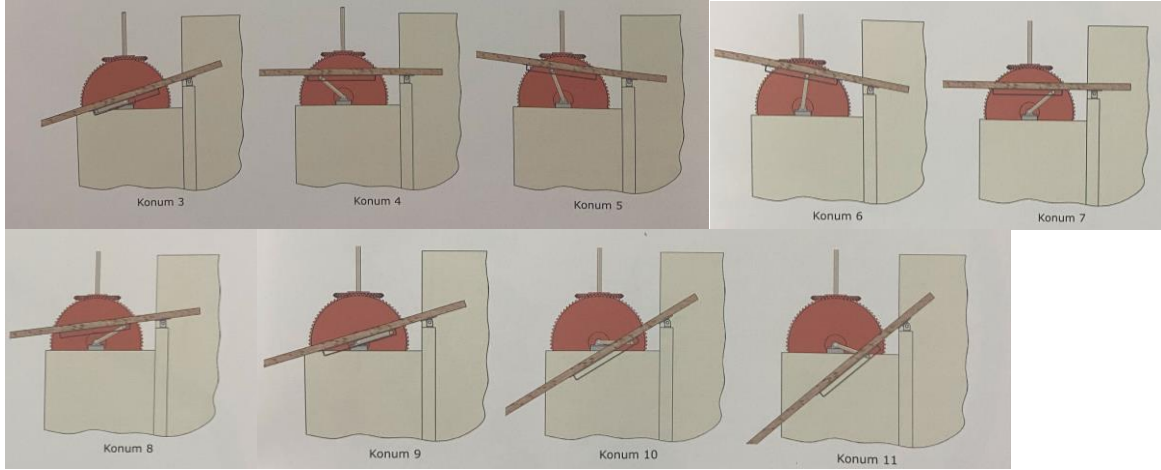
Kranklı su yükseltme kepçesi

Cezeri'nin en önemli buluşlarından biri, birçok icadının yapıtaşı olan krank milidir. Krank mili sayesinde, hayvan gücüyle yatay doğrultuda elde edilen dairesel hareketi, dişli sistemlerle birlikte kullanarak dikey doğrultuda hareket sağlayan dairesel harekete çevirmiştir. Böylece su yükselten mekanizmalar elde etmiştir. Günümüzde krank mili, birçok makinenin temel mekanizmalarındandır. Doğrusal hareketi dairesel harekete çevirmek için kullanılmaktadır (Çalışkan, 2019).

Yine hayvan gücüyle çalışan bu sistem, bu sefer hareketini birbirine bağlı dişliler sayesinde değil, bu dişlilere bağlı çalışan krank kızıağı sayesinde gerçekleştirmektedir. Kuyudan su çıkarmak için geliştirilen bu sistem, daha küçük hayvan gücü gerektirmektedir. Krank mili, hayvanın dairesel dönme hareketini doğrusal harekete çevirerek kepçenin hareket etmesini sağlamaktadır.



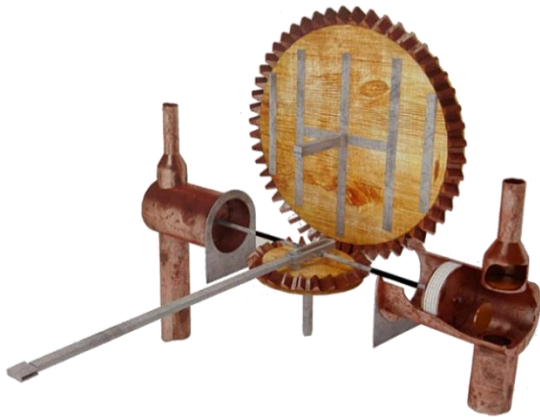
Şekil 5.15. Kranklı su yükseltme kepçesi Cezeri'ye ait el çizimi (Çalışkan, 2009)



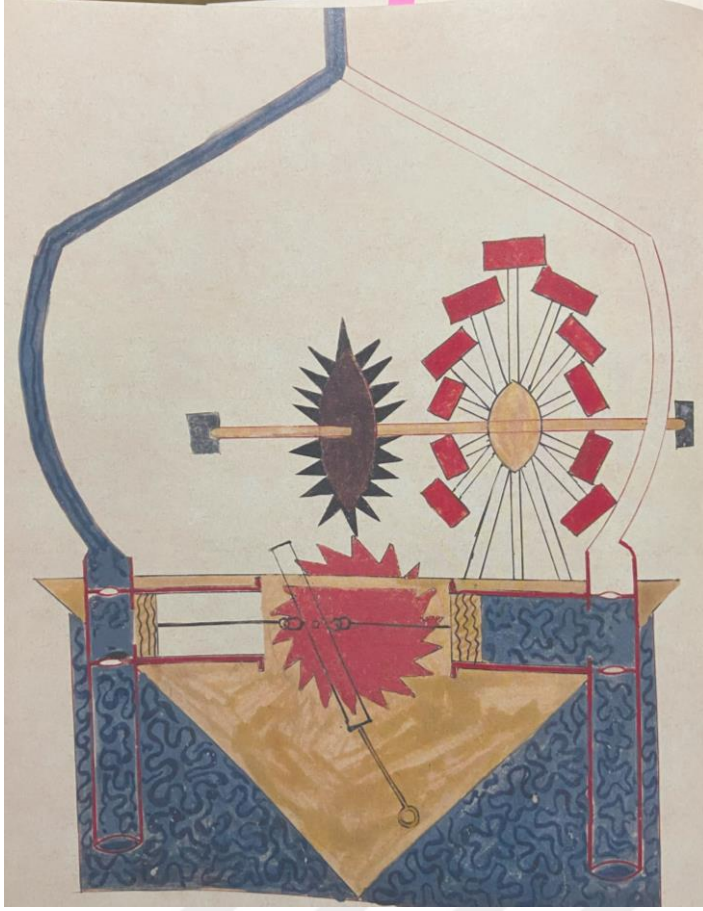
Şekil 5.16. Kranklı su yükseltme kepçesi çalışma şekli (Çalışkan, 2019)

Çift etkili su yükseltme pompası

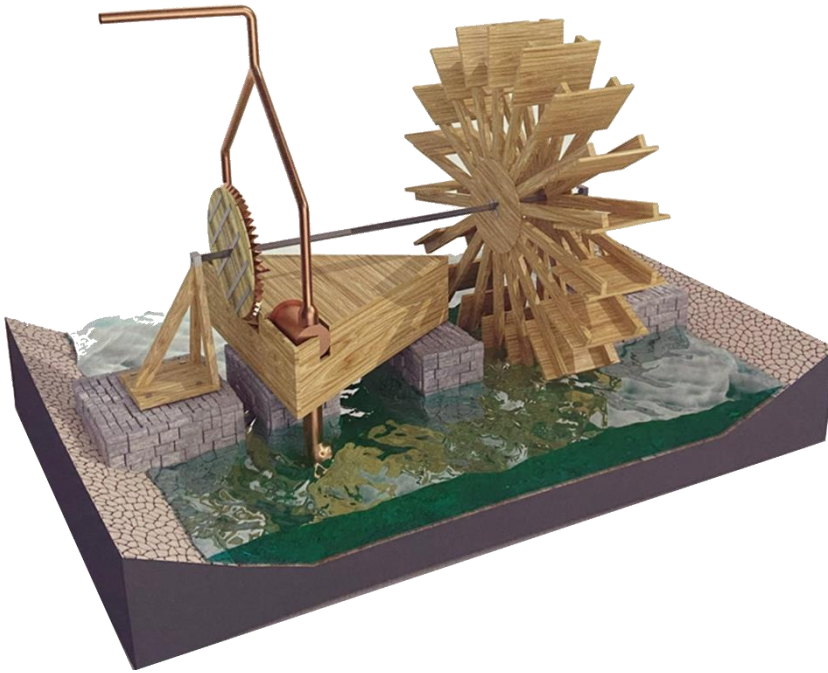
Akarsu gücüyle çalışan bu su pompası, günümüzde de birçok teknolojik icada öncülük etmiş sistemleri içinde barındırmaktadır. Nehir içine yerleştirilen su çarkı ve buna bağlı olan dişliler, sistemin yalnızca nehrin doğal akıntısıyla çalışmasını sağlamıştır. Paletli çark döndüğünde aynı doğrultuda dönen bir dişli çarkı da döndürmektedir. Dişli çarka dik olarak yerleştirilmiş diğer bir dişli çarkın, dairesel hareketi doğrusal harekete çeviren krank milini yatay doğrultuda hareket ettirmesiyle, mile bağlanmış Worthington pompası olarak adlandırılan pistonlar sağa ve sola hareket eder. Eksen miliyle birlikte hareket eden krank mili, dönme hareketini pistonlar yardımıyla mekanik olarak itme hareketine çevirir. Her krank mili hareketinde, pistonlardan biri suyu emmek isterken diğeri itmek ister. Oluşan basınç sayesinde su yükselmeye başlar. Krank milinin çift yönlü çalışması, sistemin verimini iki katına çıkarmıştır (Çalışkan, 2019).



Şekil 5.17. Worthington pompası veya çift etkili pompa (Çalışkan, 2019)



Şekil 5.18. Çift etkili su yükseltme pompası Cezeri'ye ait el çizimi (Çalışkan, 2019)



Şekil 5.19. Çift etkili su yükseltme pompası (Çalışkan, 2019)



6. EL CEZERİ MEKANİĞİ VE RÜZGAR GÜLÜ

Bu çalışmada, EKAP ihalelerinden ulaşılan bir kentsel dönüşüm projesi üzerinde yağmur suyunun site içlerinde en verimli olacak yerlerde konumlandırılmış sarnıçlarda toplanarak suyun bütün bloklara ve dairelere taşınmasını rüzgâr enerjisi ile sağlayacak alternatif bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmış, böylece hem yağmur suyundan yararlanmak hem de toplanan yağmur suyunun enerji kullanılmadan konutlara taşınmasını sağlayan sıfır enerjili bir tasarım üretmek hedeflenmiştir. Bu sistem El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek üretilmiş ve sistemin çalışma prensibi örnek bir çalışma yapılarak görsellerle desteklenmiştir. Tasarlanan yağmur suyu toplama sisteminde, El Cezeri'ye ait Çift Etkili Su Yükseltme Pompası ve Tek Başlıklı Şamandıralı Fıskiye sistemlerin prensiplerinden esinlenilmiştir.

Bu çalışma yapılırken, su toplama sarnıçlarının yağmur suyu toplama hesabı prensipleri yardımıyla site içlerinde en verim alınabilecek yerlerin belirlenmesi için yönlendirmeler yapılmış ve toplanan suyun bütün bloklara ve dairelere enerji gereksinimi olmadan taşınmasını sağlayacak bir sistem önerisi geliştirilmiştir.

6.1. Rüzgar Türbinleri

Elektrik üretimi için rüzgardan yararlanma konsepti ilk defa 1891'de Danimarka'da ortaya çıkmıştır. Bir süre sonra, Amerika Birleşik Devletleri'nde de bu fikir benimsenmeye başlamış ve mevcut yel değirmenleri küçük ama güçlü rüzgar türbinlerine dönüşerek elektrik enerjisi üretme amacıyla kullanılmıştır. Ancak o dönem fosil yakıtlarla elektrik üretiminin maliyeti daha uygun olduğu için rüzgar enerjisi kullanımı yeterince yaygınlaşamamıştır. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi, rüzgar enerjisinin tekrar gündeme gelmesine neden olmuş ve bu sürecin ardından rüzgar türbinleri seri üretime geçmeye başlamıştır. Bu gelişmeyle birlikte rüzgar enerjisi alanındaki yatırımlar artarak rüzgar enerjisi santralleri inşa edilmeye başlanmıştır. İlk olarak kara üzerinde kurulan bu santraller, daha sonra kıyı bölgelerine de kurulmuştur (Özerdem, 2003).

Enerji üretimi için kullanılacak rüzgar türbini metoduna karar vermek için kaynağın elde edilebilirliği, çevreye olan etkileri, kurulum maliyetleri gibi faktörler söz konusudur (Dündar, 2007).

Rüzgar türbinleri, çeşitli faktörlere bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler arasında kullanıldıkları yer, boyut, tip, dönme eksenleri, güç kontrol sistemleri ve rotorun dönüş hızı gibi etkenler yer almaktadır. Bu sınıflandırmalar, farklı ihtiyaçlara ve koşullara uygun çeşitli rüzgar enerjisi çözümlerinin geliştirilmesine olanak tanır. (Emniyetli, 2007)

6.1.1. Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Bu tür türbinlerde, genellikle iki kanat bulunur ve bu kanatlar, türbin milinin uzun eksenine paralel bir elips oluşturacak şekilde düzenlenir. Kanatlar arasındaki çekme kuvveti farkı, dönme hareketini oluşturur (Emniyetli, 2007).

