



**KENTSEL ISI ADASI ÖZELLİĞİ YÜKSEK  
MEYDANLARDA YAĞMUR SUYU HASADINA  
YÖNELİK UYGUN MALZEME SEÇİMİNİN  
ARAŞTIRILMASI: KBÜ SOSYAL YAŞAM  
MERKEZİ ÖRNEĞİ**

**2020  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MİMARLIK**

**Sibel TEMİZKAN**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Merve TUNA KAYILI**

**KENTSEL ISI ADASI ÖZELLİĞİ YÜKSEK MEYDANLARDA YAĞMUR  
SUYU HASADINA YÖNELİK UYGUN MALZEME SEÇİMİNİN  
ARAŞTIRILMASI: KBÜ SOSYAL YAŞAM MERKEZİ ÖRNEĞİ**

**Sibel TEMİZKAN**

**Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Mimarlık Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Merve TUNA KAYILI**

**KARABÜK  
Eylül 2020**

Sibel TEMİZKAN tarafından hazırlanan “KENTSEL ISI ADASI ÖZELLİĞİ YÜKSEK MEYDANLARDA YAĞMUR SUYU HASADINA YÖNELİK UYGUN MALZEME SEÇİMİNİN ARAŞTIRILMASI: KBÜ SOSYAL YAŞAM MERKEZİ ÖRNEĞİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Merve TUNA KAYILI .....  
Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/09/2020

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN (GÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Merve TUNA KAYILI (KBÜ)	.....
Üye : Doç. Dr. Yasin DÖNMEZ (KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Metin KAYA (KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR (KBÜ)	.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Sibel TEMİZKAN

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**KENTSEL ISI ADASI ÖZELLİĞİ YÜKSEK MEYDANLARDA YAĞMUR  
SUYU HASADINA YÖNELİK UYGUN MALZEME SEÇİMİNİN  
ARAŞTIRILMASI: KBÜ SOSYAL YAŞAM MERKEZİ ÖRNEĞİ**

**Sibel TEMİZKAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Merve TUNA KAYILI**

**Eylül 2020, 127 Sayfa**

Sanayi devrimi ile birlikte doğaya salınan gaz miktarındaki artış, küresel ölçekte ısınmayı artırarak iklim değişikliğini meydana getirmektedir. Ortaya çıkan bu değişiklik, doğal kaynakları olumsuz etkileyerek kaynakların zamanla tükenmesine neden olmaktadır. Etkilenen doğal kaynaklardan birisi de su kaynaklarıdır. Günümüzde nüfus artışı, kentleşme ve iklim değişikliği gibi nedenler su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Sürdürülebilir mimarlık bağlamında suyun etkin kullanımı için binalardan yağmur suyunun toplanması, basit arıtma işlemlerinden geçirilmesi ve tekrar kullanılması su tasarrufu için alınabilecek önlemler arasındadır. Kentleşmede gözden kaçan hususlardan biriside ısı adalarıdır. Yapıların çevreleri ile birlikte tasarımı artık zorunlu hale gelmiştir. Peyzaj tasarımlarının sürdürülebilir mimarlık açısından içinde bulunduğumuz yüzyılda önemi oldukça fazladır. Şehirlerde ısı adalarının dış mekan ısı konforuna olumsuz

etkisinin azaltılmasındaki en etkili yöntem, yeşil alanların artırılması ve ısı adasının azaltılmasına yönelik kentsel üst örtü tasarımlarıdır. Bu bağlamda, çalışma kapsamında yerleşke içerisinde büyük ısı adası olarak nitelendirilebilen KBÜ Sosyal Yaşam Merkezi meydanının hem ısı adası özelliğinin ortadan kaldırılması hem de sahip olduğu büyük alana yağmur suyu toplama özelliğinin kazandırılması amacıyla, bir üst örtü önerilmiştir. Üst örtüde kullanılacak malzemeler ve malzeme seçimine etki eden faktörler yağmur suyu toplama verimi ve kentsel ısı adası özelliğinin azaltılması bağlamında belirlenmiş ve optimum malzeme çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan PROMETHEE yöntemi ile belirlenmiştir. Sonuç olarak polikarbonat panel malzemesinin fiyat, çatı etkinlik ve albedo katsayısı özelliklerinden dolayı önerilen üst örtü için en uygun malzeme olduğuna karar verilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Yağmur suyu hasadı, yağmur suyu depolama yöntemleri, suyun etkin kullanımı, sürdürülebilir mimari, kentsel ısı adası.

**Bilim Kodu** : 80115

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF SUITABLE MATERIAL SELECTION FOR RAINWATER HARVESTING IN HIGH AREAS WITH URBAN HEAT ISLAND EFFECT: EXAMPLE OF KBU SOCIAL LIFE CENTER**

**Sibel TEMİZKAN**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Architecture**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Merve TUNA KAYILI**

**September 2020, 127 pages**

With the industrial revolution, the increase in the amount of gas released to nature causes climate change by increasing the global warming. This change affects the natural resources negatively and causes them to be depleted over time. One of the natural resources affected is the water resources. Nowadays, factors such as population growth, urbanization and climate change cause a decrease in water resources. In the context of sustainable architecture, collecting the rainwater from buildings, passing it through simple treatment processes and presenting it for an efficient reuse are among the measures that can be taken for water conservation. One of the overlooked issues in urbanization is the heat islands. Design of buildings along-with their surroundings has now become mandatory. In the current century, landscape designs are of great importance in terms of sustainable architecture. The most effective method in reducing the negative effect of heat islands on outdoor

thermal comfort in cities is the implementation of urban top cover designs that are aimed at increasing green areas and reducing the heat islands. In this context, a top cover was proposed in order to eliminate the heat island effect of the KBU Social Life Center square, which can be qualified as a large heat island in the area within the scope of the study, and to enrich it with rainwater collection feature in a large area. The materials that can be used in the top cover and the factors that affect the material selection were determined in the context of rainwater collection efficiency and the reduction of the urban heat island effect, and the optimum material was determined by PROMETHEE method, which is one of the multi-criteria decision making methods. As a result, polycarbonate panel material was decided to be the most suitable material for the proposed top cover due to its price, roof efficiency and albedo coefficient properties.

**Key Word** : Rainwater, rainwater harvesting, rainwater harvesting systems, sustainability, sustainable architecture, urban heat island.

**Science Code** : 80115



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve bu çalışmanın ortaya çıkmasında yakın ilgisini, desteğini ve sabrını esirgemeyen sevgili hocam Dr. Öğretim Üyesi Merve TUNA KAYILI'ya teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca akademik gelişimime katkıda bulunan saygı değer hocalarım Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN, Doç. Dr. Yasin DÖNMEZ, Dr. Öğr. Üyesi Metin KAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Fuat ŞİMŞİR'e; sektördeki bilgi ve iş tecrübelerini benimle paylaşarak tezime katkıda bulunan Yük. İnş. Mühendisi Emre TEMİZKAN'a, KBÜ yapı işleri etüt proje ve kamulaştırma şube müdürü Makine müh. Samet DÖNMEZ'E teşekkürlerimi sunarım. Çalışma kapsamında bana imkân sağlayan ve araştırmanın gerçekleşmesinde desteği olan Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan değerli eşim Dr. Öğr. Üyesi Volkan TEMİZKAN'a, bugünlere gelmemde üzerimde sayısız emeği olan sevgili annem, babam ve kardeşlerime içtenlikle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	7
SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK.....	7
2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİR KAYNAKLARIN YÖNETİMİ .....	11
2.1.1. Suyun Korunması .....	13
2.1.2. Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinde Su Korunumunun Önemi.....	15
2.1.2.1. BREEAM.....	15
2.1.2.2. LEED .....	17
2.1.2.3. BEST (ÇEDBİK) .....	20
2.1.2.4. Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin Suyun Etkin Kullanımı Açısından Karşılaştırılması.....	22
2.1.3. Binalarda Yağmur Suyu Toplama Sistemleri .....	23
2.1.3.1. Yağmur Suyunun Bina Dışında Kullanımı .....	24
2.1.3.2. Yağmur Suyunun Bina İçerisinde Kullanımı.....	25
2.1.3.3. Gri Su Geri Dönüşüm Sistemi Tasarımı .....	27
2.1.3.4. Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Avantajları .....	30
2.1.3.5. Yağmur Suyu Hasadına Yönelik Engeller .....	34
2.1.4. Yağmur Suyu (YST) Sistemi Depolama ve Toplama Yöntemleri .....	37
2.1.4.1. Sarnıç Sistemi .....	37
2.1.4.2. Depo Sistemi .....	39

2.1.5. Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin Türkiye Ve Dünyadaki Uygulama Örnekleri .....	43
2.1.5.1. 2017 Serpentine Pavilion, London, UK .....	49
2.1.5.2. Olympic Golf Course, Rio de Janeiro, Brazil .....	51
2.1.5.3. St. Elizabeths East Gateway Pavilion, Washington DC, USA .....	52
2.1.5.4. Sustainable Market Square, Casablanca, Morocco .....	54
2.1.5.5. Primary Healthcare Center, Dharmapuri, India .....	55
2.1.5.6. Dai-Ichi Yochiren Preschool, Kumomato, Japan .....	56
2.1.5.7. Siemens Gebze Türkiye .....	58
2.1.5.8. Eser Holding Merkez Ofisi .....	59
2.1.5.9. Gaziantep Ekolojik Bina .....	61
2.1.5.10. Unilever Ofis Binası .....	61
2.1.5.11. Piri Reis Üniversitesi Kampüsü .....	62
2.2. İNSAN İÇİN TASARIM.....	63
2.2.1. Kentsel Alanlarda Isı Adası Etkisi.....	63
2.2.1.1. Kentsel Isı Adası Oluşum Nedenleri.....	65
2.2.1.2. Yağmur Suyu Toplama ve Kentsel Isı Adası Oluşumunun Engellenmesine Yönelik Uygulamalar .....	70
2.3. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI TASARIMINDA ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI .....	73
2.3.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.....	74
2.3.1.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Olarak PROMETHEE .....	77
BÖLÜM 3 .....	84
MATERYAL VE METOD .....	84
3.1. MATERYAL.....	84
3.1.1. KBÜ Sosyal Yaşam Merkezi.....	84
3.1.2. Karabük İli İklim Koşulları ve Yağış rejimi.....	85
3.1.3. Kentsel Isı Adası Özelliği Yüksek Olan Meydanda Kullanılabilecek Malzeme Seçimine Etki Eden Faktörler .....	88
3.1.4. Kentsel Isı Adası Özelliği Yüksek Olan Meydanda Kullanılabilecek Malzemeler ve Özellikleri .....	89
3.2. METOD.....	91
3.2.1. Üst Örtüde Kullanılacak Malzeme Seçimine Etki Eden Faktörlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi .....	91
3.2.2. Yağmur Suyu Hasat Miktarının Hesaplanması .....	94

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2.3. Üst Örtü Tasarımı .....	96
BÖLÜM 4 .....	97
BULGULAR .....	97
4.1. MEYDAN ALANINA ÜST ÖRTÜ ÖNERİSİ .....	97
4.1.1. Üst Örtü Tasarım Denemesi .....	97
4.1.2. Kentsel Isı Adası Özelliği Yüksek Olan Meydanda Üst Örtü İçin En İyi Malzemenin Belirlenmesi .....	98
4.1.3. Önerilen Malzemelere Yönelik Toplanabilen Yağmur Suyu Miktarı ..	106
BÖLÜM 5 .....	108
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	108
KAYNAKLAR .....	112
EK AÇIKLAMALAR A. ....	123
ANKET SORULARI .....	123
ÖZGEÇMİŞ .....	127

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Tez akış şeması. ....	6
Şekil 2.1. Sürdürülebilir mimarlık ilkeleri .....	9
Şekil 2.2. Sürdürülebilir mimarlık kaynak yönetimi. ....	12
Şekil 2.3. Yağmur suyunun bina dışında kullanılması. ....	24
Şekil 2.4. Yağmur suyu hattının kullanıldığı sistemler (tek döşemli). ....	25
Şekil 2.5. Şebeke hattının yağmur suyu hattını direkt beslediği sistemler. ....	26
Şekil 2.6. Şebeke suyu ile yağmur suyu döşeminin çatı arasında bir depoda birleştirilmesi. ....	26
Şekil 2.7. Şebeke suyu ile yağmur suyu döşeminin bina dışında bir depoda birleştirilmesi. ....	27
Şekil 2.8. Yamaçlarda ekili su toplama havzaları serisi. ....	32
Şekil 2.9. Otopark alanında iç bükey çim alanına boşaltmak .....	33
Şekil 2.10. Tipik bir sarnıcın düşey kesiti ve planı .....	38
Şekil 2.11. Yağmur sularının filtreden geçirilerek sarnıçta toplanması. ....	39
Şekil 2.12. (a), (b) Depo tesisatı ile ilgili şematik gösterimler. ....	40
Şekil 2.13. Zemine yeraltı suyu geçirgenliği sağlayan taş döşenmesi örnekleri .....	41
Şekil 2.14. Yüzeiden su toplama sistemi tipik şeması. ....	42
Şekil 2.15. (a) Vorteks filtreyle gerçekleştirilen yeni tip filtrenin resmi ve (b) çalışma şekli. ....	43
Şekil 2.16. Akış borusu ve zemin borusu için vorteks filtre görünüşleri .....	43
Şekil 2.17. Kéré'deki Serpantin Pavyonu'nun üstten görünümü. ....	49
Şekil 2.18. Kéré'deki Serpantin Pavyonu'nun gece görünümü. ....	50
Şekil 2.19. Kéré Serpantin Pavyonu'nun iç mimarisi .....	50
Şekil 2.20. Olimpik Golf Sahası .....	51
Şekil 2.21. Olimpik Golf Sahası. ....	52
Şekil 2.22. Olimpik Golf Sahası. ....	52
Şekil 2.23. St. Elizabeths East Gateway Pavilion. ....	53
Şekil 2.24. St. Elizabeths East Gateway Pavilion. ....	53
Şekil 2.25. Market Square Pavilion tasarımı .....	54
Şekil 2.26. Yağmur Suyu Hasat Sistemi Çalışmasının Eskizleri .....	55

## Sayfa

Şekil 2.27. Primary Healthcare Center Girişi .....	56
Şekil 2.28. Primary Healthcare Center yağmur suyu göleti .....	56
Şekil 2.29. Dai Ichi Yochien Anaokulu Ön Cephe.....	57
Şekil 2.30. Dai Ichi Yochien Anaokulu Avlusu. ....	57
Şekil 2.31. Siemens Gebze Fabrikası. ....	59
Şekil 2.32. Yerleşim yerinde yağmur kanalları ve yerinde filtrasyon. ....	59
Şekil 2.33. Su yönetimi sistemi şeması. ....	60
Şekil 2.34. Gaziantep ekolojik bina yeşil çatı uygulaması ve yağmur suyu toplama arıtma deposu. ....	61
Şekil 2.35. Piri Reis Yeşil Kampüs Binası .....	62
Şekil 2.36. Kırsal, kentsel ve banliyö bölgelerinde yüzey ve hava sıcaklığı dağılımı .....	64
Şekil 2.37. Bursa uzun çarşı üst örtü. ....	70
Şekil 2.38. 2016 golf sahası.....	71
Şekil 2.39. İran okul projesi.....	71
Şekil 2.40. Yağmur suyu hasadı için iç bükey çatı.....	72
Şekil 2.41. İzmir Kemeraltı Çarşısı üst örtü tasarımı .....	72
Şekil 2.42. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi.....	81
Şekil 2.43. a alternatifi için $\Phi^+$ ve $\Phi^-$ değerleri için üstünlük.....	82
Şekil 3.1. Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi.....	84
Şekil 3.2. Sosyal yaşam merkezi vaziyet planı .....	85
Şekil 3.3. Karabük İli lokasyonu.....	86
Şekil 3.4. Kriterlerin ağırlıklarının grafiksel gösterimi.....	94
Şekil 4.1. Sosyal Yaşam Merkezi üst örtü tasarım denemesi.....	98
Şekil 4.2. Sosyal Yaşam Merkezi üst örtü tasarım denemesi.....	98
Şekil 4.3. Visual Promethee Academic görüntüsü.....	99
Şekil 4.4. Promethee çalışma sayfasında yer alan alternatiflerin değerleri..	100
Şekil 4.5. Üst örtü çatı yüzeyi malzemesi alternatifleri-promethee I (Kısmi Sıralama). ....	101
Şekil 4.6. Malzemelerin negatif pozitif üstünlük değerleri. ....	102
Şekil 4.7. Network diyagramı.....	102
Şekil 4.8. Çatı malzemesi Alternatifleri-Promethee II (Tam Sıralama).....	103
Şekil 4.9. Çatı malzemesi Alternatifleri-Promethee akış tablosu.....	104
Şekil 4.10. Çatı malzemesi Alternatifleri-Gaia düzlemi.....	105

**Sayfa**

Şekil Ek A.1. Uzman görüşüne dayalı anket soruları..... 123

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. LEED, BREEAM ve BEST Yeşil bina değerlendirme sistemlerinde su korunumuna ilişkin kredilerin karşılaştırılması. ....	23
Çizelge 2.2. Veri matrisi. ....	78
Çizelge 2.3. Tercih fonksiyonları.....	79
Çizelge 3.1. Karabük iline ait meteoroloji verileri .....	87
Çizelge 3.2. Karabük ili aylık ortalama yağış durumu .....	87
Çizelge 3.3. Kriter ve alternatiflere ilişkin değerlendirme tablosu. ....	90
Çizelge 3.4. Ölçeklendirme değerlerinin ifade edilmesi.....	92
Çizelge 3.5. Katılımcıların kriterlere ilişkin vermiş olduğu önem derecesi. ....	93
Çizelge 3.6. Ortalamalar ve BWM yöntemine göre hesaplanan kriter ağırlıkları. ....	93
Çizelge 3.7. Çatı kaplama malzemesine göre çatı katsayıları.....	95
Çizelge 4.1. Önerilen malzemelerle hasad edilebilecek yağmur suyu miktarı. ....	107



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

CO <sub>2</sub>	: karbondioksit
N	: azot
P	: fosfor
KWH	: kilowatt
CO	: karbon monoksit
SO <sub>2</sub>	: kükürtdioksit
NO	: nobelyum
CH <sub>4</sub>	: metan
CFC	: kloroflorokarbon
PVC	: polivinilklorür
UV	: ultraviyole
°	: derece
'	: ayraç

### KISALTMALAR

BM	: Birleşmiş Milletler
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
SYM	: Sosyal Yaşam Merkezi
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)
BREEM	: BRE Environmental Assessment Method (BRE Çevresel Değerlendirme Yöntemi)
BEST	: Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
RWH	: Rainwater Harvesting System (Yağmur Suyu Toplama Sistemi)

- ABD : Amerika Birleşik Devletleri  
ATV : Alman Mevzuatı Standardı  
CSO : Combined Sewers Owerflows (Kombine kanalizasyon Boruları)  
SPSS : Statistical Package for the Social Sciences (istatistik paket program)  
W : Toplam Yağmur Suyu Hasadı  
A : Yağmur Suyu Toplama Alanı  
M : Yağış Miktarı  
KIA : Kentsel Isı Adası  
ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme  
YST : Yağmur Suyu Toplama

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünya nüfusunun ve endüstrileşmenin hızla arttığı çağımızda sınırlı olan doğal kaynaklar gün geçtikçe tahrip olmakta ve azalmaktadır. Sanayileşmenin başladığı ilk günden bu yana endüstrideki yoğun rekabet, çarkların ve makinelerin daha hızlı dönmesine neden olmuştur. Bu çaba fosil yakıtlara olan ihtiyacı her geçen gün biraz daha arttırmıştır. Tüketim ve üretim sarmalına dayalı olarak gelişen bu ekonomik faaliyetler küresel ısınmaya neden olan CO<sub>2</sub> gazının salınımı hızlandırmıştır. Bu nedenle doğal yaşam döngüsü artan, değişen ve gelişen insan faaliyetleri sonucu değişime uğramaktadır. Ortaya çıkan bu değişiklik ise doğal kaynakları olumsuz etkileyerek kaynakların azalıp tükenmesine neden olmaktadır. Etkilenen doğal kaynaklardan birisi de su kaynaklarıdır.

Su insanlık tarihi boyunca çok önemli roller üstlenmiştir. Varlığı ile ülkelerin zenginliği ve refahına katkı sağlarken, kıtlığı ile açlıklıklarına, göç etmelerine hatta yok olmalarına neden olmuştur. Su, sürekli bir döngü içinde yenilenebilir bir kaynak olmasına rağmen insanoğlunun doğaya verdiği tahribat sonucunda çevrimini tamamlayamadan yok edilmektedir.

Su, insanın temel ihtiyaçlarını gidermesinin yanında; enerji üretimi, endüstri, turizm, ulaşım ve sürdürülebilir tarım gibi alanlarda da ilerlemenin önemli bir kaynağıdır. Her geçen yıl su fakiri ülkeler listesine yenileri eklenmektedir. Ülkemiz su kaynakları açısından ele alındığında henüz su kıtlığı çeken ülkeler arasında yer almasa da yeterli seviyede su kaynaklarına da sahip değildir. Türkiyedeki su kaynaklarının %73'ü sulama, %16'sı kentsel tüketim ve %11'i sanayide kullanılmaktadır [1]. Türkiye 1500 m<sup>3</sup> kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı ile fiziksel su kıtlığına yaklaşan ülkeler arasındadır. Ülke nüfusunun 100 milyona

çıkması ile kişi başına düşen kullanılabilir su miktarında 1100 m<sup>3</sup>'e düşeceği ön görülmektedir [1].

BM Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi tarafından 2017 yılında yayınlanan Dünya Nüfus Tahminleri Raporuna göre dünya nüfusu 7,6 milyara ulaşmıştır. Dünya nüfusunun 2030'da 8,6 milyar, 2050'de 9,8 milyara ve yüzyılın sonunda 11,2 milyara ulaşması beklenmektedir. Bu durum dünya nüfusunun 2017'den 2050 yılına kadar 2.2 milyar artışı anlamına gelmektedir [2]. Bu artış su kaynaklarını iki şekilde etkilemektedir. Birincisi kişi başına düşen su oranındaki düşüş ve su kaynaklarının daha hızlı tüketilmesi olup ikincisi ise artan nüfusun barınma ihtiyacının karşılanması için yapılaşmanın artmasına bağlı olarak, kentleşmenin yaygınlaşması ve su geçirimsiz alanların çoğalması sebebiyle su kaynaklarının devamlılığının sağlanamamasıdır. Bu sebeplerden ötürü suyun etkin kullanımı önem kazanmaktadır. Buna ek olarak yaşanan şiddetli kuraklıklar, fazla yağmur suyunun seller ve baskınlar gibi olumsuz çevresel etkileri ve artan su talepleri endişelere neden olmaktadır. Tüm bu endişeler sürdürülebilirlik olgusuyla birleştiğinde yağmur suyu toplama sistemleri öne çıkmaktadır [2]. Hasat edilen yağmur suyu, içme suyu gerektirmeyen bahçe sulama, seracılık ve tarım, tuvalet ve işyeri temizliği, araç yıkama, ticari ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda kullanılabilir. Hatta, belirli arıtma işlemlerinin yapılması durumunda hasat edilen yağmur suyu içilebilmektedir [3].