Düşey eksenli rüzgar türbinleri, her yöne dönebilen ve değişen rüzgar yönlerinde çalışabilen özelliklere sahiptir. Bu, rüzgarın her yönden kabul edilebilmesi anlamına gelir. Ancak, bu tür türbinlerin güç katsayısı genellikle düşüktür, bu nedenle ticari güç üretiminde tercih edilmemektedir (Emniyetli, 2007).

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin bazı avantajları vardır (Emniyetli, 2007).

- Jeneratör ve dişli kutusu yerden monte edildiği için kule maliyeti yoktur.
- Rüzgarı her yönden alabildiği için dümen sistemine ihtiyaçları yoktur.
- Türbin mili dışındaki diğer parçaların bakımı ve onarımı kolaydır.
- Üretilen güç toprak seviyesindedir, bu da nakliyeyle daha kolay hale getirir.

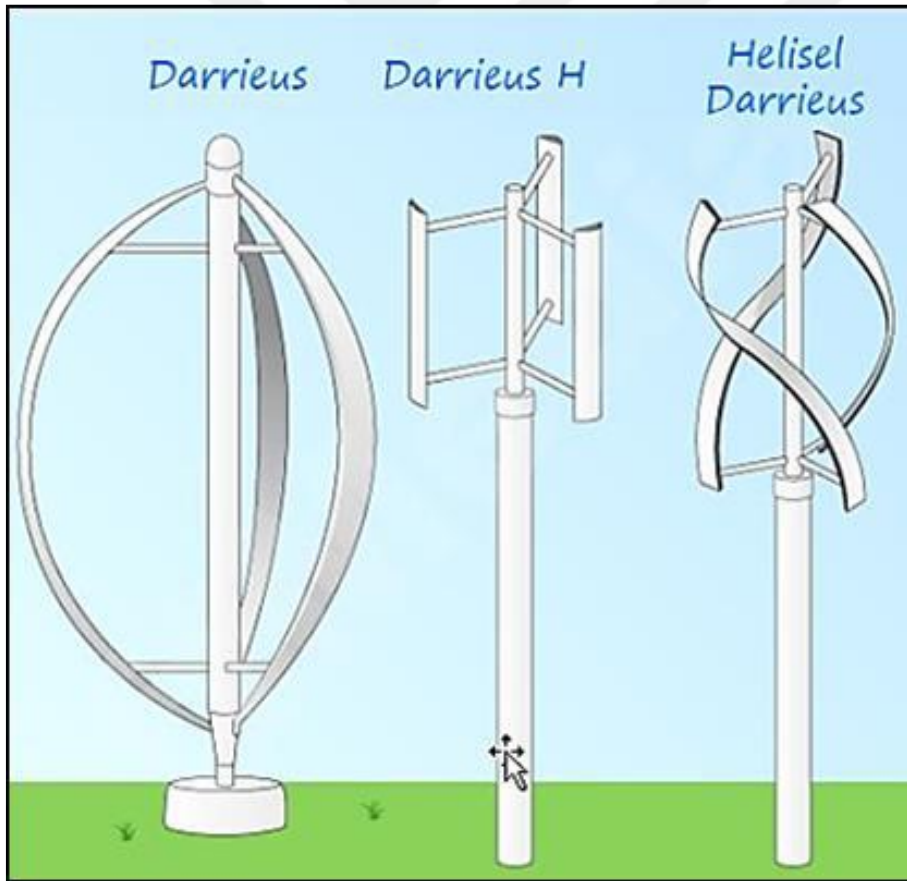
Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin avantajlarının yanında bazı zayıf yönleri de vardır (Emniyetli, 2007).

- Yere yakın oldukları için alt noktadaki rüzgar hızları düşüktür.
- Genellikle düşük verimlilik gösterir.
- Çalışmaya başlamak için bir motor tarafından ilk hareket verilmesi gerekir.
- Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekebilir, bu da pratik değildir.
- Türbin mili yatakları değiştirilmesi gerektiğinde, makinenin tamamen yerleştirilmesi gerekir.

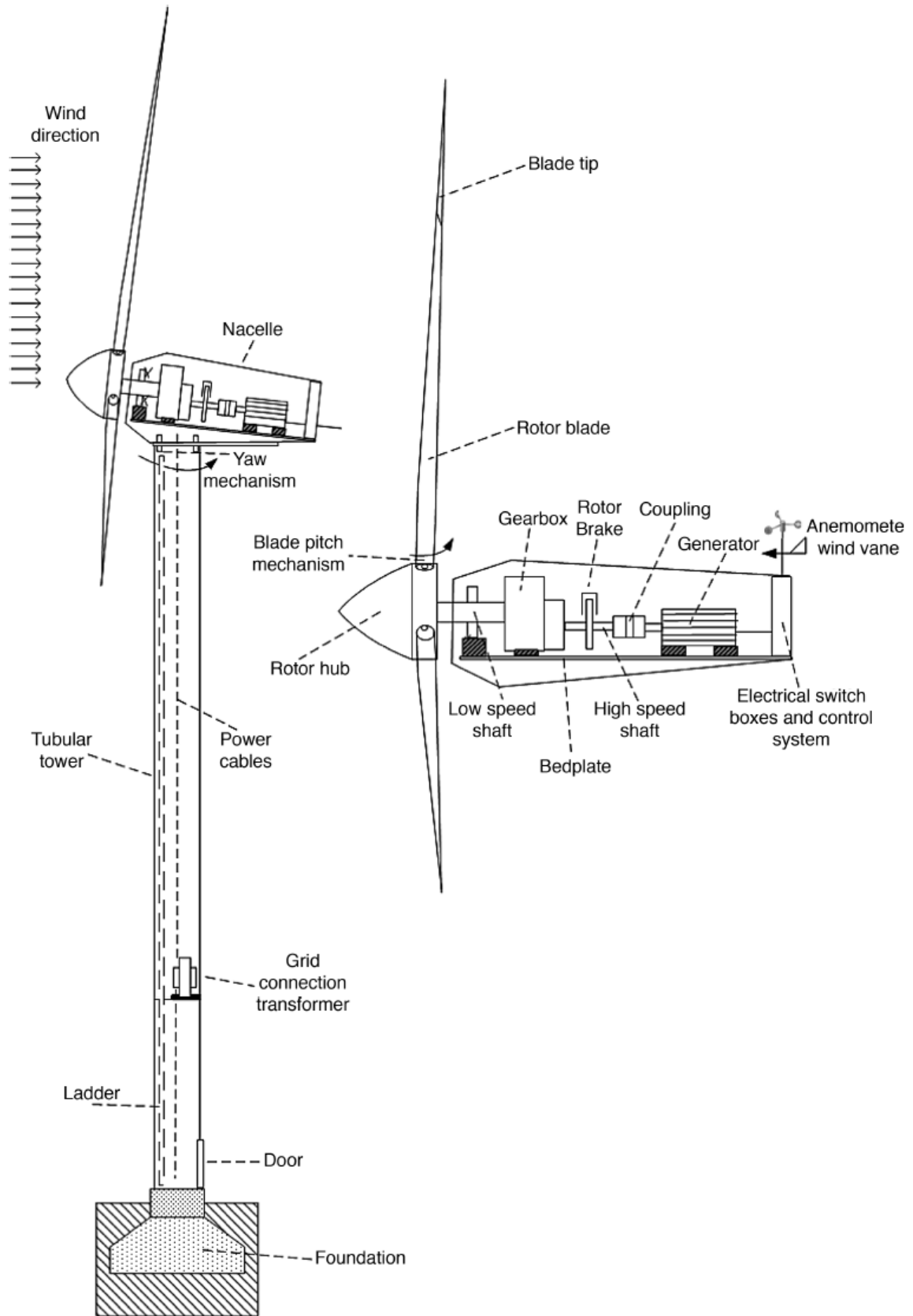
6.1.2. Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Bu tür türbinlerde, dönme eksenini rüzgar yönüne paraleldir, ancak kanatlar rüzgar yönüyle dik bir açı yapar. Genellikle ticari türbinler yatay eksenlidir. Rotor, rüzgarı en iyi şekilde yakalamak için döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir. Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanmıştır. Rüzgarı arkadan alan türbinlerin ise yaygın bir kullanım alanı pek bulunmamaktadır.

Rüzgarı önden alan türbinlerin avantajı, kule tarafından oluşturulan rüzgar gölgelenmesinden etkilenmemeleridir. Ancak, bu tür türbinlerin bir dezavantajı, türbinin sürekli olarak rüzgara bakabilmesi için bir dümen sistemi gerektirmesidir. Rüzgarı arkadan alan türbinlerde ise, eğer rotor ve gövde uygun şekilde tasarlanmışsa, dümen sistemine ihtiyaç duyulmaz.



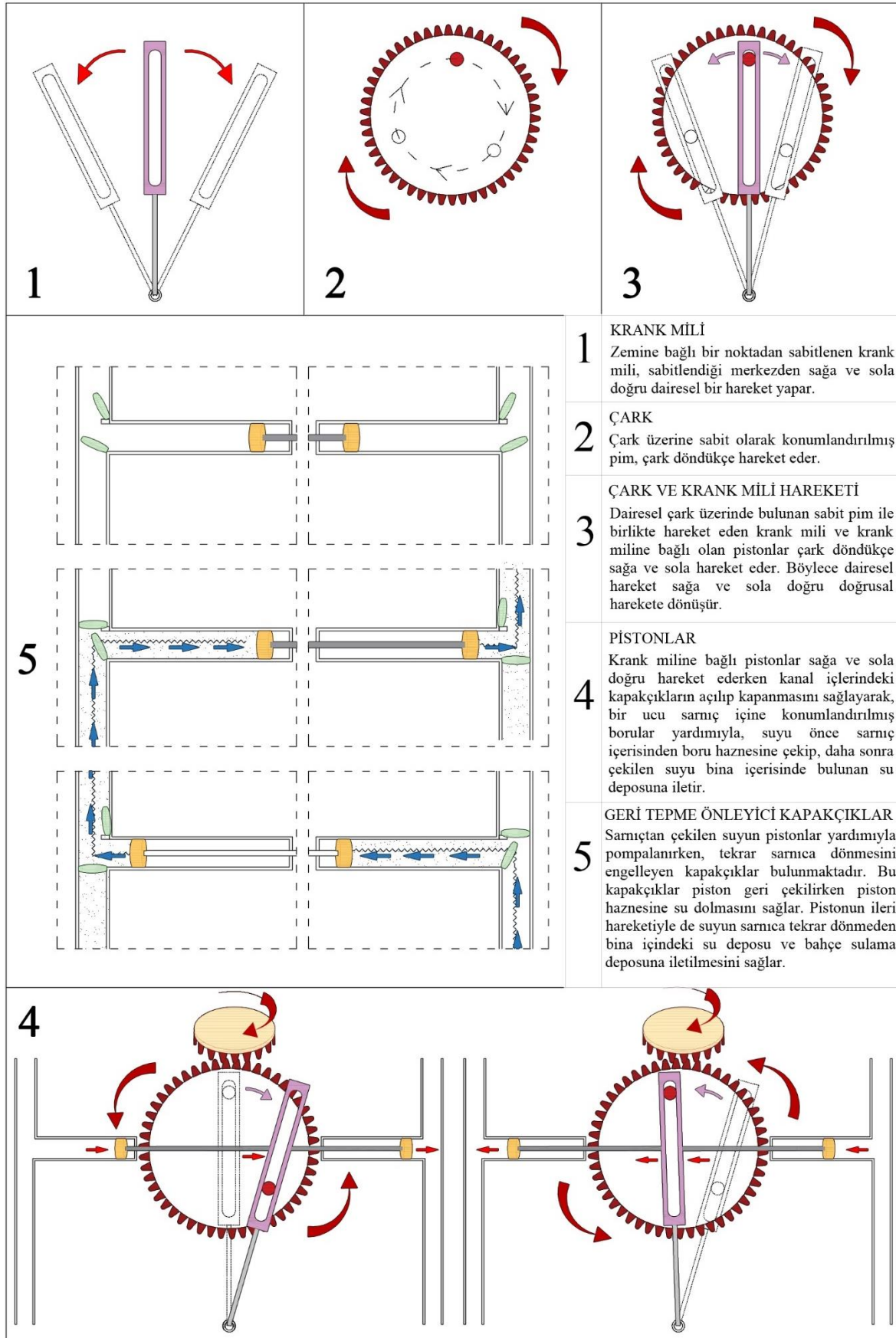
Şekil 6.1. Düşey eksenli rüzgar gülü çeşitleri (Elibüyük ve Üçgül, 2014)