Türkiyedeki su yönetimi incelendiğinde; farklı yapılarda suyun etkin kullanımı ve kazanımı üzerine çeşitli uygulamalar görülmektedir. Bu uygulamalara örnek olarak stadyum, askeri bölgeler, hava limanları, turistik tesisler gibi yeterli büyüklükteki çatı alanına sahip binalardan yağmur suları toplanarak, basit arıtma işlemlerinden sonra kullanılabilir hale getirildiği görülmektedir [4]. Bu bağlamda bu uygulamaların kamu ve özel nitelikteki bütün yapılara uygulanması, suyun etkin kullanımının sürekliliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Bununla birlikte büyükşehirlerde ve kentsel alanlarda sıcaklıkların artmasına neden olan kentsel ısı adaları ciddi sorunlardan biridir. Şehirlerde yaşam kalitesi, iklim koşulları ve sıcaklıklarından oldukça etkilenmekte ve KIA (Kentsel ısı adası)'lar bu

kaliteyi aŖađıya indirebilecek birçok risk ve sorun yaratmaktadır. Bu nedenle, KIA'nın etkilerini azaltmak için Ŗehirlerin planlanması ve tasarlanmasında evre koruma politikalarının dikkate alınması oldukça önemlidir. DeđiŖen iklim, kentsel yayılma, insanların yaŖam tarzları, coğrafı konum ve kentlerin geometrik bağlamı gibi eŖitli faktörler, KIA yoğunluğunun oluŖumunda hayati rol oynamaktadır. KIA'lar, uygun olmayan sıcaklık durumu, sağlık sorunları ve hastalıklara neden olan çevrenin ve ikliminin yaŖanabilirliđinde olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Kentlerde buna bağlı olarak Ŗehir merkezleri daha yüksek sıcaklıklarla karŖı karŖıyadır. Özellikle yaz aylarında yükselen sıcaklıklar, Ŗehir merkezlerini, meydan alanlarını ısıl yönden konforsuz alanlara dnŖtrerek, binaların soğutulmasında tüketilen enerji miktarını doğrudan etkilemekte, hastalık ve ölüm risklerini artırmaktadır.

Bu sorun ve tespitler ıŖıđında tez alıŖmasında, çok sayıda kullanıcıya hizmet veren Karabük Üniversitesi Sosyal YaŖam Merkezi'nin (SYM) meydanında suyun etkin kullanımının sağlanması ve yüksek ısı adası özelliğine sahip olması nedeniyle bu olumsuz etkinin ortadan kaldırılması ya da etkilerinin azaltılması amalanmıŖtır. Bu amaç doğrultusunda, kamusal alanda önerilen kentsel örtü tasarımı için kullanılabilir malzemeler belirlenmiŖ, bu malzemelerin yağmur suyu toplama verimi ve ısı adası etkisinin azaltılmasına dayalı özellikleri dikkate alınarak, çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak bu tasarıma en uygun malzeme belirlenmeye alıŖılmıŖtır. Önerilen rt tasarımı için en uygun malzemelerin sıralanmasının ardından SYM meydanı için öngörülen örtü sistemi ile birlikte elde edilebilecek su hacmi tespit edilmiŖtir.

alıŖmada meydan ve çevresinin fiziksel ve çevresel özellikleri göz önünde bulundurulmuŖ, optimum malzeme seçimine yönelik kriterler ve bu kriterlere uygun malzemeler belirlenerek etkin sıralama yöntemlerinden biri olan PROMETHEE yöntemi kullanılmıŖtır. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan PROMETHEE yöntemi, alternatifleri farklı tercih fonksiyonları bazında değerlendirerek ve alternatiflere iliŖkin hem kısmi hem de tam önceliklerin elde edilmesini sağlayarak daha detaylı analiz yapılmasını sağlamaktadır.

Yukarıda ifade edilen sorunlar ve kısıtlar kapsamında hazırlanan tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır.

Tezin giriş bölümünden sonra; çalışmanın çıkış noktası olan sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir mimarlığın önemine yer verilmektedir. Sürdürülebilir mimarlık ilkelerinden kaynakların korunumu ilkesi ve bu ilke altında suyun korunumu ve su kullanımının azaltılması doğrultusunda yağmur suyu toplama sistemlerinin bina içi ve bina dışında hangi seçeneklerle kullanılabileceği irdelenmektedir. Yağmur suyu toplama sistemi bileşenleri detaylı şekilde ele alınarak sistemin avantaj-dezavantajları, uygulama yöntemleri Türkiye ve Dünyadaki örnekler araştırılmaktadır. Ayrıca yeşil yapı değerlendirme sistemlerinde yer alan suyun etkin kullanımına ait puanlamalar LEED, BREEM ve BEST sertifika sistemlerinde detaylı bir şekilde incelenmektedir. Sürdürülebilir mimarlık ilkelerinden sürdürülebilir kentsel tasarım ilkesinin önemi, kentsel ısı adası ve etkilerine yönelik yapılan çalışmalar da bu bölümde verilmektedir.

Tezin üçüncü bölümünde; çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan PROMETHEE hakkında bilgi verilerek, yöntemin uygulama aşamaları incelenmektedir.

Tezin dördüncü bölümünde; çalışma alanı olan Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi ve bulunduğu konum olan Karabük iline ait iklim ve yağış verilerine yer verilmektedir. Sonrasında kentsel ısı adası özelliği yüksek olan meydana kullanılacak malzeme seçimine etki eden faktörler belirlenerek, uzman ve akademisyenlere yöneltilen anket ve alınan cevaplar doğrultusunda kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmektedir. Sonrasında ise Sosyal Yaşam Merkezi'nin meydana için önerilen malzemeler doğrultusunda toplanabilecek yağmur suyu hasat miktarının hesaplama yöntemi verilmektedir.

Tezin beşinci bölümü olan bulgular bölümünde ise; VISUAL PROMETHEE programı kullanılarak SYM meydana için önerilen örtü tasarımında hem yağmur suyu veriminin artırılması hem de ısı adası özelliğinin ortadan kaldırılması için belirlenen kriterler doğrultusunda uygulanabilecek en uygun malzeme ve önerilen

malzemelerin bu kriterler bağlamında sıralanmasına yer verilmektedir. Önerilen örtü tasarımı için en uygun malzemenin polikarbonat panel olarak belirlenmiş ve bu panel ile 1.174 m<sup>3</sup> yağmur suyunun hasat edilebileceği tespit edilmiştir.

Tezin son bölümünde ise SYM meydanında önerilen örtü tasarımı için önerilen malzemelerin ekonomik ve termooptik özellikleri bağlamında elde edilen malzeme sıralamasının detayları doğrultusunda elde edilen sonuçlar ve yağmur suyu toplama sistemlerinin suyun korunumu bağlamındaki önemi tartışılmaktadır.

Tez çalışmasının kapsamı, Şekil 1.1 'de akış şeması ile ifade edilmektedir.



Şekil 1.1. Tez akış şeması.



## BÖLÜM 2

### SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK

Son yıllarda oluşan çevre kirliliği ve doğal dengelerin bozulması dünya çapında ekosisteme tehdit oluşturmaktadır. Şu anda var olan kaynakların çoğunun gelecek yıllarda var olup olamayacağı tartışma konusu olmaktadır. Bu bağlamda “sürdürülebilirlik” ve “sürdürülebilir mimarlık” kavramları öne çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik, toplumun kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden veya gelecek nesillerden ödün vermeden mevcut ihtiyaçlarını karşılayan politikalar ve stratejilerdir. [5]. “Sürdürülebilir tasarım, doğal çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirerek veya ortadan kaldırarak yapıyı çevrenin kalitesini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan bir tasarım felsefesidir.” [5]. Sürdürülebilir mimarlık, kültürel, çevresel ve sosyo-ekonomik anlamda, gelecek nesillere aktarılacak binalar üretmeyi amaçlamaktadır. İlk aşamada, şantiye ve yapım sürecinin, çevrenin ekolojik özellikleri üzerinde etkisi bulunmaktadır.

Binalar varolduğu sürece insan eylemleri her aşamada yerel ve küresel çevreleri etkilemektedir. Yapı malzemelerinin üretim aşamaları ise küresel çevre üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Yapı inşası tamamlandıktan sonra çevre ile uzun süreli etkileşim içine girmektedir. Bu sebeple mimarlar, sürdürülebilir çevreler tasarlamak ve üretmekten direkt olarak sorumludur. Bu bağlamda, “sürdürülebilir tasarım (sustainable design)” canlı ve cansız tüm varlıkların birlikte var olmasını sağlıklı bir şekilde sağlayacak mimari çözümler bulmayı amaçlamaktadır. Daha sürdürülebilir yaşamın yolları, yaşam koşullarını yeniden düzenleme (örn. Eko-köyler, eko-belediyeler ve sürdürülebilir şehirler), ekonomik sektörlerin (kültür, yeşil bina, sürdürülebilir tarım) veya iş uygulamalarının (sürdürülebilir mimari) yeniden düzenlenmesi, bilimi kullanmak gibi birçok şekilde olabilmektedir. Doğal kaynakları koruyan bireysel yaşam tarzındaki düzenlemeler yapmak alınabilecek önlemlerden biridir.

Gelişen teknoloji ve sanayi ürünleri doğrultusunda yapı sektöründe yapının üretimi, kullanımı, bakımı yok edildiği veya geri dönüştürüldüğü sırada ortaya çıkan salımlar çevre üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. CO<sub>2</sub> emisyon azaltımları sürdürülebilir mimarlığın önemli etkenlerindedir. CO<sub>2</sub> emisyon azaltılmasında inşaat sektörünün rolü büyüktür. inşaat sektörü, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi küresel sorunların başlıca kaynağıdır. Avrupa Birliği Ülkelerinde %40'tan fazla toplam enerji kullanımı, %30 CO<sub>2</sub> emisyonu ve %40 oranında sentetik atığın inşaat sektöründen kaynaklandığı belirtilmektedir [6].