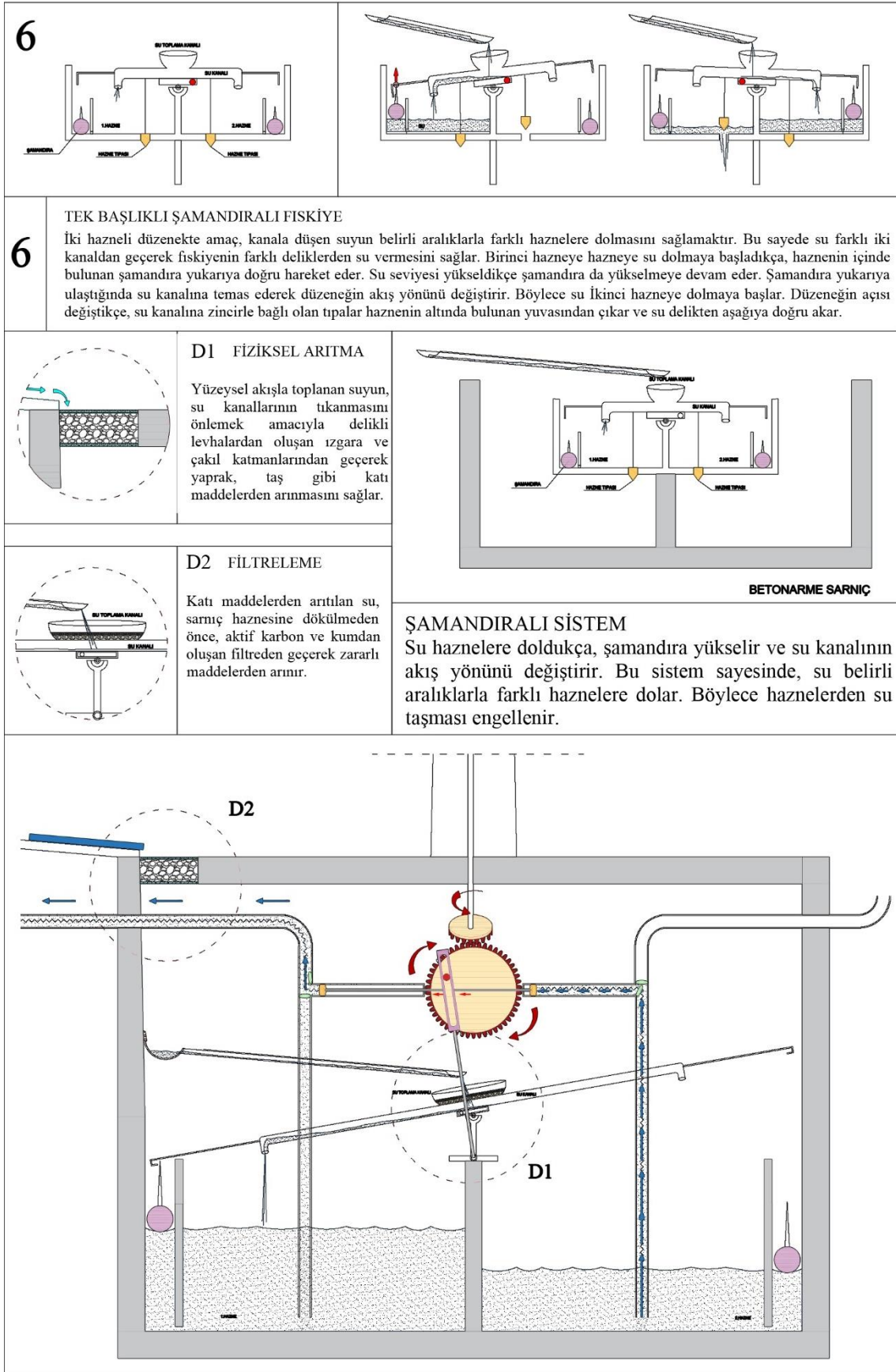
Şekil 6.2. Yatay eksenli rüzgar türbini (Nak, 2013)

6.2. El Cezeri Mekanikleriyle Rüzgar Güllü Pompası

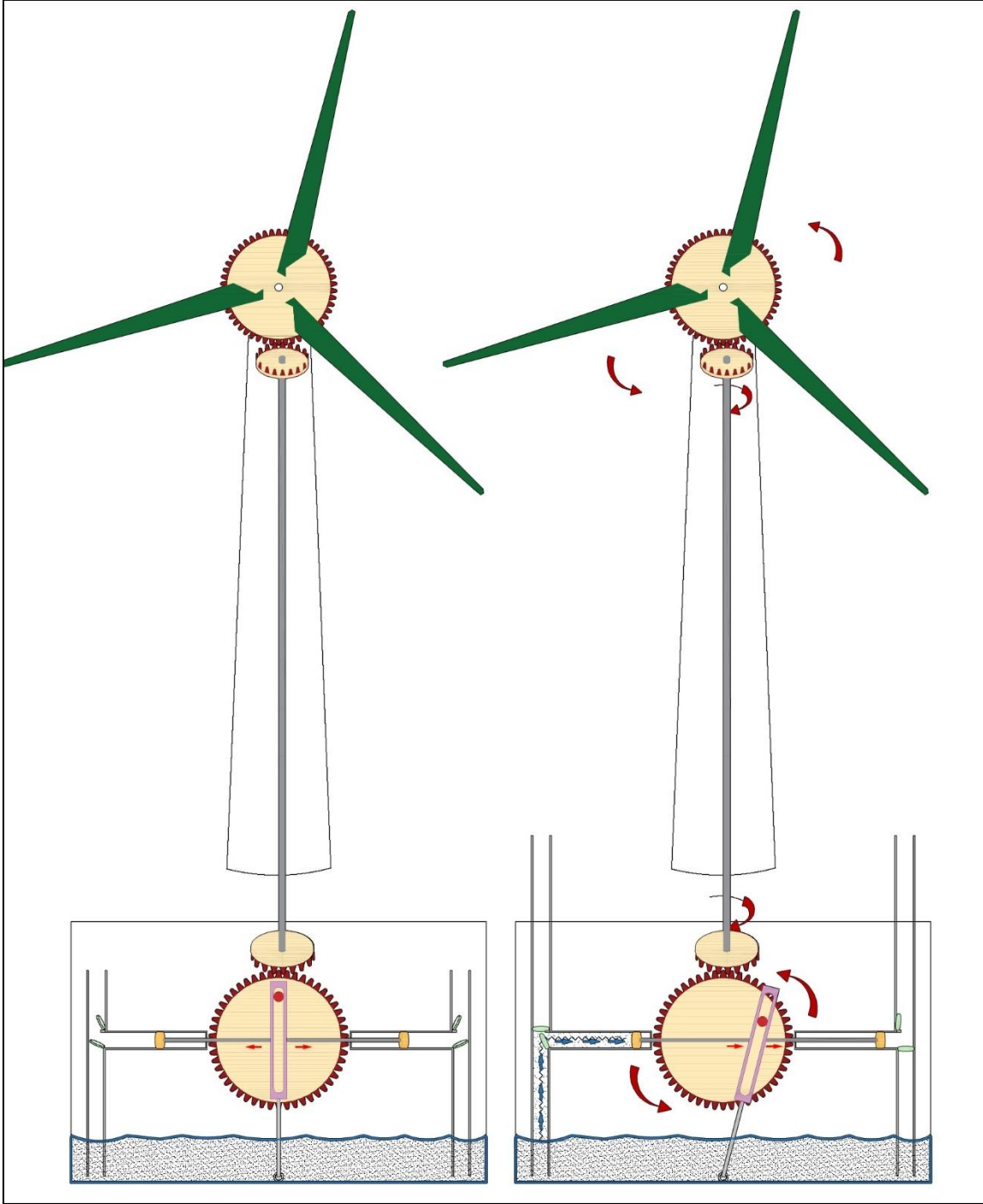
Çatılara, kaldırımlara ve yeşil alanlara düşen yağmur suları, eğim verilen kaldırımlar, yürüme yolları ve su kanallarıyla fiziksel bir arıtmadan geçerek sarnıca aktarılır. Sarnıçta toplanan yağmur suları, rüzgar gülüne bağlı çark ve piston sistemi yardımıyla polietilen borularla çatı katında bulunan kullanım suyu deposuna ve peyzaj alanında bulunan sulama suyu deposuna aktarılır. Su deposunun kapasitesi, günlük kullanım suyu ihtiyacına göre belirlenir. Toplanan yağmur suyu, yer çekimi yardımı ile tuvalet temizliği, çamaşır yıkama, araç yıkama gibi alanlarda kullanılmak üzere dairelere aktarılır. Yağmur suyu toplama sistemleri tasarlanırken, tasarlanan bölgenin iklimsel koşulları dikkate alınarak konumlandırılmalı ve kapasite hesabı yapılmalıdır. Sarnıç kapasitesi için gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra, sarnıcın konumlandırılabilceği bölgeler tespit edilir. Gereken kapasiteye ve arazinin büyüklüğüne göre bir veya daha fazla yağmur suyu sarnıcı konumlandırılabilir. Yağmur suyu sarnıçları konumlandırılırken, çatıdan ve zeminden toplanabilecek suyun en verimli olduğu bölgeler seçilmelidir. Su ne kadar uzun yol kat ederse, yüzeysel kayıplar da o kadar artacağı için, sarnıçların merkezi konumlara yerleştirilmesi bu kayıpların önüne geçilmesini sağlar. Sarnıç ile entegre olarak çalışacak rüzgar güllerinin konumu da El Cezeri mekanikleri kullanılarak tasarlanan yağmur suyu toplama sisteminin aktif olarak çalışabilmesi için oldukça önemlidir. Rüzgar gülü yüksekliği çatı seviyesinden yukarıda tutularak binaların rüzgarı engellemesi önlenabilir. Rüzgar gülü binalar arasında yoğun rüzgar sirkülasyonu olan bölgelerde daha düşük yükseklikte de inşa edilebilir.



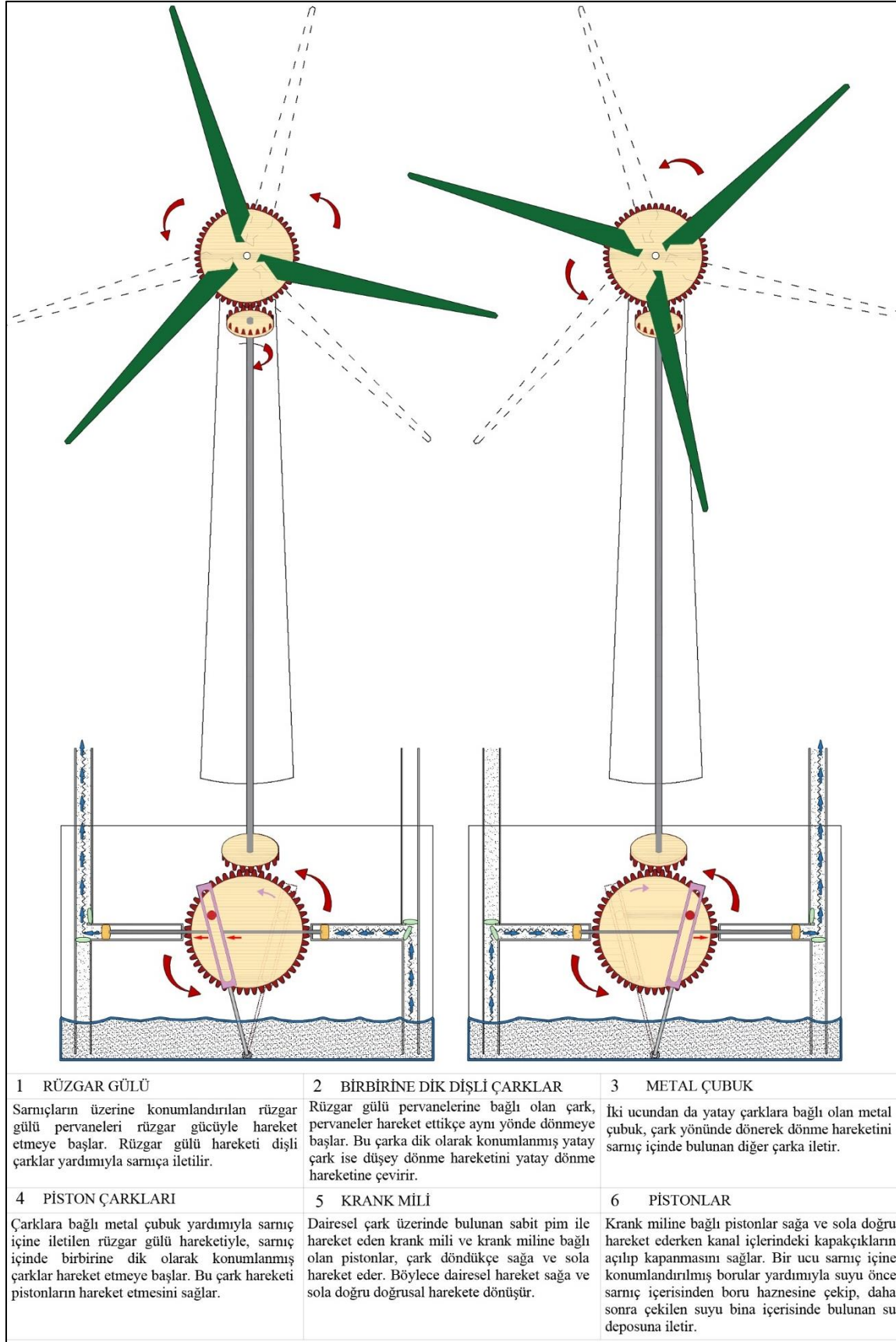
Şekil 6.3. El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sistem detay çizimi



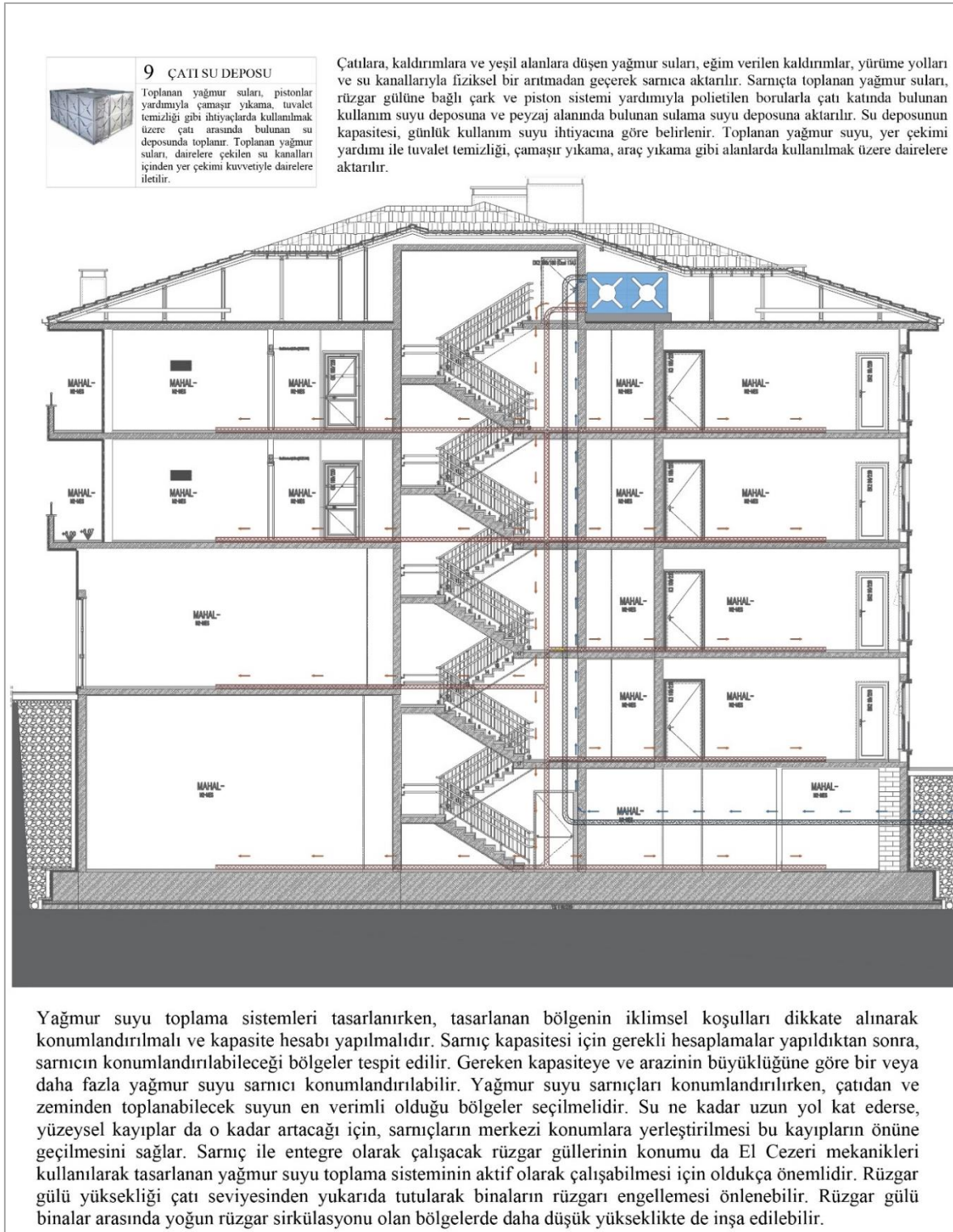
Şekil 6.4. El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sistemi, sarnıç detay çizimi



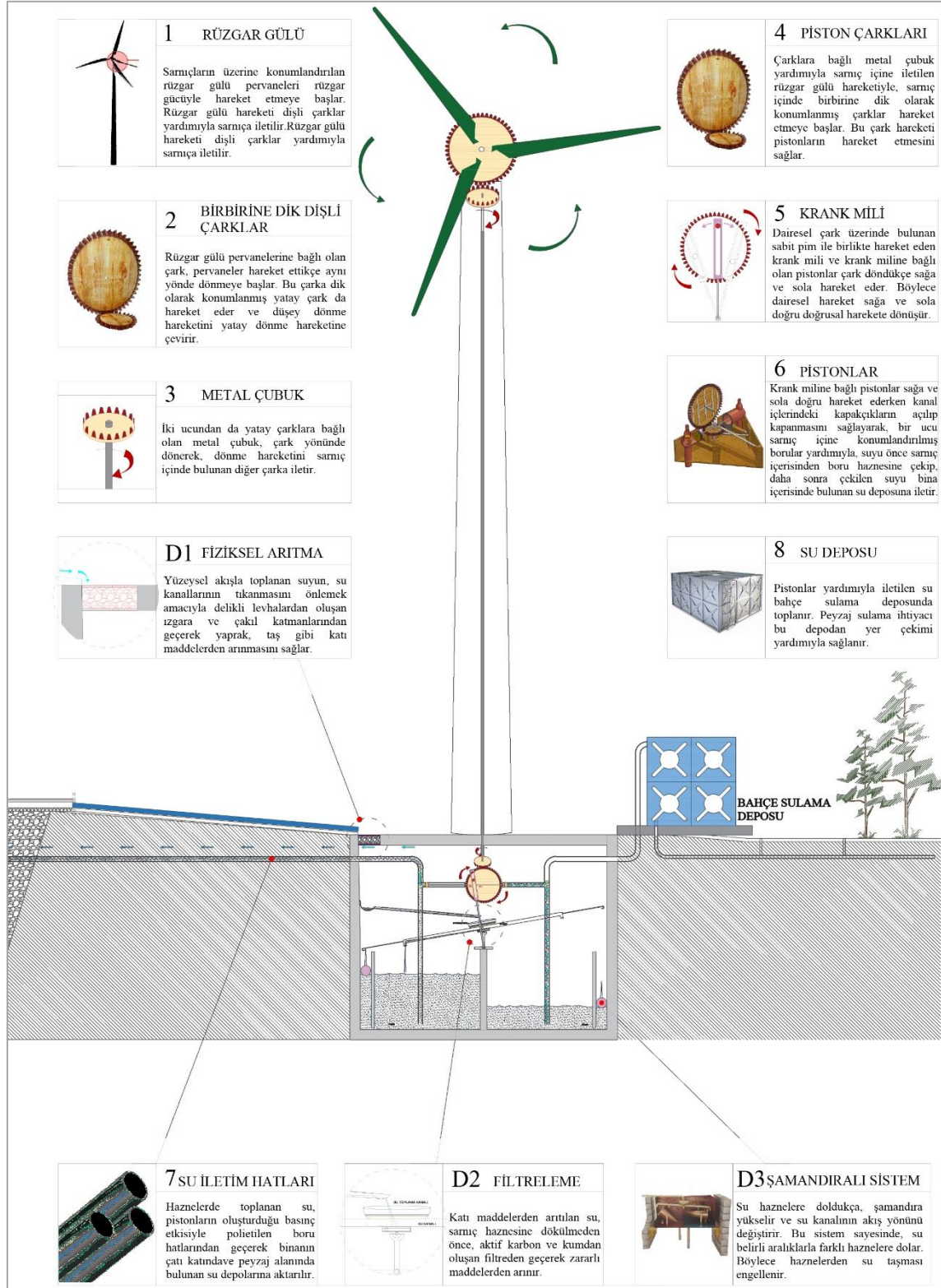
Şekil 6.5. El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sistem çizimi



Şekil 6.5. (devamı) El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sistem çizimi



Şekil 6.6. El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sisteminin konut kesiti üzerinde dağıtımı



Şekil 6.6. (devamı) El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek oluşturulan rüzgar gülü hareketiyle su pompalama sisteminin konut kesiti üzerinde dağıtımı

6.3. TOKİ Konut Projesi Üzerinde Örnek Yağmur Suyu Kapasitesi Hesabı

Çalışma Yapılan Proje:

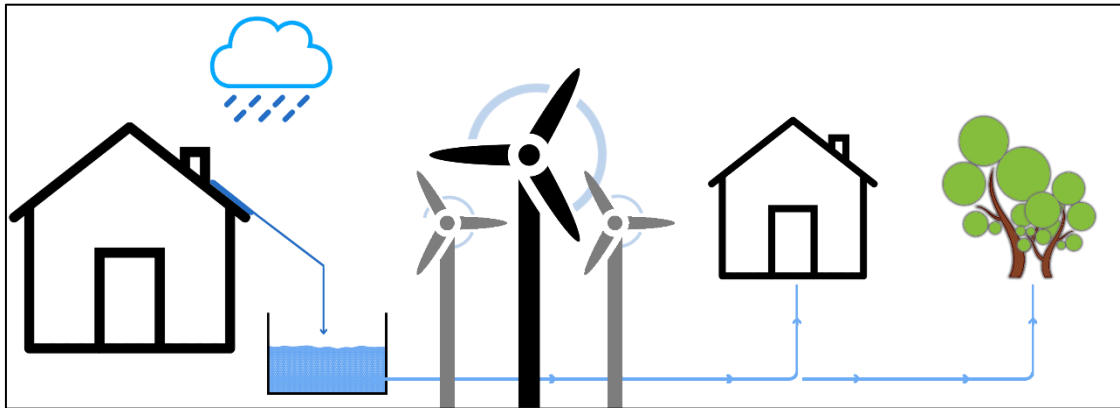
Ankara İli Bala İlçesi Göztepe Mahallesi Kentsel Dönüşüm Projesi 112 Adet Konut ve 28 Dükkan İnşaatı ile Altyapı ve Çevre Düzenlemesi İşİ

Ankara'nın Bala İlçesinde bulunan Göztepe Mahallesi için tasarlanan bu kentsel dönüşüm projesi, 112 adet konut ve 28 adet dükkândan oluşmaktadır. 14437 m²'lik bir alana konumlandırılacak bu projede 7 blok bulunmaktadır.

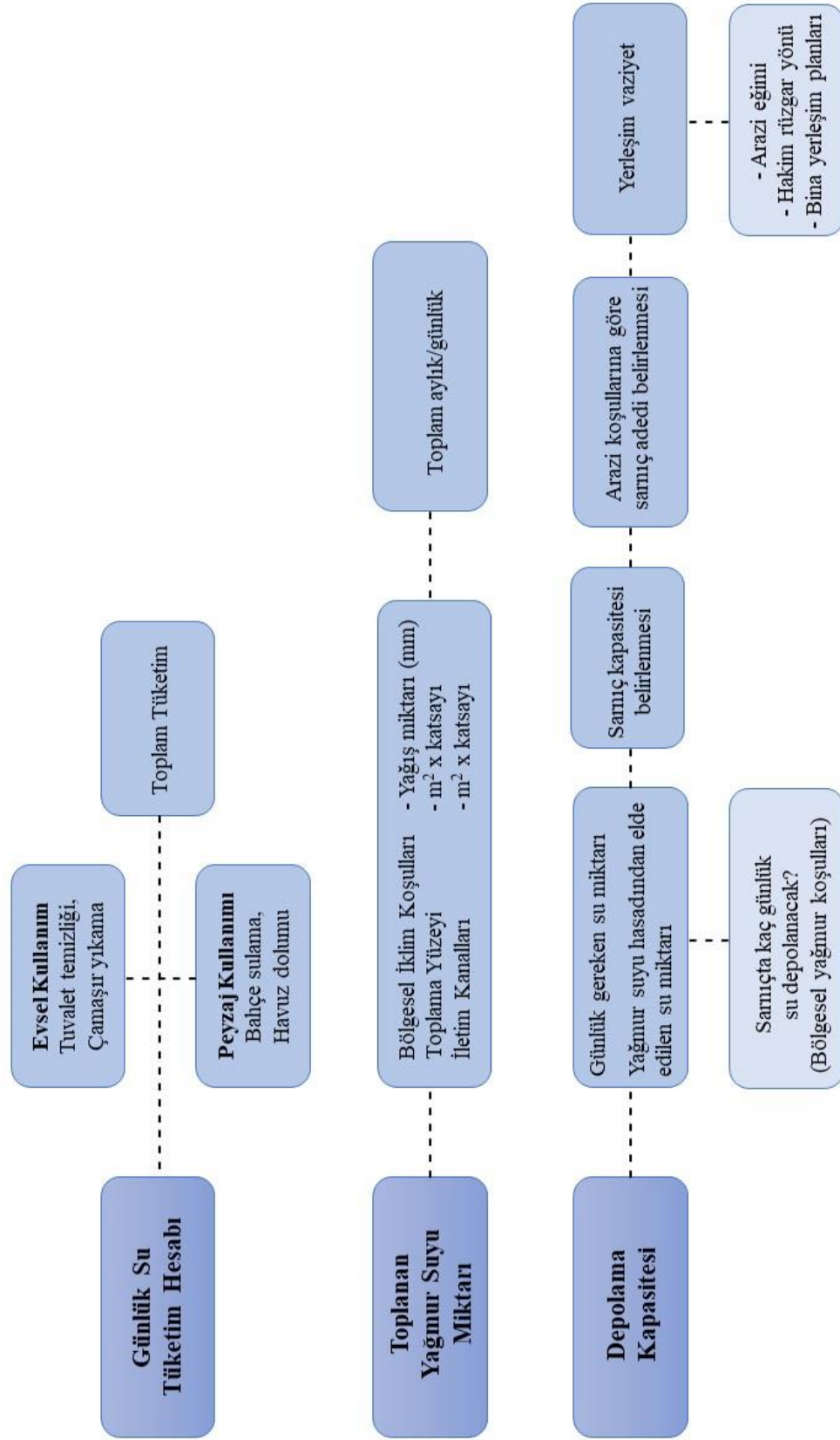
Bu bölümde örnek bir TOKİ projesinde yağmur suyu toplama sistemleri ve hesaplamalarına yer verilmiştir. Yapılan çalışmada bölgesel yağış ve iklimsel koşullar incelenerek toplanabilecek yağmur suyu hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda gerekli sarnıç kapasitesi belirlenerek, arazide en uygun yere konumlandırılmıştır.