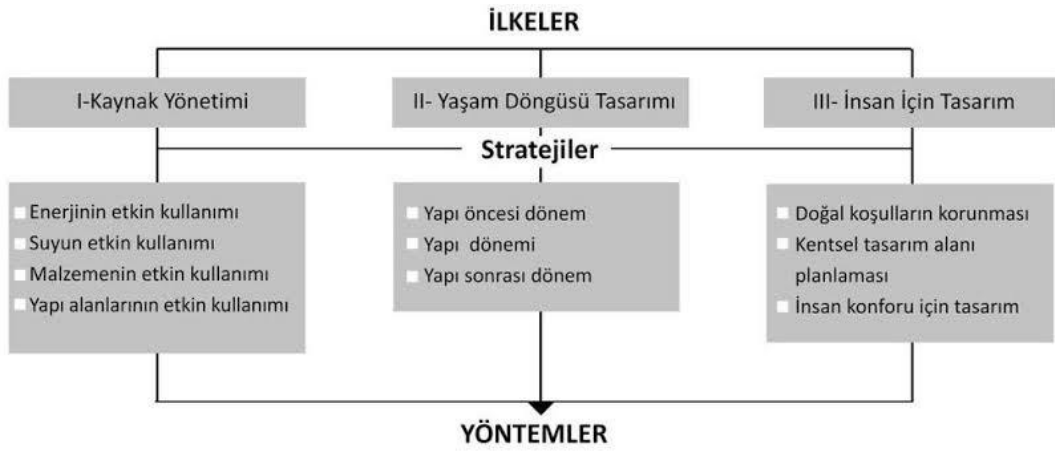
İnşaat sektöründe malzeme ve enerji büyük miktarda kullanılmakta ve ayrıca binalar, ormanlık alanların tahrip olmasına, temiz su kaynaklarının bozulmasına ve ozon tabakasının delinmesine neden olmaktadır. Dünyadan çıkarılan malzemelerin yaklaşık %50'si inşaat sektörü tarafından kullanılmakta ve tüketim sürdürülebilirlik seviyesinin üzerindedir [7]. Bu bağlamda sürdürülebilir mimari, gelecek nesiller için malzeme ve enerji kullanımını artırmayı düşünen tasarım tekniklerini kullanarak binaların çevreye olan olumsuz etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Her bina projesi ekolojik sistemlerde değişiklikler meydana getirip, enerji ve kaynakları kullanmakla birlikte tam olarak mükemmel yeşil bir bina mümkün olmamaktadır. Geniş bağlamda sürdürülebilir mimari, malzeme, enerji ve geliştirme alanlarının geniş bir kapsamda kullanımında, verimliliği ölçülü hale getirerek binaların olumsuz çevresel etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. En basit haliyle, sürdürülebilirlik veya ekolojik tasarım fikri, eylemlerimizin ve kararlarımızın bugünün gelecek nesillerin fırsatlarını engellememesini sağlamaktır [8]. Ortaya çıkan bu terimler, yapılı çevrenin tasarımına enerji ve ekolojik olarak bilinçli bir yaklaşımı tanımlamak için kullanılabilir [8]. Bu bağlamda sürdürülebilir mimarlık ilkeleri ilk olarak 1994 yılında Charles J. Kibert tarafından ortaya atılmıştır. Sürdürülebilir mimarlık ilkeleri şu şekildedir;

- Kaynak kullanımının en aza indirgenmesi
- Kaynakların yeniden kullanımını sağlama
- Kaynakların yeniden geri dönüştürülerek kullanılabilmesi
- Sağlıklı doğal bir çevrenin yaratılması

- Yapay çevrenin oluşturulmasında konfordan ödün verilmemesi

Sürdürülebilir mimarlık kavramının şekillendiği bu çerçevede, bahsedilen çevresel ilkeler üç ana başlık altında toplanabilmektedir. Bu başlıklar Şekil 2.1’de görüldüğü gibi “kaynak yönetimi”; yapım öncesi, yapım evresi ve yapım aşamalarında karşılaşılan sorunlara yönelik “yaşam döngüsü tasarımı” ve insan konforunun sağlanabilmesi sırasında doğal yaşamın korunabilmesi açısından kentsel tasarım planlamasını ele alan “insan için tasarım” ilkeleridir [9].



Şekil 2.1. Sürdürülebilir mimarlık ilkeleri [10].

Kaynak yönetimi ve koruma ilkesi; Doğal kaynakların yeniden kullanımı ve geri dönüşümü ilkesine dayanarak, inşaat alanlarının, malzemelerinin, su ve enerjinin etkin bir şekilde desteklenmesini öngörmektedir. Enerjinin verimli kullanımı, enerji etkin yeşil tasarım, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması ve pasif ısıtma ve soğutma için arsaya göre yerleşim, enerji tasarrufu ve aydınlatmada gün ışığı kullanımının faydalarını içermektedir. Suyun verimli kullanımı, geri dönüşüm ve yeniden kullanımı, yağmur suyu toplama, doğal peyzaj uygulamaları ve tüketimin azaltılmasını içermektedir. Malzemenin etkin kullanımı, geri dönüştürülmüş, malzeme tasarrufu sağlayan tasarım ve alternatif yapı malzemeleri ile yapının yanı sıra, binanın uygun boyutlandırılmasıyla mevcut yapının iyileştirilmesini içerir. Yapı alanlarının etkin kullanımı, mevcut yapı ve alanlar kullanılarak genişlemenin engellenmesi ve doğal topografyaya uygun tasarım yöntemlerini içerir.

Yaşam döngüsü tasarım ilkesi; Yapıya ait tüm süreçlerin tasarım aşamasından nihai ürüne olan etkilerini incelemek için inşaat öncesi dönem, yapım dönemi ve inşaat sonrası dönem için strateji ve yöntemlerden oluşmaktadır. İnşaat öncesi dönem, arazi seçiminin önemi, çevreye zarar vermeyen malzeme kullanımı, geri dönüştürülebilir, yenilenebilir kaynaklar, uzun ömürlü, az bakım ve onarım gerektiren, esnek tasarım ve uzun ömürlü yapıları ortaya koymayı öngörmektedir. Yapı dönemi, toksik olmayan bakım ve onarım malzemelerinin, atık yönetiminin ve kirliliğin önlenmesinin yanı sıra inşaat işlerinin ve ekipmanlarının çevre ve iş güvenliği üzerindeki etkisini en aza indirmeyi vurgulamaktadır. Yapı sonrası dönemse, yapı malzemeleri ve bileşenlerinin geri dönüştürülmesini, arazinin, mevcut altyapının yeniden kullanılmasını ve ömrünü tamamlamış binaların yeni gereksinimlere uyarlanmasını içermektedir.

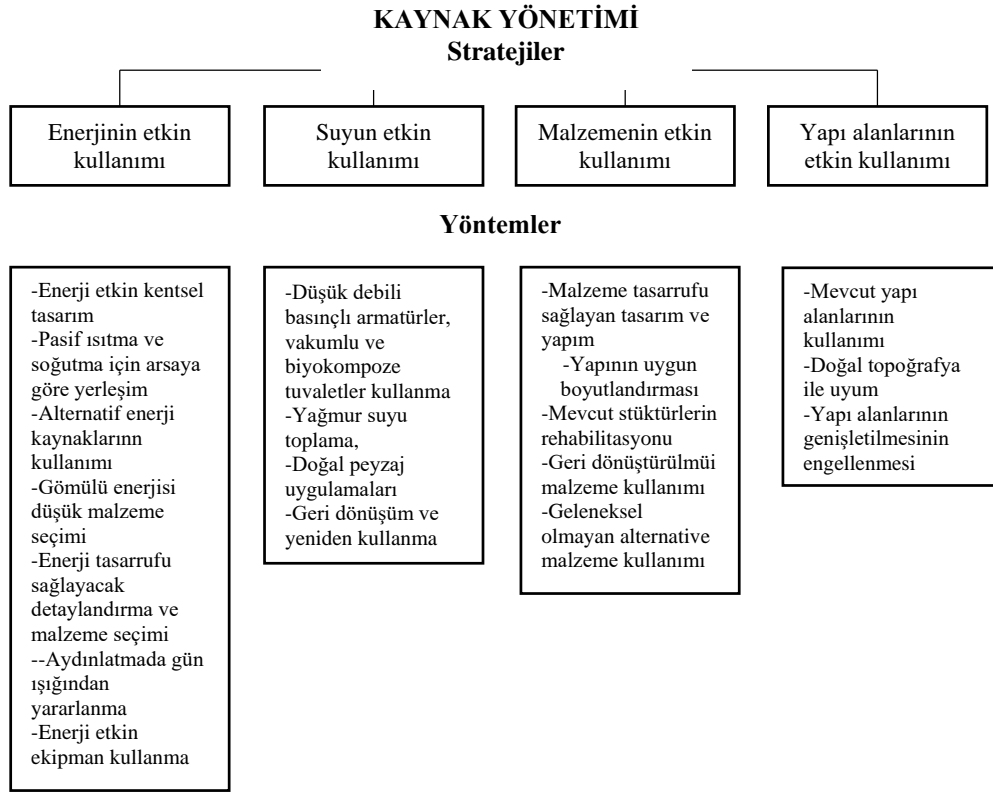
İnsan için tasarım ilkesi; Doğal koşulların korunması, kentsel tasarım mekan planlaması, tasarım stratejileri ve insan konforu için çeşitli yöntemlerle insan ve doğal çevre arasındaki etkileşimi yaratmaktadır. Doğal koşulların korunması, yapay çevrenin doğal sistemler üzerindeki etkisini en aza indirerek topografik koşullara ve yeraltı suyu seviyesine adaptasyonu, mevcut flora ve faunanın korunmasını destekler. Kentsel tasarımı, alan planlamasını, karma kullanımı, toplu taşımayı ve yaya ulaşımını desteklemektedir.

İnsan konforu için tasarım, farklı fiziksel özelliklere sahip kullanıcıların ve fiziksel engelli kişilerin desteklenmesini, termal konforun sağlanmasını, doğal aydınlatma ve havalandırmayı, pencerelerin açılmasını, dış mekân ile görsel ilişkinin sağlanmasını, toksik gaz çıkarmayan toksik olmayan malzemeler kullanılmasını öngörmektedir.

Sürdürülebilir mimarinin uygulanabilmesi için gerekli olan suyun etkin kullanımı stratejisi, enerjinin etkin kullanımı stratejisi, malzemenin etkin kullanım stratejisi ve yapı alanlarının etkin kullanım stratejisi, kaynak yönetimi ilkesi içerisinde yer alan stratejiler alt başlıklar halinde Bölüm 2.1’de yer alan Şekil 2.2’ de gösterilmektedir.

## 2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİR KAYNAKLARIN YÖNETİMİ

Mimar, kaynakları ekonomik şekilde kullanarak, binaların yapım ve kullanım aşamalarında yenilenemeyen kaynak kullanımını azaltmaktan sorumludur. Bina, kullanıcıların kullandığı süre boyunca kaynaklar tarafından beslenmektedir. Binalar ekolojik ürünlerin %50 sinin tüketiminden sorumlu tutulur. Sistemi besleyecek kaynaklara bakıldığında, sürekli bir kaynak tüketiminin söz konusu olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle, bina, ihtiyacı olan kaynağı sağlayıp kullanmakta ve sistem dışına atmaktadır. Binaya giren kaynağın; binaya girdiği sıradaki şekli ile çıktıktan sonraki şekli farklı olmaktadır. Bu farklılığa sebep olan ya mekanik müdahaleler ya da kullanımı sırasında insanların yaptığı müdahalelerdir. Sürdürülebilir bir mimariden bahsedecek olursak, kullanılan kaynakların hammaddelerinin geri dönüştürülebilir malzemelerden ziyade yenilenemeyen kaynaklardan seçilmesine özen gösterilmelidir. Enerji, su ve malzeme binadaki temel kaynak türleridir. Bu kaynakların korunabilmesi için gerekli önlemlerin alınması sürdürülebilir mimarlığın başlıca ilkelerinden biridir. Bunlar; enerjinin etkin kullanımı, suyun etkin kullanımı, malzemenin etkin kullanımı ve yapı alanlarının etkin kullanımı şeklinde sıralanmaktadır. Bu bağlamda kaynakların korunması için gerekli olan stratejiler aşağıda Şekil 2.2’de özetlenmiştir. Çalışmanın konusu olan Kaynak Yönetiminde su korunumu ise 2.1.1 de detaylı olarak ele alınacaktır.