Yağmur suyu sistem potansiyelinin belirlenebilmesi için ilk olarak projeden elde edilen verilere göre peyzaj ve evsel kullanım alanlarındaki günlük su tüketim miktarı hesaplanır. Daha sonra bölgesel iklim ve yağış verileri ele alınarak, çatılardan ve sert zeminlerden hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı hesaplanır. Elde edilen yağmur suyu miktarı, günlük su tüketim miktarıyla ilişkilendirilerek günlük, aylık veya yıllık şeklinde kullanım süresi belirlendikten sonra yağmur suyunun depolanacağı sarnıcın kapasite hesabı yapılır.

Sarnıç kapasite hesabı yapıldıktan sonra, projede konumlandırılabilen alan miktarına göre sarnıç adedi belirlenir. Daha sonra sarnıçların konumlandırılması için en uygun noktalar belirlenir.



Şekil 6.7. Rüzgar gülü ve yağmur hasadı şeması



Şekil 6.8. Yağmur suyu toplama şeması

6.3.1. Günlük su tüketim hesabı

Su tüketim hesabının yapılabilmesi için projeye ait bazı veriler aşağıda belirtilmiştir.

Daire Sayısı: 112

Kişi Sayısı: Ortalama 3 kişi yaşadığını ele alırsak toplam kullanıcı sayısı;

$112 \times 3 = 336$ kişi olarak kabul edilebilir.

Yağmur suyunun kullanılması hedeflenen alanlar, evsel kullanımda çamaşır yıkama ve tuvalet kullanımıdır. TEMA Vakfı'ndan erişilen verilere göre bu alanlardaki su tüketimi yaklaşık %41 olarak görülmektedir (URL-5).

TÜİK'in açıkladığı verilerde Ankara'da günlük kişisel su tüketimi 246 litredir. Bu verilere dayanarak evsel alanda kullanılması hedeflenen yağmur suyu miktarı kişi başına;

$246 \times (0,41) = 100$ litre olarak hesaplanır.

Bu sitede 336 kişi yaşadığını düşündüğümüzde dairelerde kişisel kullanım için ihtiyaç duyulan su miktarına ulaşılır.

$336 \times 100 = 33600$ lt (33,60 ton)

Sulama için gereken su miktarı (*Bahçe sulama için m² başına gereken günlük su miktarı: 5 litre*)

$1776 \times 5 \text{ lt} = 8880$ lt (8,88 ton)

Günlük bahçe sulama ve evsel kullanım için gereken toplam su miktarı;

$33,60 + 8,88 = 42,48$ ton

6.3.2. Toplanabilecek yağmur suyu miktarı

Aşağıda verilen formülle hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı hesaplanabilir.

$$V_y = A \times Y \times e$$

V_y : Toplanan yağmur suyu miktarı (m³)

A : Yağmur suyu toplama alanı (m²)

Y : Aylık veya yıllık yağış miktarı (L/m²)

e: Yağmur suyu toplama yüzeyinin verimlilik katsayısı (bkz. Çizelge 3.1.) (Üstün ve diğerleri, 2020)

Çizelge 6.1. Bala TOKİ projesinde yağmur suyunun toplanacağı yüzeylerin verileri

	malzeme	alan (m ²)	yüzey verimlilik katsayısı (e)
Çatı Alanı	Kiremit	4580	0,95
Sert Zemin	Küp taş döşeme	8850	0,70
Bitkisel Alanlar	Ağaç-çim-toprak	1776	0,25

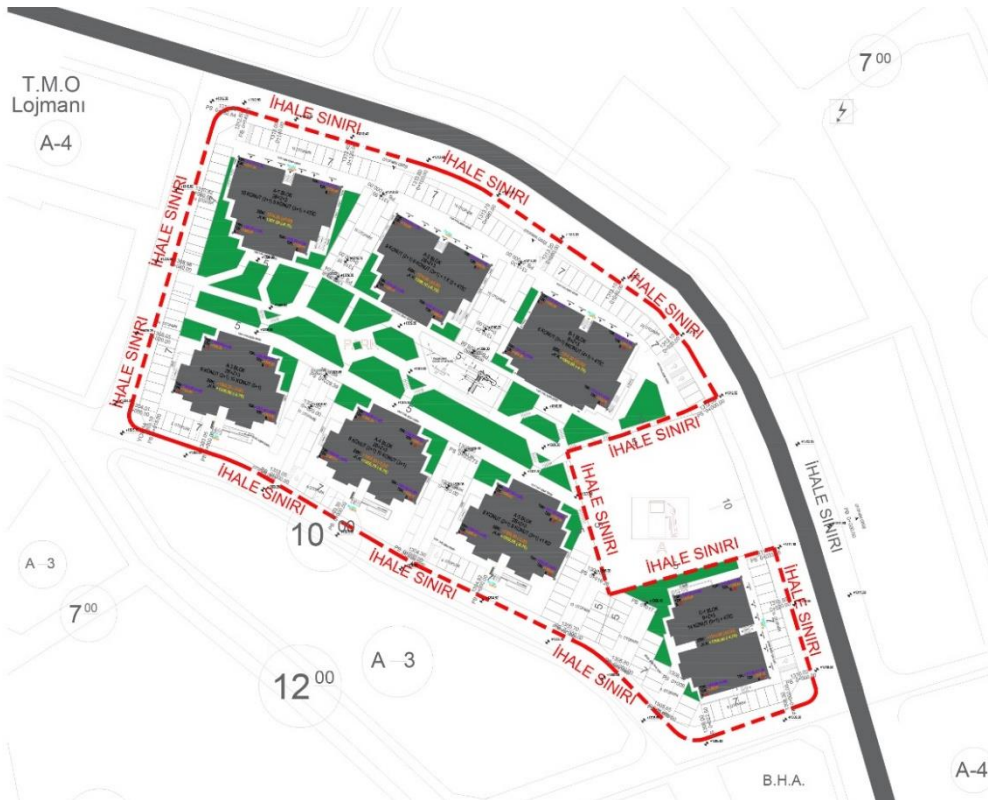
Toplanabilecek yağmur suyu kapasitesinin hesaplanabilmesi için gereken proje verileri Çizelge 6.1.'de verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda yüzey akışıyla toplanacak yağmur suyu hesabı yapılabilir. Her yüzeyin verimlilik katsayısı farklıdır. Bu katsayılar, yağmur suyunun yüzeyel akışı boyunca ne kadar kayıpla toplanacağını belirlemektedir.



Şekil 6.9. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe mahallesi kentsel dönüşüm projesi çatı alanları



Şekil 6.10. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe mahallesi kentsel dönüşüm projesi sert zeminler



Şekil 6.11. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe mahallesi kentsel dönüşüm projesi yeşil alanlar

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün açıkladığı verilere göre Ankara'nın yıllık yağış ortalaması 391,1 mm olarak tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 6.2). Bu değer bir yılda m²'ye düşen toplam yağış miktarını belirtmektedir.

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.2	1.7	5.7	11.3	16.1	20.0	23.4	23.5	18.9	13.2	7.3	2.6	12.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.2	6.5	11.5	17.4	22.4	26.7	30.3	30.5	26.1	20.0	13.1	6.6	17.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.2	-2.3	0.7	5.4	9.7	13.0	15.9	16.0	11.9	7.1	2.5	-0.7	6.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.7	5.0	6.4	8.2	9.8	11.0	10.5	9.1	6.6	4.6	2.5	6.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.28	11.17	10.72	11.07	12.28	8.83	3.53	2.75	4.02	6.88	8.10	11.69	103.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40.3	35.2	39.3	41.7	50.9	36.1	14.2	12.7	17.8	27.3	31.2	44.4	391.1
Ölçüm Periyodu (1927 - 2022)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.4	21.3	27.8	31.6	34.4	37.0	41.0	40.4	39.1	33.3	24.7	20.4	41.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24.9	-24.2	-19.2	-7.2	-1.6	3.8	4.5	5.5	-1.5	-9.8	-17.5	-24.2	-24.9

Şekil 6.12. Meteoroloji verilerine göre Ankara'nın mevsim normalleri toplam yağış miktarı (URL-17)

Çizelge 6.2. Meteoroloji verilerine göre Ankara'nın yağış tablosu (URL-17)

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927-2022)													
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,28	11,17	10,72	11,07	12,28	8,83	3,53	2,75	4,02	6,88	8,1	11,69	103,3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40,3	35,2	39,3	41,7	50,9	36,1	14,2	12,7	17,8	27,3	31,2	44,4	391,1

Ortalama yıllık yağış miktarı: 391.1 mm

391,1 mm = 391,1 L/m² (yıllık)

391,1 L /365 gün = 1,07 L/m² (günlük)

Bu hesaplamalarda 1 litre suyun ağırlığı, 1 ton olarak kabul edilmiştir.

Çatılardan toplanan su miktarı

1,07 L x 4580 m² x 0,95 = 4655,57 m³ = 4,66 ton

Kaldırım ve yürüme yollarından toplanan su miktarı

1,07 L x 8850 m² x 0,70 = 6628,65 m³ = 6,63 ton

Yeşil alanlardan süzülme yoluyla toplanabilecek su miktarı (drenaj suyu)

1,07 L x 1776 m² x 0,25 = 475,08 m³ = 0,48 ton

Yağmur hasadı ile toplanabilecek toplam su miktarı

$$4,66 + 6,63 + 0,48 = 11,77\text{ton}$$

Kayıp Katsayısı (yağış düzensizlikleri/depo doluluğu vb.): 0,80

$$11,77 \text{ ton} \times 0,80 = 9,41 \text{ ton}$$

Çizelge 6.3. Yağmur hasadıyla günlük toplanabilecek su miktarı ve günlük su tüketimi

Yağmur suyundan elde edilebilecek günlük toplam su miktarı	9,41 ton
Evsel kullanım ve bahçe sulama için gereken günlük su ihtiyacı:	48,528 ton

Sarnıç kapasitesi hesaplanırken sadece günlük tüketim ve ihtiyaç miktarı değil bölgesel iklim koşulları da göz önüne alınmalıdır. Uzun süre yağış almayan bölgelerde, imkan varsa sarnıç kapasitesi daha yüksek tutulmalıdır. Böylece yağış almayan günler boyunca sarnıçtan su kullanımına olanak sağlanmalıdır. Fakat suyun uzun süre beklemesi, evsel kullanım açısından yeterince sağlıklı olmayabilir. Bu sebeple sarnıç kapasitesinin yeterli gelmediği durumlarda, şebeke suyundan destek alınarak kullanıma devam edilebilir.

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.2	1.7	5.7	11.3	16.1	20.0	23.4	23.5	18.9	13.2	7.3	2.6	12.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.2	6.5	11.5	17.4	22.4	26.7	30.3	30.5	26.1	20.0	13.1	6.6	17.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.2	-2.3	0.7	5.4	9.7	13.0	15.9	16.0	11.9	7.1	2.5	-0.7	6.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.7	5.0	6.4	8.2	9.8	11.0	10.5	9.1	6.6	4.6	2.5	6.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.28	11.17	10.72	11.07	12.28	8.83	3.53	2.75	4.02	6.88	8.10	11.69	103.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40.3	35.2	39.3	41.7	50.9	36.1	14.2	12.7	17.8	27.3	31.2	44.4	391.1

Şekil 6.13. Meteoroloji verilerine göre Ankara'nın mevsim normalleri yağışlı gün sayısı (URL-17)

Şekil 6.13.'de belirtilen Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden ulaşılan verilere bakıldığında Ankara'da en az yağış alan mevsimler Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları olarak görülmektedir. Bu aylarda ortalama yağış alan gün sayısı 4 gün olarak tespit edilmiştir. Ankara'da 1 yılda yağış alan gün sayısı ortalama 104 gün olduğu görülmektedir. Yağışlı günlerde sulama ihtiyacının olmadığı varsayıldığında Ankara'da bahçe sulama için yıllık tüketilen su ihtiyacı 201 gün üzerinden ele alınabilir.