Şekil 2.2. Sürdürülebilir mimarlık kaynak yönetimi [11].

Kaynak ekonomisi için üç strateji bulunmaktadır. Bu stratejiler enerji tasarrufu, su tasarrufu ve malzeme tasarrufudur. Her bir konu inşaat ve işletme binaları için gerekli özel bir kaynaktır.

Enerji Etkin Kullanımı; inşaat aşamasından sonra bir bina, çalışması sırasında sabit bir akış veya enerji girişi gerektirmektedir. Binalar tarafından enerji tüketiminin çevresel etkileri, esas olarak inşaat alanından uzakta, enerji kaynaklarının madenciliği veya hasat edilmesi ve güç üretilmesi yoluyla gerçekleşmektedir. Binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma ve ekipman çalışması sürecinde tükettiği enerji geri kazanılamamaktadır. Binalarda enerji tüketiminin çevresel etkilerinin türü, yeri, büyüklüğü ve verilen enerji türüne bağlı olarak değişmektedir. SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO ve NO<sub>x</sub> gibi kirletici gazlara sahip kömürlü elektrik santralleri doğrudan atmosfere karışmaktadır. Nükleer santraller şu anda kalıcı bir yönetim çözümü bulunmayan radyoaktif atıklar üretmektedir. Hidroelektrik santrallerinin her biri büyük bir su kütlesini tutabilen bir baraj ve bir rezervuar gerektirmektedir. Aynı zamanda

barajların inşası da nehir ekosistemlerinin kesilmesine, hayvanlar ve bitkiler için habitat kaybına yol açmaktadır.

Malzemenin korunması; inşaat yapım aşamasında şantiye alanlarına çeşitli yapı malzemeleri getirilmektedir. Yapı malzemelerinin akışı öncelikle inşaat aşamasında gerçekleşmektedir. İnşaat ve montaj işlemlerinden kaynaklanan atıklar önemli bir yere sahiptir. İnşaattan sonra, bakım, değiştirme ve yenileme faaliyetleri için düşük seviyeli bir malzeme akışı devam etmektedir. Tüketicilerin kullanacağı ürünler insan faaliyetlerini desteklemek için binaya akarlar ve bu malzemelerin tümü sonunda geri dönüştürülmüş veya bir depolama alanına dökülmüş olarak üretilmektedir. Suyun etkin kullanımı açısından alınması gereken önlemler aşağıda verilmiştir.

### **2.1.1. Suyun Korunması**

Su canlıların yaşamı boyunca gereksinim duyduğu en önemli ihtiyaçtır. Su kaynaklarımız çarpık kentleşme, nüfus artışı ve sanayileşme gibi sebeplerden ötürü giderek azalmaktadır. Bundan dolayı susuzluk riski giderek artmaktadır. Bunu önleyebilmek içinde kaynakların verimli kullanılması gerekmektedir. Su ihtiyacı ilk olarak binanın yapım aşamasında, şantiyenin kurulması ile başlamaktadır. Daha sonra bina içinde içme, yıkama, yemek pişirme, temizleme, tuvaletler, sulama vb. gibi tüm amaçlar için suya ihtiyaç duyulmaktadır. Gerek yapım aşamasında, gerekse kullanım aşamasında açığa çıkan atık ve kirlenmiş su tekrar geri kazanılabilmektedir. Binalarda kullanılabilen sular genellikle gri ve siyah su olarak adlandırılmaktadır. Binada arıtılması daha kolay ve tuvalet dışında arıtılan su gri su, tuvaletlerden toplanan ve arıtılması daha zor olan atık sular ise siyah su olarak adlandırılmaktadır. Gri sular %75 lik oran ile evsel atık suların en yüksek yüzdesini oluşturmaktadır [12]. Gri su çok kirli olmadığı için bina içerisinde kolaylıkla toplanıp geri dönüştürülerek tuvalet ve peyzaj sulamada kullanılabilir. Fakat siyah su kirli olduğundan dönüştürülmesi sağlık açısından uygun olmayabilmektedir. Bu sebeple pek çok ülkede önce denetimden geçerek kullanılması gerekmektedir.

Aşağıda verilen yöntemler ile su tüketiminin azaltılarak, ekolojik dengenin korunması hedeflenmiştir. Yöntemler şu şekildedir [13].

- Su kullanımında verimlilik
- Su bakımından verimli peyzaj
- Su verimli sıhhi tesisat ve donanım kullanımı
- Atık ve yağmur sularının geri kazanımı

Su Kullanımında Verimlilik: Geçmiş yüzyıllardaki su tüketimine bakıldığında nüfus fazlalığına oranla 6 kat daha hızlı artış gösterdiği görülmektedir. Toplam yağış miktarının %54'ü insanlar tarafından tüketilirken yapılar için bu oran %20' dir [14]. Bu sebeple binaların su tüketimini azaltmaya yönelmeli ve su kullanımının denetim altına alınması gerekmektedir. Yağmur suyunun depolanarak sudan tasarruf edilmesi, küresel boyutta su kaynakları ve doğal çevre korunumu bakımından oldukça önem arz eden bir konudur. Su korunumunda etkili olarak yağmur suyunun biriktirilerek depolanması ve depolanan yağmur suyunun arıtılarak geri dönüşümünün sağlanması suyun verimli kullanımında büyük önem arz etmektedir.

Su bakımından verimli peyzaj: Peyzaj konusunda yeşil örtü seçiminin doğru bir şekilde yapılması oldukça önemlidir. Bu sebeple, suya daha az ihtiyaç duyan bitki seçimleri yapılarak verimli sulama teknikleri uygulanmalıdır. Yağmur suyu toplama sistemleri kullanılarak suyun tekrar kullanımı sağlanabilmektedir. Zemin kaplamasında kullanılacak malzemenin yağmur sularının yer altı kaynaklarına akışını sağlayacak biçimde geçirgen malzemeler arasından seçilerek gri suların geri kazandırılması sağlanmalıdır.

Su verimli sıhhi tesisat ve donanım kullanımı: Binalarda verimli armatür kullanımı ve doğru sıhhi tesisat donanımları ile su tüketiminin % 30 oranlara kadar azaltılması öngörülmektedir. Tüketim miktarı az, verimli ölçülerde ve etkin tesisat donanımları kullanılmalıdır. Tüm bu uygulamalar gerçekleştirildiğinde, daha az atık su ortaya çıkacak, alt yapı yükü azaltılacak ve maliyetler de oldukça düşürülmüş olacaktır [14].

Atık ve yağmur sularının geri kazanımı: Yağmur sularının depolanarak tekrar kullanımı ve gri suyun yapının ıslak hacimlerinden kullanım sonrası yeniden toplanarak gerekli oranda arıtılıp kullanılması ile su tüketim miktarlarında ciddi oranda azalma görülmektedir. Depolama yöntemi yardımıyla geri kazanılan su,



arıtılma oranına uygun olarak sulamada, gerek duyulduğunda içme suyu veya farklı amaçlar ile kullanılabilir. Böylelikle, atıkları da kanalizasyona taşıyacak su miktarı gözle görülür şekilde azaltılmaktadır. Tuvaletlerden toplanabilen gri suların veya yağmur sularından olabildiğince kullanım sağlanmalıdır. Bu yöntem ile ekonomik yararlar dışında, çevresel boyutlarda; yerleşim bölgelerinde yoğun yağışlar meydana geldiğinde sel taşkınları ile oluşabilecek olumsuz alt yapı hareketlerine katkı sağlanmaktadır.

### **2.1.2. Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinde Su Korunumunun Önemi**

Yeşil bina değerlendirme sistemleri, sürdürülebilir tasarımlara dayanmaktadır. Sürdürülebilir kaynakların binalarda sürekli tüketimi yerine, tüm kaynakların tüketimini, yeniden kullanımını veya geri dönüşümünü olabildiğince az kapsayan değerlendirme sistemlerinin farklı ülkelerde farklı isimleri bulunmaktadır. Bu doğrultuda Yeşil Bina Sertifikasyon programları, özellikle 1990'ların başında ekosistemdeki bozulmaların ve bu bozulmadaki yapı sektörünün rolünün daha belirgin hale gelmeye başlamasıyla sürdürülebilir binalar kurma fikrini desteklemek için ortaya çıkmaya başlamıştır. İlk olarak İngiltere'de başlatılan bu programlar daha sonra başta ABD, Avustralya, Japonya ve Almanya olmak üzere çeşitli ülkelerde uygulanmıştır. Sertifikasyon sistemlerinin amacı, binaların tasarım, inşaat ve kullanım dönemlerinde kullanılan doğal ve yapay kaynaklar, çevre (flora ve fauna) üzerindeki etkilerini en aza indirmektir. Bina alanlarının, malzemelerin, suyun, enerjinin etkin kullanımı ile kirlilik ve atık yönetiminin planlanması gibi kriterler için değerlendirme sistemlerinin oluşturulması ve belgelendirilmesidir. Çalışmanın bu bölümünde, sertifika programları arasında yer alan BREEAM, LEED ve BEST sertifika programları ile suyun verimli kullanımı için belirledikleri kriterler incelenmektedir.

#### **2.1.2.1. BREEAM**

BREEAM, hem yeni hem de mevcut çevre dostu binaların oluşturulmasına yardımcı olan bir değerlendirme yöntemidir. İngiltere'nin inşaat ve gayrimenkul çevre tasarımı ve yönetiminde bir referans sistemi olarak kabul edilmiş ve dünya çapında yaygın

olarak kullanılmaktadır. BREEAM, binaları ödüllere göre değerlendirir ve ardından genel değerlendirme puanını sonuçlandırmaktadır. Enerji verimliliğinden geri dönüşüm tesislerine kadar, binanın her seviyesinde ve yaşam döngüsünde çevreyi etkileyebilecek her şey kriterlere dahil edilmiştir. BREEAM'de sertifika değerlendirme puanları aşağıdaki gibidir;

- Pass (=Geçer) (minimum %30 puan)
- Good (=İyi) (%45 puan)
- Very Good (=Çok iyi) (%55 puan)
- Excellent (=Mükemmel) (%70 puan)
- Outstanding (=Olağanüstü) (%85 puan) [66].

BREEAM, sürdürülebilirlik açısından tüm yapıyı belirli başlıklar altında incelemektedir.

- Yönetim
- Sağlık
- Enerji
- Ulaşım
- Su
- Arazi kullanımı ve ekoloji
- Malzemeler
- Atık ve kirlilik

Bu kriterler, binanın sürdürülebilir tasarımın en iyi örneklerinden biri olmaya devam ettiği anlamına gelmektedir. BREEAM'in diğer sertifikalara göre güçlü olduğu alanlar; yaya, bisikletçi güvenliği, su ve akustik gibi konulardır [66].

Su başlığı altındaki krediler de kategorilere ayrılmıştır. Su tüketimini azaltmak ve su sayaçlarını kullanmak için verilecek minimum kredidir. Örneğin, Breeam Birleşik Krallık'ta "Ofisler" 2008 kategorisi için su verimliliği kredileri şunlardır:

Kredi 1: *Su tüketimi (3 kredi)*: Düşük su tüketimli, yüksek verimli sıhhi ekipman veya akış organı elemanları kullanılarak içme suyu tüketiminin azaltılması ile ilgili bir kredidir. Kişi başına düşen yıllık su tüketimi;

- 4.5-5.5 m<sup>3</sup>'e indirilebilmişse 1 kredi,
- 1.5-4.4 m<sup>3</sup>'e indirilebilmişse 2 kredi,
- 1.5 m<sup>3</sup>'e indirilebilmişse ise 3 kredi olarak alınabilmektedir.

Kredi 2: *Su sayaçları (1 kredi)*: Su sayaçları ile su tüketim oranlarının belirlenmesi ve azaltılması hedeflenmektedir.

Kredi 3: *Sızıntı alarmları (1 kredi)*: Belirlenemeyen sızıntılardan kaynaklanan su kayıplarının alarmlarla azaltılması amaçlanmaktadır.

Kredi 4: *Tuvaletlerdeki sızıntıyı en aza indirmek (1 kredi)*: Sızıntı riskini azaltmak için kullanılan solenoid valflerin özellikleridir.

Ayrıca farklı kategoriler için;

- Suyu geri dönüştürerek içme suyu tüketimini azaltmak,
- Etkili sulama sistemleri kurarak peyzaj sulamada kullanılan içme suyu oranını düşürmek,
- Oto yıkama ünitelerinde su geri dönüşümü ve içme suyu tüketimi azaltılması gibi farklı krediler de bulunmaktadır.

#### **2.1.2.2. LEED**

LEED, uluslararası kabul görmüş bir yeşil bina sertifikasıdır. Sistem, su verimliliği, CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması, enerji tasarrufu, iç mekan çevre kalitesinin iyileştirilmesi, kaynakların korunması ve etkilerine duyarlılık gibi kriterlerin karşılanmasına odaklanmaktadır.

LEED, hem konut hem de ticari olmak üzere tüm bina türlerine uygulanabilecek kadar esnekler. Binanın yaşam döngüsü boyunca çalışmaktadır. (tasarım ve yapım, işletim ve bakım, kiracı yerleştirme ve önemli ölçüde güçlendirme.)

LEED kriterleri, kullanıcı sağlığı ve konforuna daha fazla önem vermektedir. BREEAM, çevresel etkilere daha fazla odaklanmaktadır. LEED sertifikası kazanmanın ise hem çevresel hem de finansal faydaları bulunmaktadır.

LEED, bina puanlama sistemini 6 ana başlık altında toplamaktadır [67] ;

- Sürdürülebilir topraklar
- Su aktivitesi
- Kaynak ve malzemeler
- İç hava kalitesi
- Tasarım ve yenilik
- Enerji ve atmosfer

BREEAM sertifikasına göre LEED'in güçlü yanları; kullanıcı konforu, dahili kontaminasyon sorunları, diğer ilerleme sorunları ve BREEM tarafından kapsanmayan diğer alanlardır [67].

Çalışmada LEED derecelendirme sistemindeki derecelendirme alanlarından biri olan su verimliliği başlığı incelenmiştir.

Su verimliliği: Bu başlık ile bina ve çevresini çeşitli su koruma kredilerinin yanı sıra, puanlama sistemi ile binalara kredilerin ne kadarının uygulanabileceğini değerlendirmektedir. Su verimliliği için ön koşullar ve krediler, farklı kategorilerde farklı puanlara sahiptir. Suyun verimliliği için bir ön koşul ve üç kredi vardır. [67]. Kriterler aşağıdaki gibidir;

Ön koşul: Suyun verimli kullanımını artırmak, şebeke ve kanalizasyon döşemesi üzerindeki yükü azaltmaktır. Geliştirilen stratejilerle binalarda temel ihtiyaçlar için ihtiyaç duyulan su miktarı ölçülerek su kullanım miktarının % 20 oranında

azaltılması istenmektedir (sulama suyu dahil değildir). Binalarda ticari ve konut yapıları için yapılacak ölçümler farklı değerlere sahiptir. Yapılan ölçümler kullanıcı sayısı ve projede uygulanabilir armatürlerin tahminlerine göre belirlenmektedir (tuvalet, pisuar, duş, lavabo bataryası, evye bataryası ve ön yıkamalı duş bataryaları). [68]. Uygun kalitede alternatif su kaynaklarının (yağmur suyu, sel suyu, klimalardan gelen su kullanımı), gri suyun pisuarlarda ve tuvalette musluk suyu olarak kullanılmasının binalarda son derece etkili su tasarrufu yöntemleri olduğu da belirtilmektedir [68].

1.Kredi: Suyu verimli kullanan peyzaj (2-4 puan): Peyzaj sulamasında kullanılan içme suyu, doğal yüzey suyu veya yeraltı suyunun proje alanında sınırlandırılması veya kullanılmaması dahildir [68].

- Peyzaj sulamasında kullanılan suda %50 azalma (2 puan): İklim faktörleri, bitki türleri ve etkili sulama teknikleri, arıtılmış atık su kullanımı, yağmur suyu kullanımı ve içme suyu kullanımının azaltılması değerlendirilmektedir. Bu kredide "Potansiyel Teknolojiler ve Stratejiler" başlığı altında; Su ihtiyacının azaltılabileceği, daha az suya ihtiyaç duyan yerel bitkilerin kullanılması için toprak ve iklim analizine dayalı bir değerlendirme yapılması, yüksek verimli sulama yöntemleriyle peyzaj sulamasının yapılması ve buna göre peyzaj seçiminin yapılması gerektiği belirtilmektedir [67].
- Sulamada içme suyunun kullanılmaması (4 puan): Arıtılmış gri suyu ve atık suyu dönüştürerek ve içme suyu kullanımını sıfıra düşürerek yağmur suyunun sulama suyu olarak kullanılması kredisidir.

2. Kredi: Yenilikçi atıksu teknolojileri (2 puan): Bu kredi susuz sıhhi teçhizat (susuz pisuarlar ve kompost tuvaletler gibi), yağmur sularının toplanması, gri su veya çeşitli yöntemlerle arıtılmış atık su kullanımı, böylece kanalizasyona giden atık su miktarını azaltmak içindir.

3. Kredi: Binanın toplam su tüketimi (2-4 puan): Düşük su tüketimi sıhhi tesisat ve akış organlarına sahip binalarda su tüketimini azaltmak için verilen kredidir. Su tüketimi;

- %30 azalma var ise 2 puan,
- %35 azalma var ise 3 puan,
- %40 azalma var ise 4 puan, verilmektedir [67].

Belli puanlar arasında belli bir sertifika seviyesine sahip binalar prestijli yapılar olarak değerlendirilmekte ve yapıların değerleri sertifika derecesine göre artmaktadır.

### **2.1.2.3. BEST (ÇEDBİK)**

Türkiye'de yeşil binalara olan bilinçlenme ve ilgi arttıkça, yeşil binalara olan taleplerin ve örnek projelerin sayısının çoğalması öngörülmektedir. Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği, sürdürülebilir kalkınma ilkeleri ışığında inşaat sektörüne katkı sağlamak amacıyla Ekim 2007'de kurulmuştur [94]. Bu ortaklık, günümüzde artan ekolojik problemde daha sağlıklı bir yaşam ortamı, bütüncül bir yaklaşımla ve ekolojik bilinçle inşa edilmiş binalar ve yerleşimlerle karşılaşma inancıyla çalışmaktadır. ÇEDBİK derneğinin kuruluş amacı; Yaşam kalitesini artırarak sosyal sorumluluk bilinciyle sağlıklı bir çevrede yaşamak için bina ve yaşam alanlarının tasarlanması, inşa edilmesi ve yaşatılmasıdır. Türkiye LEED ve BREEAM sertifikasına adaptasyon, sertifika komitesi ÇEDBİK tarafından sağlanmaktadır.

Proje kapsamında su kullanımının amacı, su kullanımını ölçerek azaltmak için gerekli tedbirleri almaktır. İçme suyu kaynakları ve su kalitesindeki düşüş, dünyada hızla artan bir sorun haline gelmiştir. Mevcut koşullar altında tatlı su rezervlerine sahip ülkeler bile kontrolsüz su kullanımı, büyük akiferlerden su çekilmesi ve iklim değişikliği sebebiyle risk altında kalmaktadır. Nüfusun su ihtiyacı, arazinin doğal hidrolojisi dikkate alınarak depolanmalıdır. Atık su arıtılabilmekte, geri dönüştürülebilmektedir ve böylece su döngüsü gerçekleşmektedir. Su kalitesindeki düşüş ve yeraltı sularının korunamaması nedeniyle bu tür uygulamalar yaygınlaşmıştır [69]. Su kullanımında ideal koşullara ulaşmak için yeni teknolojiler kullanılmalı, uygun ve verimli büyüklükte işletilen merkezi ve bölgesel çözümler üretilmelidir [69].

Ön koşul: Ev içinde ve dışında su tasarrufu önlemleri olarak su kullanımını azaltarak suyun verimli bir şekilde kullanımını sağlamaktır. "Su Kullanımının Azaltılması" ile ilgili olarak hane başına düşen su miktarı hesaplanır ve bu değer en fazla 85 m<sup>3</sup>/yıl olmalıdır. Kullanım suyu hesaplanırken tuvalet, lavabo, duş ve mutfak musluklarında kullanılan su miktarı, bulaşık ve çamaşır makinelerinde kullanılan su miktarı ve peyzaj sulamada harcanan su miktarı değerlendirilmektedir. Hesaplama yöntemleri, "Su Kullanımını Azaltma" kredisinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. [69].

1. Kredi Su Kullanımını Azaltma (6 puan): "Su Kullanımının Azaltılması" ile ilgili olarak, hane başına düşen yıllık evsel ve harici su miktarı bu değere göre ayrı ayrı hesaplanmakta ve değerlendirilmektedir [69].

- İçme suyu değeri 70-85 m<sup>3</sup> / yıl - 1 puan
- İçme suyu değeri 50-70 m<sup>3</sup> / yıl - 2 puan
- İçme suyu değeri 40-50 m<sup>3</sup> / yıl - 3 puan
- İçme suyu değeri 30-40 m<sup>3</sup> / yıl - 4 puan
- Bahçe Sulamada geri dönüştürülmüş gri su, damla sulama ve nem sensörü kullanılıyorsa - 2 puan verilmektedir. [69].

2. Kredi Su Kayıplarını Önleme (2 puan): Su kullanım miktarının sürekli izlenmesini sağlamak, olası sızıntı ve kayıpları azaltarak su israfını önlemektir.

3. Kredi Atık Su Arıtma ve Değerlendirme (2 puan): Proje alanı kapsamında atık suların arıtılıp yeniden kullanılması teşvik edilerek suyun etkili kullanılması hedeflenmektedir [69]. Kullanıcı sayısı 100 kişiden fazla ise evsel atık su arıtma yöntemi belirlenmelidir. Atık su karakterine uygun arıtma sistemi kurularak devreye koyulmalıdır. Kullanılacak tesisin özellikleri, sistem tasarımcısı tarafından arıtma tesisi için uygun bir yer belirlenerek planlanmalıdır. Bu durumda [69];

- Atık su arıtma tesisinde atık suyun arıtılarak tahliye edilmesi halinde 1 puan.
- Atık suyun ileri arıtımla arıtılıp yapıdadaki kullanılması halinde 2 puan alınabilmektedir.