$8,88 \times 201 = 1784,88$ ton (Yıllık sulama suyu ihtiyacı)

$33,60 \times 365 = 12264$ ton (Yıllık evsel kullanım suyu ihtiyacı)

Yıllık toplam su tüketimi: 14048,88 ton

Yıllık toplanan yağmur suyu: $9,41 \times 365 = 3434,65$ ton

Yıllık toplanan yağmur suyu / yıllık su tüketimi = $3434,65 / 14048,88 = 0,24$ yıl

Yapılan hesaplamalar sonucunda, bu projede uygulanacak yağmur suyu hasadı sistemiyle yılın yaklaşık 90 günü yetebilecek kadar su toplanabilmektedir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, çok bloklu TOKİ projelerinde, yağmur hasadıyla elde edilecek suyun tamamını bir sarnıçta toplayarak bloklara iletmek oldukça maliyetli ve zordur. Bütün bloklara hizmet eden büyük ve bir adet sarnıç yerine, sarnıç adedi artırılarak bloklara daha yakın bölgelerde konumlandırılan sarnıçlarla, iletim zorluğu ve kurulum maliyeti düşürülebilir. Yağmur sırasında yağış suları sarnıçta toplanırken, aynı zamanda bloklar ve bahçe sulama sistemleri tarafından kullanılacağı için sarnıçların taşma ihtimali oldukça azdır. Fakat yine de sarnıç kapasitesi hesaplanırken ortalama yağış miktarı en yüksek olan ay seçilmelidir. Böylece bir günde yüzey akışıyla toplanabilecek maksimum yağmur suyu miktarı dikkate alınarak hesaplama yapılarak sarnıçların taşma ihtimalinin önüne geçilebilir.

6.4. Sarnıç ve Rüzgar Gülü Pompasının Konumlandırılması

El Cezeri mekanikleriyle tasarlanan rüzgar gülü pompasının verimle çalışabilmesi için bazı konumlandırma kriterleri belirlenmiştir.

Sarnıcın konumlanacağı yer seçilirken arazi eğimiyle birlikte dikkat edilmesi gereken bazı etkenler vardır. Önerilen yağmur suyu toplama sisteminde, sarnıç üzerinde konumlandırılmış bir rüzgar gülü bulunmaktadır. Bu etkenler, sistemin mevcut veya henüz inşa edilmemiş bir yapıda kullanılacağına göre değişiklik gösterebilir.

Mevcut yapılarda, sarnıç yeri belirlenirken arazi koşulları ve rüzgar yönüne göre belirlenmelidir. Yeni yapılarda ise, arazi eğimi, topografya ve bina yerleşimleri sarnıç yeri düşünülerek belirlenmelidir. Kaldırım, yürüme yolu, otopark gibi sert zemin alanlarının, bu

alanlarda biriken yağmur sularının yüzeysel akışla sarnıca ulaşmasını sağlayacak bir eğimle tasarlanması gerekmektedir.

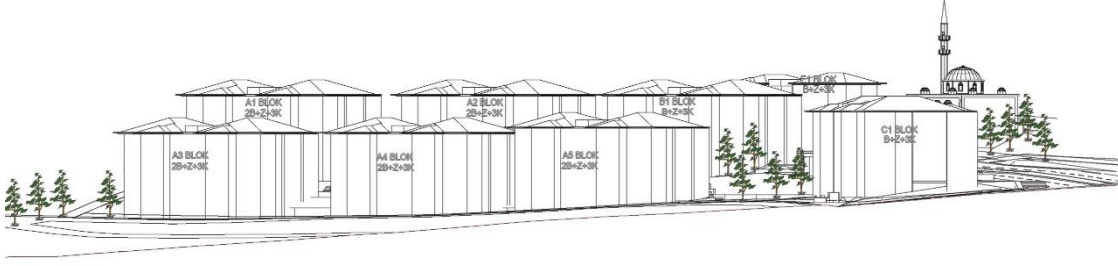
İklim elemanları arasında rüzgar, sıcaklık ve yağışla birlikte önemli bir rol oynar. Rüzgar, atmosferdeki genel dolaşımın bir sonucu olarak ortaya çıkar ve genellikle yatay bir hareket olarak tanımlanır. Rüzgarın yönü, hızı ve sıklığı bu özelliklerin başında gelir.

Hakim rüzgar yönü, belirli bir dönemde en çok görülen rüzgar yönünü ifade eder. Genellikle günlük, aylık, mevsimsel veya yıllık bazda kullanılır ve diğer rüzgarlara göre en sık görülen yöndür (Avcı, 2020).

Rüzgar gülü konumlandırılırken, binaların rüzgarı kesmemesine dikkat edilir. Özellikle rüzgarın yoğun ve sürekli olacağı bölgeler tespit edilmelidir. Rüzgar hareketinin yanında arazi eğimi de dikkate alınması gereken en önemli etkenlerdendir. Toplanan yağmur suyu, yüzey akışıyla sarnıçta toplanmaktadır. Bu nedenle sarnıcın konumlandığı bölgeler, proje üzerinde yükseltinin az olduğu bölgeler olarak seçilmelidir. Eğer mümkünse, eğimin tespit edilen bu noktalara göre ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 6.14. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe mahallesi kentsel dönüşüm projesi vaziyet planı

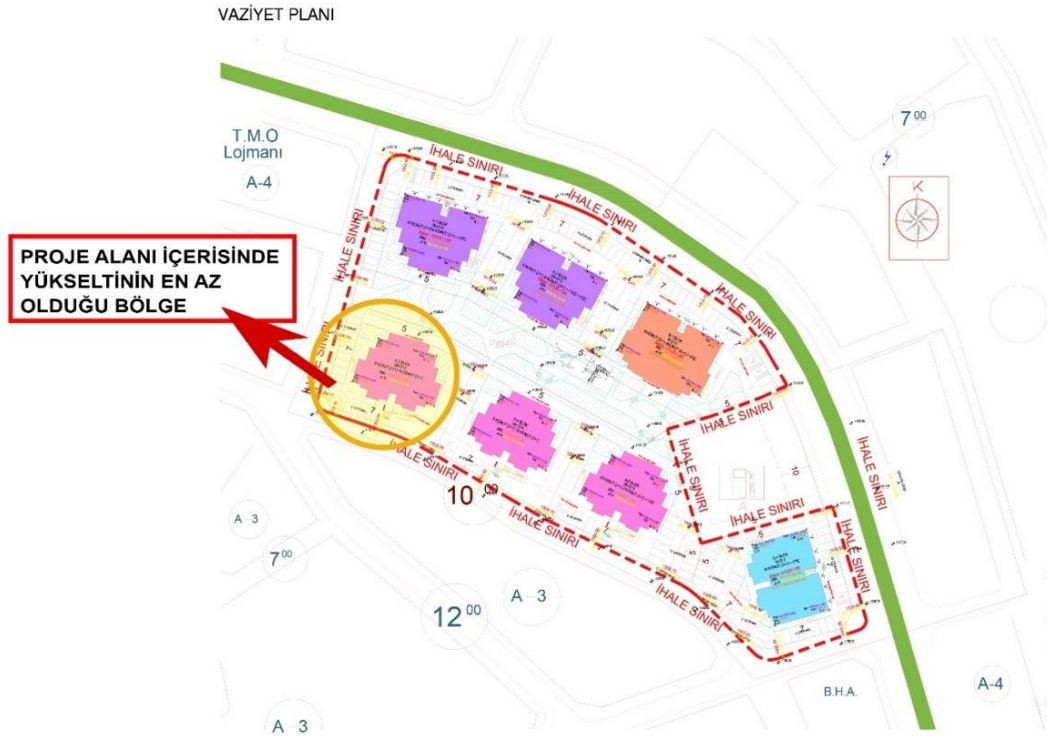


GÜNEY SİLÜETİ

Şekil 6.15. Ankara ili bala ilçesi Göztepe mahallesi kentsel dönüşüm projesi arazi eğimi

Yağmur suyunun sarnıçta toplanması için birden fazla metot vardır. Çatılara düşen yağmur suyu, oluklar ve PVC boru hatlarıyla yağmur bacalarına, sert zeminlere veya direkt olarak sarnıca aktarılabilir. Yağmur suyunun oluklardan yağmur iniş borularına aktarıldığı konumlarda yaprak tutucu gibi filtre elemanları kullanılarak hem su kanallarının tıkanması önlenir hem de yağmur suyunun fiziksel arıtımı sağlanır.

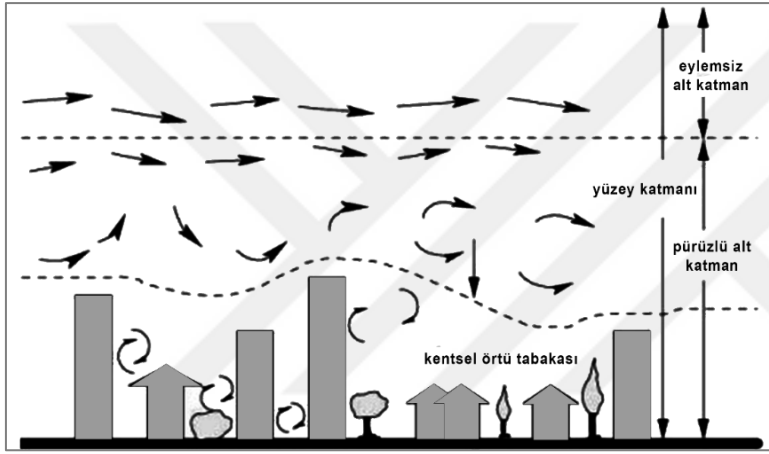
Yağmur suyu toplanması için kullanılan sarnıç, vaziyet üzerinde akışın en yoğun olduğu yere konumlandırılmalıdır. Bu nedenle seçilecek alan yükseltinin en az olduğu alan olmalıdır. Proje üzerinde yapısal peyzaj tasarımı yapılırken, arazi ve yol eğimi, su akışını bu tarafa yönlendirecek şekilde yapılmalıdır.



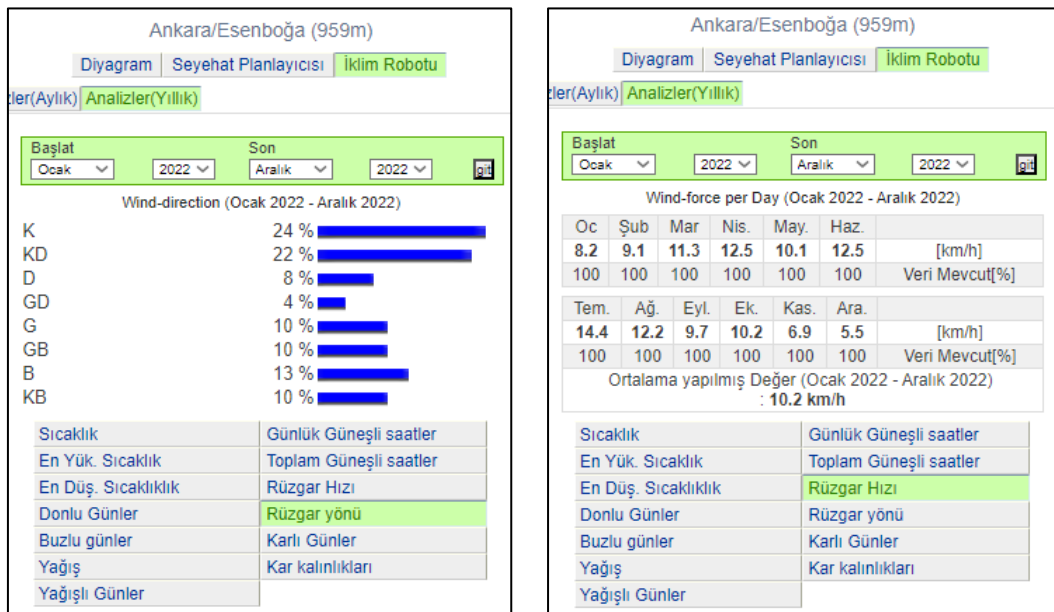
Şekil 6.16. Ankara İli Bala İlçesi Göztepe Mahallesi kentsel dönüşüm projesi vaziyet planında eğim gösterimi

Vaziyet planı üzerinden baktığımızda, bu projede sarnıç yerleşimi için en uygun bölge işaretlenmiştir. Geçirimsiz peyzaj alanları üzerine düşen yağmur sularının, mevcut zemin eğimiyle bu bölgede toplanacak olması, sarnıcın bu bölgeye konumlandırılmasını gerektirmektedir. Fakat bu proje üzerinde geliştirilen sistemde, tek sarnıcın yeterli olmayacağı düşünülerek sarnıçlar daha merkezi bölgelere yerleştirilmiştir.