Kullanıcı sayısı 100 kişiden az ise "Su Kullanımının Azaltılması" başlığından 4 puan alan projeler "Atıksu Arıtma ve Değerlendirme" için doğrudan 2 puan almaya hak kazanmaktadır [69].

4. Kredi Yüzeysel Su Akışı (2 puan): Akış sularının kalite ve miktar bakımından kontrol altında tutularak yeraltı suyu seviyesinin korunması ve yağmur suyu şebeke yükünün azaltılması hedeflenmektedir [69]. İnşaat sonrası şebekeye aktarılan akış suyu miktarı, 1 yıl 24 saat 2 yıl 24 saat için tasarıma göre hedeflenen akış suyu miktarını geçmemelidir. Proje sahasından alınacak akış suyu miktarı% 20 azaltılmalıdır. Akış suları drene edilip kontrol edilerek toprak kayıpları önlenmelidir [69].

#### **2.1.2.4. Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin Suyun Etkin Kullanımı Açısından Karşılaştırılması**

Sürdürülebilir kalkınma kavramının dinamik karakteri, inşaat sektöründe belirli çevresel performansın sürekli iyileştirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle genel standartların ötesine geçen ekolojik yapı, mümkün olan en üst düzeyde gönüllü katılım gerektirir. Bir binanın "ekolojik" "çevre dostu" veya "sürdürülebilir" olduğunu belirten, kendi kendini belirleyen etiketler genellikle bir binanın genel çevresel etkisinin büyük ölçüde keyfi görünmesini veya yalnızca tek yönlerini vurgulamayı sağlamaktadır. Aynı zamanda, mevcut değerlendirme şemaları son derece çeşitlidir ve karşılaştırmayı daha da zorlaştırır [70].

Bölüm 2.1.1.'de irdelendiği üzere suyun etkin kullanımı açısından ne gibi önlemler alınabileceği görülmektedir. Farklı etkilere sahip olan sertifikalar doğrultusunda suyun etkin kullanımının etkileri çevreyle doğrudan ilişkilidir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte yapılarda su korumunun çevresel etkilerini görebilmek sürdürülebilir yapı tasarımı açısından oldukça önemlidir.



Çizelge 2.1. LEED, BREEAM ve BEST yeşil bina değerlendirme sistemlerinde su koruması ile ilgili kredilerin karşılaştırılması.

SERTİFİKALAR	LEED	BREEAM	BEST
SU İLE İLGİLİ DEĞERLENDİRME KREDİLERİ	<i>Ön koşul:</i> su tüketiminin azaltılması	Su kullanımını azaltan akış organı elemanı kullanımı	<i>Ön koşul:</i> Su kullanımını azaltma
	Su kullanımını azaltan akış organı elemanı kullanımı	Su sayacı	Su kullanımını azaltma
	Su sayacı (kurumsal iç mekan)	Sızıntı sensörleri	Su kayıplarını önleme
	Su tasarruflu peyzaj kullanımı	Etkin sulama sistemleri	Atık su arıtma ve değerlendirme
	Su tüketiminin gözlenmesi	Su tüketiminin gözlenmesi	Yüzeysel su akışı
	Yenilikçi atık su arıtma teknolojileri	Suyun dönüştürülmesi	
		Araç yıkamada etkin su kullanımı	

### 2.1.3. Binalarda Yağmur Suyu Toplama Sistemleri

Binalarda su tasarrufu için geliştirilen teknolojilerden biri olan yağmur suyunun toplanması, kullanılma süreci ve kullanımının artması ile evlerde içme suyu tüketimi önemli ölçüde azalmaktadır. Turistik alanlar, stadyumlar, turistik yerler ve havalimanlarında yani geniş alanlı yerlerde arıtma işlemi uygulayarak yağmur suyunun toplanması su koruma stratejilerinden biridir. Yağmur suyu toplama tanklarının kullanılması birçok fayda sağlamaktadır. Bu sayede yağmur suyu kullanım verimliliği artmakta ve yer altı su kaynakları korunmaktadır. Yağmur suyunun kanalizasyon sistemine girmesi engellenir, böylece taşma riski azaltılır ve yüzey sularının kirlenmesi önlenmektedir. Yağmur suyu toplama, yağmur suyunun geçirimsiz su tutma veya tutma yüzeylerinden tutularak depolama alanına iletim kanalları (şut ve borular) ile taşınması ve kullanım amacına uygun tanklarda depolanması ile oluşan sistemlerdir. Yağmur suyu toplama sistemlerinin bileşenleri şu şekilde sıralanabilir. [15];

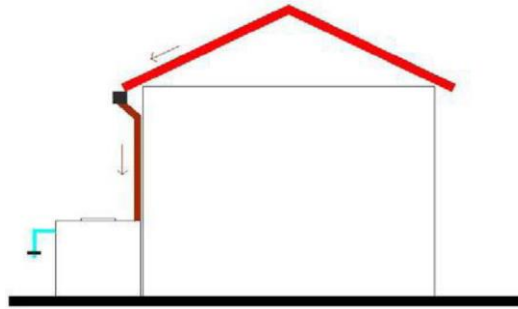
- İletim kanalları (Oluk ve borular)
- Oluk süzgeçleri, ayıraçlar ve ana filtreler
- Su tutma veya yakalama yüzeyleri

- Dağıtma sistemi
- Depolama tankları
- Arıtma ve su kalitesi sistemidir.

Binalarda kullanım amacına göre su kalitesi içme ve kullanma suyu (içme suyu içermeyen kaliteli su) olarak ikiye ayrılmaktadır. Çatılardan toplanan su genel olarak kullanma suyu olarak kullanılmakla birlikte arıtma ile içme suyu getirilebilmektedir. Kullanma suyuna ihtiyaç duyulan yerler; yangınla mücadele, havuz doldurma, araba yıkama, bahçe sulama, ev temizliği, çamaşır yıkama, tuvalet yıkama, soğutma kuleleri ve endüstriyel işlemlerin uygulandığı alanlardır. İçme suyuna ihtiyaç duyulan alanlar ise yemek pişirme, banyo-duş ve bulaşık yıkamadır. Yağmur suyu bina dışında veya içinde evsel su olarak iki şekilde kullanılabilir. Binanın dışındaki yağmur suyu; peyzaj sulamada, süs havuzlarının doldurulmasında, araba yıkamada, bina içi tuvalet rezervuarlarında ve çamaşır makinelerinde kullanılabilir [15].

### 2.1.3.1. Yağmur Suyunun Bina Dışında Kullanımı

Yağmur suyu, yangınla mücadele, havuz doldurma, araba yıkama ve bahçe sulama yapılan alanlarda basit bir yöntemle bina dışında kullanılabilir [15]. Ev içi tesisat maliyetinden dolayı konut dışında yağmur suyunun kullanılması daha uygun hale gelmektedir. Bu nedenle yağmur sularının basitçe toplanması ve peyzaj sulamasında kullanılması daha yaygın olmaktadır [15]. Çatı yüzeyinden toplanan yağmur suyu oluklarda süzülerek depoda toplanır. Daha sonra toplanan yağmur suyu buradan dalgıç pompa ile direkt bahçeye ulaştırılabilir (Şekil 2.3).



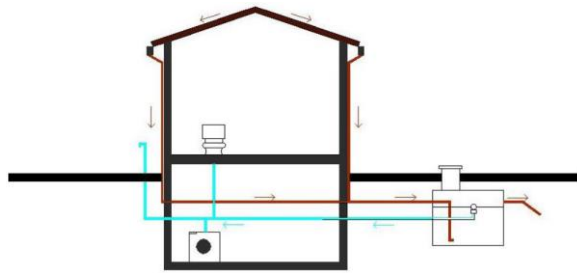
Şekil 2.3. Bina dışında yağmur suyunun kullanılması [15].

### 2.1.3.2. Yağmur Suyunun Bina İçerisinde Kullanımı

Binalarda kullanım suyu için kimyasal işlem görmeden çamaşır makinelerinde ve yağmur suyu tuvalet rezervuarlarında kullanılabilir. Ancak toplanan yağmur suyunun istenilen kalitede olmaması durumunda çamaşır makinelerinde kullanılması kötü koku ve bozulma gibi istenmeyen durumlara neden olabilmektedir. Bina dışında yağmur suyu için farklı uygulama seçenekleri bulunmaktadır.

- Yağmur suyu hattının kullanıldığı sistemler (tek döşemli),
- Şebeke suyu hattının yağmur suyu hattını beslediği sistemler,
- Yağmur suyu döşeme ve şebeke döşemesinin birbirinden bağımsız kullanıldığı sistemler (çift döşem).

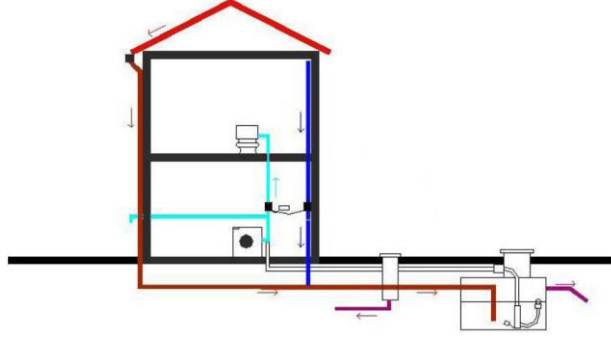
Yağmur suyu hattının kullanıldığı sistemler (tek döşemli): Bu sistemde yağmur suları oluklar yardımı ile toplama yüzeyinden süzülerek toplama tankına getirilir. Toplama tankında toplanan su, bir pompa yardımı ile belirlenen noktalara teslim edilir. Bu sistemde, belirlenen noktalara sadece yağmur suyu bağlanmadığı ve şebeke hattı ile beslenmediği için yağmur suyunun azalması durumunda su kesintileri yaşanabilmektedir. Bu gibi durumlarda yağmur suyuna şebeke suyu ilave edilerek sorun çözülebilmektedir.



Şekil 2.4. Yağmur suyu hattının kullanıldığı sistemler (tek döşemli) [16].

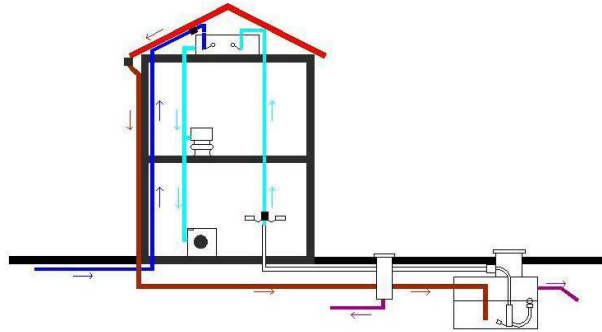
Şebeke suyu hattının yağmur suyu hattını beslediği sistemler: Bu sistemlerde oluklar yardımı ile toplama yüzeyinden filtrelenerek toplanan yağmur suyu, şebeke hattından gelen su ile beslenir. Bu sistemde iki farklı şekilde uygulanabilmektedir.

Şebeke döşeminin yağmur suyu döşemini direkt beslemesi: Bu sistem ile toplanan yağmur suyu toplama tankına aktarılırken şebeke suyu ile beslenerek direkt toplanır. Bu sistemde yağmur suyu azaltılsa bile şebeke suyu desteği ile herhangi bir su kesintisinin önüne geçilmektedir. Binada kullanılacak su, sürekli bir pompa yardımı ile binaya ulaşabildiğinden, bu sistem enerji kullanımını açısından dezavantajlıdır.