Rüzgar gülü konumlandırılırken, hakim rüzgar yönü ve binaların rüzgarı kesmemesine dikkat edilmelidir. Projede rüzgarın daha yoğun ve sürekli olacağı bölgeler tespit edilmelidir. Ankara'nın hakim rüzgar yönü, Şekil 6.18'de belirtilen veriler doğrultusunda tespit edilebilir.

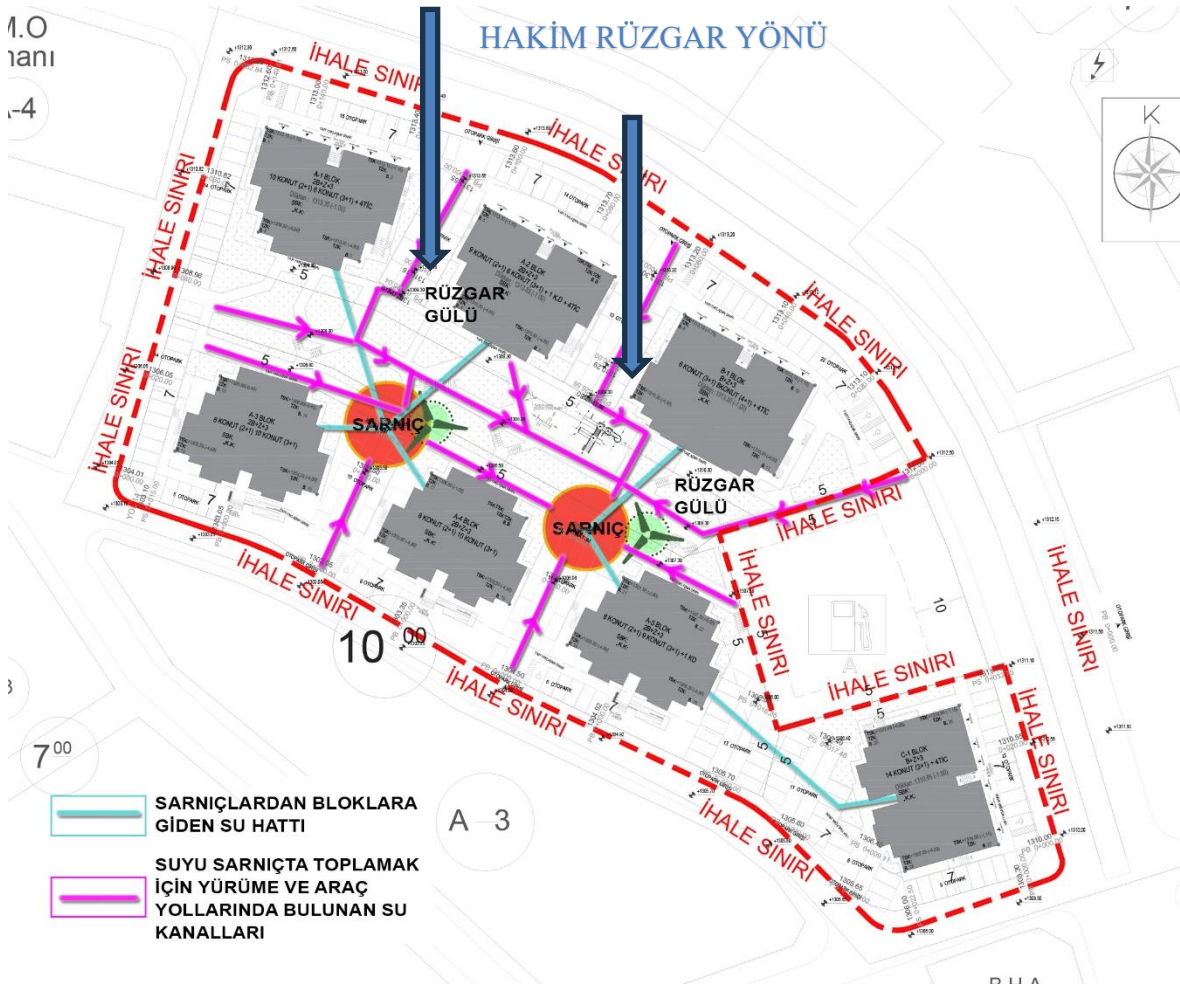


Şekil 6.17. Şehir katmanlarına göre rüzgar hareketi (Mahmoodilari, 2012)



Şekil. 6.18. Ankara'nın hakim rüzgar yönü ve hızı (URL-18)

Şekil 6.18.'teki veriler doğrultusunda Ankara'nın en yoğun sıklıkta rüzgar aldığı yön %24 oranla kuzey olarak görülmektedir. Bu da Ankara'nın hakim rüzgar yönünün kuzey olduğunu göstermektedir. Bu veriler dikkate alınarak, proje üzerinde rüzgarın kesilmeden rüzgar gülüne ulaşmasını sağlayacak bölgeler belirlenmiş ve sarnıçlar bu bölgelere konumlandırılmıştır. (Bkz. Şekil 6.19)



Şekil 6.19. Ankara ili Bala ilçesi Göztepe mahallesi kentsel dönüşüm projesi vaziyet planı sarnıç ve rüzgar gülü yerleşimi

El Cezeri iki pistonlu su yükseltme sisteminden esinlenilerek önerilmiş bu sistemde, rüzgar gülünün dönmesiyle harekete geçen dişliler sayesinde, rüzgar gülünün yaptığı dairesel hareket doğrusal harekete döndürülerek pistonları hareket ettirmekte ve sarnıçta toplanan yağmur suları, oluşan hidrolik basınçla hareket ederek, her bloğun çatı katında bulunan su deposuna iletilmektedir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşamın en temel ihtiyaçlarından biri olan su, doğanın döngüsünde yenilenebilir bir kaynaktır. Suyun yenilenebilir döngüsünün sürdürülebilirliğinde, iklim koşulları en önemli etkenlerden biridir.

Teknoloji ve sanayi sektörü her geçen gün gelişmeye devam etmektedir. Bu gelişmelere bağlı olarak meydana gelen tüketim fazlalığı, doğal kaynaklarımızın tüketimini de etkilemiştir. Salgın hastalık ve hijyen koşulları sebebiyle su tüketiminin artması, endüstriyel faaliyet atıklarının doğal su kaynaklarını kirletmesi, dünya genelinde yağış rejiminde meydana gelen değişiklikler ve bunların yanında insanların su kaynaklarını bilinçsiz bir şekilde tüketmesi ve kirletmesi, doğal su döngüsünün yetersiz hale gelmesine sebep olmaktadır.

Nüfusun artmasıyla birlikte artan gıda ve endüstriyel talepler, tarım faaliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Tarım faaliyetlerinin artmasıyla tüketilen su miktarı da büyük ölçüde artmaktadır. Bunun yanında dünya genelinde tarım faaliyetlerinin oldukça yoğun olmasına rağmen yapılan yanlış sulama teknikleri de su tüketimini önemli miktarda artırmaktadır.

Geçmişte ve günümüzde yağmur sularının toplanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Fakat toplanan suyun çok katlı yapılarda kullanımını sağlamak için elektrik enerjisi gerektiren maliyetli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de artmakta olan toplu konut yerleşimlerinde, yağmur suyunun site içlerinde en verimli olacak yerlerde konumlandırılmış sarnıçlarda toplanarak suyun bütün bloklara ve dairelere taşınmasını rüzgâr enerjisi ile sağlayacak alternatif bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır, böylece hem yağmur suyundan yararlanmak hem de toplanan yağmur suyunun enerji kullanılmadan konutlara taşınmasını sağlayan sıfır enerjili bir tasarım üretmek hedeflenmiştir. Bu sistem El Cezeri mekanik prensiplerinden esinlenilerek üretilmiş ve sistemin çalışma prensibi örnek bir çalışma yapılarak görsellerle desteklenmiştir. El Cezeri’nin suyu yukarıya çıkarma tekniği kullanılarak, sarnıçlarda toplanılan yağmur sularının bina içine enerji kullanılmadan ulaştırılan bir sistem geliştirilmiştir. Böylece yağmur suyu toplandıktan sonra, enerji harcanmadan tekrar kullanımı sağlanarak sıfır enerjili bir sistem geliştirilecektir. Türkiye’nin içinde bulunduğu bu yeni yapılaşma, bilinçli ve bilinçsiz kaynak tüketiminin azaltılması için fırsat haline getirilip daha sürdürülebilir yapılar oluşturulmaya gayret edilmelidir.

Yağmur suyu toplama sisteminin yanında evsel kullanımda, sanayi sektöründe ve özellikle sulama alanında ek önlemler alınmalıdır. Tarımsal su kullanımının azalmasında sulama sisteminin büyük bir etkisi vardır. Sulama tekniği olarak yüzeysel sulama yerine yağmurlama ve damlama sistemleri kullanılmalıdır. Böylece tarımda kullanılan su oranı, %77'den daha düşük oranlara çekilebilir. Aynı zamanda evsel kullanımda tasarruflu musluk ve sifonlar, az su tüketen bulaşık ve çamaşır makineleri tercih edilmelidir. Bu şekilde depolanan yağmur suyunun da daha verimli ve tasarruflu kullanılması sağlanır.

El Cezeri'nin hayvan gücünden ve nehir akıntısından yararlanarak ürettiği su taşıma sistemleri, bu çalışmada rüzgar gülü hareketiyle entegre edilmiştir. El Cezeri mekanikleri kullanılarak geliştirilen bu sistemler, gerekli mekanik hesaplamalar doğrultusunda kullanım amacına ve istenen kapasiteye göre çeşitlendirilebilir. Bu sistemler prensip olarak ele alındığında, yağmur suyunun rüzgar gülü hareketi sayesinde enerji harcanmadan binalara ve çevre sulama sistemine aktarılması, kullanılacağı bölgenin iklimsel ve coğrafik koşullarına göre geliştirilerek kullanılabilir. Daha küçük ölçekli blok, site ve müstakil evlerde de rüzgar gülü sistemiyle yağmur suyunun enerji harcanmadan konutlara aktarılarak tekrar kullanılması sağlanabilir.

El Cezeri mekanikleriyle tasarlanan rüzgar gülü sisteminin verimle çalışabilmesi için suyun yüzeysel akışla taşınacağı alanlar oluşturulmalı ve rüzgar sirkülasyonunun sağlanması gerekmektedir. Az katlı binalarda rüzgar hareketinin engellenmemesi için rüzgar gülü, binaların çatı seviyesinden yüksekte olacak şekilde inşa edilebilir. Bunun yanında yürüme yolu tasarımı ve doğru eğim verilmesi de sarnıç konumlandırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Yerleşim planı yapılırken, sarnıç planlaması da dikkate alınarak binaların suyun akışını engellemeyecek biçimde konumlandırılması gerekmektedir. Çatılara ve zemine düşen su kaybını en aza indirmek için peyzaj eğimleri doğru tasarlanarak suya yön verilmeli, malzeme seçimine dikkat edilmelidir.

Yüksek katlı bloklarda ise rüzgar güllerinin çatı üzerine konumlandırılması daha etkili olacaktır. Yüksek katlı bloklarda bu sistemlere ek olarak bina içerisinde bulunan şaftlardaki rüzgar sirkülasyonunun değerlendirilmesi için rüzgar gülü alternatörleri kullanılarak su toplama sistemlerinin yanında enerji depolanması da sağlanabilir.

Sürdürülebilirlik tartışmasında en büyük görevlerden biri de biz mimar ve mühendislere düşmektedir. Bir yapının tasarımından inşaat sürecinin bitmesine kadar her adımda sürdürülebilir yaklaşımlar ele alınmalıdır. Kullanılan malzemelerin çevreye verdiği ve

vereceği zararlar düşünölerek seçilmelidir. Bu durumda günümüzde artık mimarlık, taşıdığı estetik kaygıların yanında sürdürülebilir tasarımlara da öncelik vermelidir. Enerji korunumu yasaları dikkate alınarak enerji tüketimini en aza indiren ve gerektiğinde kendi enerjisini üretebilen sistemlere başvurulmalıdır. Yapılan tasarımlar, doğadan alınan her bir damlayı ona geri vermeyi amaçlamalıdır. Bu yaklaşım, mevcut ve gelecek nesillerin daha sağlıklı bir çevrede yaşamalarına katkıda bulunacaktır.





KAYNAKLAR

- Akaydın Sel, K. (2017). *Yağış sularının konut ölçeğinde sürdürülebilir tasarım kapsamında incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Albayrak, N. (1996). *Türkiye’de Konut Sorunu ve Konut Sorununun Çözümünde Konut Kooperatifleri, Yerel Yönetimler ve Toplu Konut İdaresi İş Birliği: Kütahya Yeşilkent Toplu Konut Alanı Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Altuğ, K. (2013). *İstanbul’da Bizans Dönemi sarnıçlarının mimari özellikleri ve kentin tarihsel topografyasındaki dağılımı*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Aslan, D. (2019). *Binalar Aracılığıyla Yağmur Suyu Toplama Stratejilerine Biyomimetik Bir Yaklaşım*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Avcı, S. (2020). Hakim rüzgâr yönünün belirlenmesi için bir yazılım önerisi: PrevailingWindRUB 1.0. *Coğrafya Dergisi*, (41), 209-219.
- Aziz, S. Q., Alrawi, R. A. A., Dizayee, K. K., Khalil, C., Shaheed, I. M., Mustafa, J. S. (2023). Investigation of rainwater quality in Erbil Province and the feasibility of various uses. *Environmental Protection Research*, 3(2), 240-262.
- Börü, S. (2022). *Yağmur suyu hasadının farklı bir yaklaşım ile değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Coşgun, M., Özdemir, G. (Ed.). (2017). *Yağmur Hasadı Uygulamalarına Giriş Rehberi: İklim Değişikliğine Uyum Kapsamında Bir Çözüm Önerisi*, Ankara: Peyzaj Araştırmaları Derneği (PAD).
- Çakır, E. (2018). *El Cezeri’nin hayatı ve 2 şamandıralı değişken fiskeye adlı çalışması*. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çalışkan, D. (2019). *Cezeri’nin Olağanüstü Makineleri: Herkes İçin Cezeri*. İstanbul: Elma Basım Yayın ve İletişim.
- Çırak, B., & Yörük, A. (2016). Mekatronik Bilimin Öncüsü İsmail El-Cezeri. *Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (4), 175–194.
- Değirmenci, C. (2023). *Üniversite yerleşkesinde gri suyun yeniden kullanımı ve yağmur suyu hasadı potansiyelinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Deniz, V. (Ed.). (2012). *Binalarda Su Tasarrufu ve Hijyen*. İstanbul: FRS Matbaacılık.
- Dirik, M. (2012, 14-15 Nisan). *Bilgisayar/sibernetik/özdevinimli makineler sahasındaki İcatlarıyla Cizreli Ebul-iz*. Uluslararası Bilim Düşünce ve Sanatta Cizre Sempozyumu, 185-199.

- Dülgeroğlu, Y. (1998). *Tarihsel gelişimi içinde konut tipolojisi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 1-68.
- Dündar, C., Canbaz, M., Akgün, N., Ural, G. (2007, Kasım). *Rüzgar enerjisi ve Türkiye rüzgar atlası*, İç Anadolu Enerji Forumu, Ankara.
- Ebhomien, L. E., & Obarisiagbon, O. (2016). An optimized architectural intervention in rooftop rainwater harvesting system. *Research Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 1(1), 85-97.
- Elibüyük, U., Üçgül, İ. (2014). Rüzgar türbinleri, çeşitleri ve rüzgar enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum*, 2(3). 1-14.
- Emniyetli, G. (2007). *Evsel Elektrik İhtiyacının Karşıllanması İçin Rüzgar Türbini Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Evren, E. (2014). *Toki o ne ki?*, Antalya: Mimarlar Odası Antalya Şubesi Yayınları.
- Garcia-Chevesich, P., Valdes-Pineda, R., Neary, D., & Pizarro, R. (2015). Using rainwater harvesting techniques for firefighting in forest plantations. *Journal of Tropical Forest Science*, 27(1).
- Geben, M. (2023). *Yağmur suyu toplama sistemi tasarımı ve yağmur suyunun kullanımı: sektörel uygulama örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Grojec, A. (Ed.) (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*. Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF).
- Güngör, S. (2017). Tarihi Yarımada'daki Roma ve Bizans Dönemi Sarnıçları. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 1(2). 37-72.
- İnternet: URL-1, Devlet Su İşleri (2020). *Toprak su kaynakları*. web: <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754> Son Erişim Tarihi: 28.05.2023
- İnternet: URL-2, Ritchie, H. ve Roser, M. (2018). *Water use and stress*, Our World in Data. web: <https://ourworldindata.org/water-use-stress#licence> / Son Erişim Tarihi: 10.06.2023
- İnternet: URL-3, TEMA Vakfı. (2023). *Sanayide kullanılan su*. web: <https://sutema.org/sanayide-kullanilan-su> Son Erişim Tarihi: 02.05.2023
- İnternet: URL-4, TÜİK Haber Bülteni. (Aralık 2021). *Belediye su istatistikleri*, 37197, TÜİK. web: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2020-37197#:~:text=Belediyeler%20tarafından%20içme%20ve%20kullanma,221%20litre%20olduğu%20tespit%20edildi> / Son Erişim Tarihi: 17.05.2023
- İnternet: URL-5, TEMA Vakfı. (2023). *Evsel su tüketimi*. web: <https://sutema.org/evsel-su-tuketimi> Son Erişim Tarihi: 02.05.2023

- İnternet: URL-6, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). *Türkiye yıllık toplam yağış verisinin istatistiksel analizi*. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. web: <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/2022-yagis.pdf> / Son Erişim Tarihi: 03.09.2023.
- İnternet: URL-7, TEMA Vakfı. (2023). *Yağmur hasadı*. web: <https://sutema.org/yagmur-hasadi> Son Erişim Tarihi: 02.05.2023
- İnternet: URL-8, Yağmur suyu toplama, depolama ve deşarj sistemleri hakkında yönetmelik. (23 Haziran 2017). *Resmi Gazete*, Ek-1. web: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170623-8.htm> / Son Erişim Tarihi: 10.08.2023.
- İnternet: URL-9, Sarıgül, T. (Şubat 2017). *Basit bir arıtma sistemi yapalım*, TÜBİTAK. web: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/basit-bir-aritma-sistemi-nasil-calisir> / Son Erişim Tarihi: 04.05.2023
- İnternet: URL-10, Grapido Yayıncılık (2019). *Şehir kaldırımları için yenilikçi bir su çözümü*, Ekoyapı. web: <https://www.ekoyapidergisi.org/sehir-kaldirimlari-icin-yenilikci-bir-su-cozumu>, / Son Erişim Tarihi: 05.05.2021
- İnternet: URL-11, Klimczak, N. (2016), *Solved: the mystery of the spiraling holes in the Nasca Region of Peru*, AncientOrigins, web: <https://www.ancient-origins.net/news-history-archaeology/solved-mystery-spiraling-holes-nasca-region-peru-005704> / Son Erişim Tarihi: 20.04.2023
- İnternet: URL-12, Park, W. (8 Nisan 2016). *The ancient Peruvian mystery solved from space*, BBC, web: <https://www.bbc.com/future/article/20160408-the-ancient-peruvian-mystery-solved-from-space> / Son Erişim Tarihi: 20.04.2023
- İnternet: URL-13, Şen, C. (Ocak 2020). Kutsal Bizans üçlemesi: *Binbirdirek, Şerefiye ve Yerebatan*, Hürriyet Seyahat. web: <https://www.hurriyet.com.tr/seyahat/kutsal-bizans-uclemesi-binbirdirek-serefiye-ve-yerebatan-41418795/> Son Erişim Tarihi: 06.09.2023
- İnternet: URL-14, Dünya Bankası. (2020). *Kentsel kırsal nüfus oranı*, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. web: <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kentsel---kirsal-nufus-orani-i-85670> Son Erişim Tarihi: 18.05.2023
- İnternet: URL-15, TÜİK Haber Bülteni. (2023). *Adrese dayalı nüfus kayıt sistemleri*, Sayı: 49685, TÜİK. web: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2022-49685#:~:text=İl%20ve%20ilçe%20merkezlerinde%20yaşayanların,6%2C6%27ya%20düştü> / Son Erişim Tarihi: 18.05.2023
- İnternet: URL-16, Bingöl, Ö. (Mayıs 2015). *Mimari bir tipoloji olarak toplu konut*, XXI. web: <https://xxi.com.tr/i/mimari-bir-tipoloji-olarak-toplu-konut> / Son Erişim Tarihi: 26.03.2023
- İnternet: URL-17, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). *İllere ait mevsim normalleri*. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. web:

<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx> / Son Erişim Tarihi: 03.09.2023

İnternet: URL-18, Weather Online (2023). *İklim robotu, yıllık yağış ve rüzgar verileri*. web: <https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city?WMO=17128&CONT=trtr&LAND=TU&ART=WDR&LEVEL=162&MOD=tab> / Son Erişim Tarihi: 03.09.2023.

Kadı, O. V. (2022). *Yağmur suyu toplama sistemleri ve ODTÜ kampüsündeki uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kantaroğlu, Ö. (2009, 9 Mayıs). *Yağmur Suyu Hasadı Plan ve Hesaplama Prensipleri*. IX. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, İzmir, 1147-1151.

Kerim, A., Süme, V. (2018). İstanbul'un eski su kaynakları; sarnıçlar. *Türk Hidrolik Dergisi/Turkish Journal of Hydraulic*, 2(2), 1-8.

Khudhair, M. A. (2020). *Uzaktan algılama ve CBS tekniğini kullanarak Irak'ın Al-Muhammadi Vadisi'nde yağmur suyu toplama yapısının yerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kıray, M. (1979). Apartmanlaşma ve Modern Orta Tabakalar. *Çevre: Mimarlık ve Görsel Sanatlar Dergisi*, (4), 2-10.

Lancaster, B. (2008). *Rain Harvesting for Drylands and Beyond Volume 2: Water Harvesting Eartworks*, Tuscon: Rainsource Press.

Lancaster, B. (2009). *Rainwater harvesting for drylands and beyond*. (1. Baskı). Tucson: Rainsource Press.

Levi, S. (2007). *Yağış sularının sürdürülebilir yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Mahmoodilari, M. (2012). *The Effect of Turbulent Flow on Wind Turbine Loading and Performance*. Doktora Tezi, Manchester Üniversitesi Mühendislik ve Fizik Bilimleri Fakültesi, Manchester.

Mays, L., Antoniou, G. P., Angelakis, A. N. (2013). History of water cisterns: Legacies and lessons. *Water*, 5(4), 1916–1940.

Müller-Wiener, W. (1977). *Bildlexikon zur Topografie Istanbul*. Tübingen: Ernst Wasmuth.

Nak, H. (2013). *Değişken Hızlı Değişken Açılı Rüzgâr Türbinlerinin Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ocak, S. (2009). *Batı Anadolu Roma Dönemi Örnekleriyle Su Kemerleri Künkleri ve Sarnıçları Üzerine Bir Araştırma ve Uygulama Çalışması*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, İzmir.

Özerdem, B. (2003). Türkiye'de rüzgar enerjisi uygulamalarının gelişimi ve geleceği. *Mühendis ve Makina*, 44(526), 25-30.

- Öztürk, İ. L. (2022). *Yağmur hasadı için uygun alan tespitinde modern yöntemlerin kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Sahu, R., Kumar, D., Sohane, R. K., Kumar, R. (2023). Rooftop rainwater harvesting: an innovative approach towards resource conservation. *Indian Farming*, 73(7), 18-21.
- Sarıcıoğlu, P. (2017). *Konut tipolojisinde kabuk dışı kinetik bina elemanlarının kullanımının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sevimli, A. (2021). *Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi uygulamaları: Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Sözer, N. (2018). *Mimari uygulamalarda yağmur suyu hasadı*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Ekonomi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Stanhope, J. (2012). *Rainwater Harvesting Best Practices Guidebook: Developed for Homeowners of the Regional District of Nanaimo*. Kanada: Regional District of Nanaimo.
- Şahin, N. İ. (2010). *Binalarda su korunumu*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, N. İ., Manioğlu, G. (2011, 13-16 Nisan). *Binalarda yağmur suyunun kullanılması*. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 529-542.
- Şimşek, Ö. F. (2023). *Yağmur suyu hasadı ile kendi kendine yetebilen peyzaj alanlarının oluşturulması*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2018). On birinci kalkınma planı (2019-2023) su kaynakları yönetimi ve güvenliği, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, YHGM, Ankara.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2018). On birinci kalkınma planı (2019-2023) konut politikaları, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, YHGM, Ankara.
- Toyran, C. (2022). *Kentsel alanlarda yağmur hasadı potansiyeli ve peyzajda kullanımı: İstanbul Büyükşehirçeke İlçesi örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uygun, Z. B. (2019). *İstanbul'da yağmur suyu toplama sistemlerindeki sorunların incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Üstün, G. E., Can, T., Küçük, G. (2020). Binalarda yağmur suyu hasadı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1593-1610.

- Yalılı Kılıç, M., Abuş, M. N. (2018). Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı. *Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4(2), 209-215.
- Yetik, A. K., Şen, B. (2020). Su hasadı sistemlerinin önemi ve teknikleri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 46-53.
- Zheng, X., Sarwar, A., Islam, F., Majid, A., Tariq, A., Ali, M., Gulzar, S., Khan, M. I., Ali, M. A. S., Israr, M., Jamil, A., Aslam, M., & Soufan, W. (2023). Rainwater harvesting for agriculture development using multi-influence factor and fuzzy overlay techniques. *Environmental Research*, 238, 1-15.





Gazili olmak ayrıcalıktır