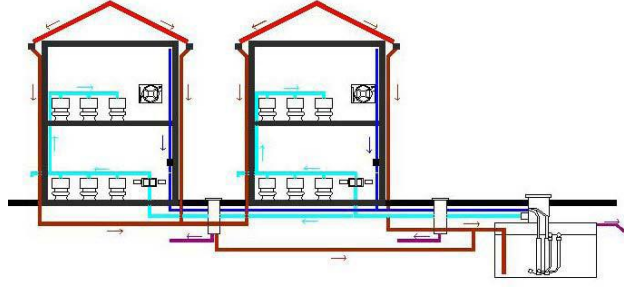


Şekil 2.5. Şebeke hattının yağmur suyu hattını direkt beslediği sistemler [16].

Bina içindeki bir depoda şebeke suyu ve yağmur suyu döşemesinin birleştirilmesi (Yerçekimi sistemi veya çatı depolama sistemi ile dağıtım): Bu sistemle toplanan yağmur suyu ve şebeke hattından gelen su, bina çatısı arasında ortak bir tankta veya bina içerisinde başka bir alanda toplanır. Ortak alanda toplanan su, çatıdan yerçekimi yardımıyla herhangi bir alandan veya binanın herhangi bir bölgesinden pompa ile bina içinde belirlenen noktalara taşınmaktadır. Deprem bölgelerinde betonarme sistemin yüklerini azaltmak için çatı uygulamalarında yaşanacak sorunlar sistemin dezavantajıdır.



Şekil 2.6. Şebeke suyu ile yağmur suyu döşeminin çatı arasında bir depoda birleştirilmesi [16].



Şekil 2.7. Şebeke suyu ile yağmur suyu döşeminin bina dışında bir depoda birleştirilmesi [16].

Şebeke su hattının ve yağmur suyu hattının birbirinden bağımsız olarak kurulduğu (çift döşemli) sistemler: Bu sistemde toplanan yağmur suyu ve şebekeden gelen su için bina içerisinde ayrı kurulumlarla belirlenen hedeflere ulaşılır. İki sistemin birbirinden bağımsız olduğu sistemde, toplanan yağmur suyu çamaşır makinelerinde ve rezervuarlarda kullanılabilir. Yağmur suyunun olmadığı dönemlerde şebeke suyu pompaya ihtiyaç duymadan kullanılabilir olduğundan bu sistem diğer sistemlere göre daha avantajlıdır.

Toplanan yağmur suyunun sivil kullanımları farklıdır (örneğin; tuvalet yıkama, çamaşırhane, bahçe sulama, teras temizleme ve araba yıkama gibi farklı dış mekan kullanımları), ancak tümü merkezi olarak temin edilen kaynaklardan içme suyu tüketimini azaltmayı amaçlamaktadır. Ghaffarian Hoseini vd., [17] bu kullanımların, küresel olarak toplam hane halkı (evsel) su tüketiminin %80-90'ını karşılayabileceğini öne sürerken, YST uygulamasıyla ilişkili su tasarrufunun faydalarını vurgulamıştır. YST sistemlerinin kurulması şehirlerin su yeterliliğini arttırmakta ve yeni merkezi su altyapıları inşa etme ihtiyacını geciktirmeye yardımcı olabilmektedir [18].

### 2.1.3.3. Gri Su Geri Dönüşüm Sistemi Tasarımı

Evsel atık suların duş, küvet ve lavabodan kaynaklanan dışkı içermeyen kısmına “gri su” denir. Gri su, evsel atık sudan en az kirlenmiş olanı ve %80'ine denk gelen kısmıdır. Bu yüzden tekrar kullanılmak için arıtılması kolay olmaktadır. Atık suların tuvalet kaynaklı olan ve %20'sine denk gelen kısmı ise “siyah su” olarak

adlandırılmaktadır. Membran filtreler ile arıtılan gri suyun çamaşır yıkama, araba yıkama, bahçe sulama, yangın tesisatı, tuvalet rezervuarları, süs havuzları ve yüzeysel sulara deşarjının uygun olduğu görülmektedir. Geri kazanılmış su kullanımıyla su faturalarında %50 ye yakın tasarruf sağlanabileceği kanıtlanmıştır [19]. Gri su kazanım sistemlerine Varyap Meridian, İstanbul Hilton Otel, Zincirlikuyu Zorlu Center, Levent Özdilek gibi proje uygulamaları örnek verilebilmektedir [19]. Gri suyun arıtma işleminden sonra kullanılması için belirli standart değerlerini sağlaması gerekmektedir. Örneğin Almanya Berlin Senato Ofisi tarafından açıklanan tuvalet rezervuarları ve çamaşır yıkamak için gerekli değerler, bahçe sulama suyu kalite değerlerini düzenleyen DIN 19650, AB/76/160/EEC yönetmeliğine ve standartlarına uygun yüzme suyu kalite değerleri kabul edilmiştir. Bu değerlere uygun su elde edildiğinde herhangi bir tehlike arz etmeyeceği garanti edilmektedir [19].

Gri su geri dönüşüm sisteminin uygulanacağı meskenlerde duş ve lavabolardan gelen dışkı içermeyen atık su boruları ayrı bir şekilde tasarlanmalıdır. Kullanım suyu ve şebeke suyu hattının birbiri ile bağlantısı olmamalıdır. Temizlik ve bahçe sulama gibi amaçlar için tahsis edilen muslukların üzerinde içilemez uyarıları yer almalıdır [20].

Yağmur suyu hasadı ve gri su geri dönüşümü, binalarda sıfır şebeke suyu kullanımını sağlamak için kullanılan iki stratejidir. Sıfır şebeke suyu kullanımı, bir binanın belediye su hizmetinden bağımsız olarak çalışmasını sağlamakta ve bu da yenilenebilir su kaynaklarını kullanmaya dayanmaktadır. Gri su geri dönüşüm sistemleri atık suları arıtma tesislerinde arıtmakta ve tekrar kullanılabilmesi için depolama tanklarında depolamaktadır. Yağmur suyu hasadı ve gri su geri dönüşümünü birleştiren sistemler içme suyu tüketimini azaltmaktadır. Binalar ve endüstriler için ek su kaynakları sağlayarak sel olaylarını hafifletmeye yardımcı olmakta ve belediye arıtma tesislerine ulaşan atık su hacmini azaltmaktadır [21].

Yağmur suyunun hasatı ve gri su geri dönüşüm sisteminin tasarımı, depolama tanklarının ve arıtma tesislerinin yeri, büyüklüğü, malzemesi ve teknolojisi ile ilgili kararları içermektedir. Ek olarak, sisteme yağmur suyu sağlayacak toplama yüzeylerinin tanımlanması gerekmektedir. Yağmur suyu hasadı ve gri su geri

dönüşümünü birleştiren bir sistem birden fazla kişiye, yeterli kalitede uzun süreli su teminini sağlayabilmektedir. Yağmur suyu hasadı, yağmurlu mevsimlerde suyun toplanmasına izin verirken, gri su geri dönüşümü sabit bir geri dönüştürülmüş su kaynağı sağlamaktadır [21].

Doğru bileşenler, arıtma teknolojisi ve konum ile, YST yeni veya mevcut konut ünitelerine monte edilebilmekte ve bu sistemleri içeren binaların su tüketimini %40'a kadar azalttığı görülebilmektedir [19]. Ancak, bu tür sistemleri tasarlarken inşaat maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri ile ayrıca sistem konfigürasyonu ile ilgili koşullar dikkate alınmalıdır. Bu anlamda, bu sistemlerle ilgili tasarım kararlarını desteklemek için araçlar geliştirmelidir. Mesken birimlerinde yağmur suyu hasadı ve gri su geri dönüşümü içeren entegre bir sistem tasarlamak için;

- İçme suyu tüketimi, bakım ve işletme maliyetleri, içme suyu maliyeti ve inşaat maliyetlerini en aza indiren çok amaçlı bir optimizasyon modeli
- Yağış olaylarıyla ilgili belirsizliği içeren iki aşamalı stokastik (olasılıksal) optimizasyon modeli gerekmektedir.

Sonuçlar böyle bir sistem tasarlandığında, tüketilen içme suyunun %30'undan daha fazla bir azalma olduğunu göstermektedir [19].

Gri su geri kazanımının faydaları ;

- İçme suyunu kullanmak yerine, arıtılmış gri su kullanmak su kullanım miktarımızı azaltarak doğal su kaynaklarının korunmasının sağlanması,
- Kanalizasyona deşarj edilen atık su miktarı sahada arıtılan gri su ile azalacağından yerel yönetimler tarafından yapılan yüksek maliyetli arıtma sistemlerinin hacmini azaltarak yatırım maliyetlerinin düşürülmesi,
- Gri su geri kazanım sistemlerinin su kullanım oranlarını düşürdüğünden şebeke suyu dağıtım maliyetlerinin düşürülmesi,
- Gri suyun kurak bölgelerde bahçe sulama ve bitki yetiştirme için değerli bir su kaynağı olması,

- Gri su, siyah sudan daha az oranda nitrojen içermektedir. Atık sudaki Azotun % 90'ı siyah sudan gelmektedir. Azot sudan ayrışması zor madde olmakla birlikte aynı zamanda ciddi bir kirlilik etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle gri suyun arıtımı siyah sudan daha kolay ve hızlı olmaktadır. Aynı zamanda sulama suyu olarak gri su kullanıldığında besleyici bir su ve iyi bir gübre kaynağıdır.

#### **2.1.3.4. Yağmur Suyu Toplama Sisteminin Avantajları**

Geçmişten beri eski bir eylem olan YST sistemleri, belirlenen konumda yağmuru alan, depolayan ve kullanan üç aşamayı içermektedir. YST tankları, Eski Yunanistan, Roma, Avusturya ve Hindistan gibi medeniyetlerde oldukça yaygındır. Yaklaşık 4000 yıldır Ürdünde kırsal alanları sulamak için yüzeysel akışlar kullanılmaktadır. Yüzeysel akış; Dünya'nın yüzeyinden toprak tarafından emilmeyen fazla yağmur suyu, erimiş kar suyu veya kara yüzeyinden akan diğer kaynaklardan gelen sudur ve su döngüsünün önemli bir bileşenidir [22].

Venedik, İtalya da yapılan bir çalışmanın sonuçları, Orta çağ döneminde, hane halkı tüketiminde yağmur suyunun toplanması için yaklaşık 6000 yeraltı tankının kullanıldığını göstermiştir [22]. 20. yüzyılın ikinci yarısında, YST doğrudan (kalıcı toplama ve depolama elemanları) veya dolaylı olarak (çatıların kenarındaki özel kaplar kullanılarak) Afrika, Asya ve Güney Amerika'da nüfus gelişimi için bir strateji olarak kullanılmıştır [22]. YST ile ilgili son çalışmalar iki ana sınıfa ayrılabilir.

Birinci sınıf, simülasyon yöntemiyle planlama için kullanılan hane halkı içme suyunun tedarik edilmesine yönelik YST kapasitesinin tasarlanması ile ilgili, ikinci sınıf ise, su temini konusunda çeşitli mevcut modellerle YST kapasitesinin ve etkisinin simülasyonu ve değerlendirilmesi ile ilişkilidir [23].

Son zamanlarda, yağmur suyu hasadı (YST), özellikle gelişmekte olan ülkelerde alternatif güvenli bir içme suyu kaynağı olarak ilgi çekmektedir. İyi bir YST sistemi tasarımına sahip olmak için detaylı ve uygun bir yağmur verisi almak, gelişmekte



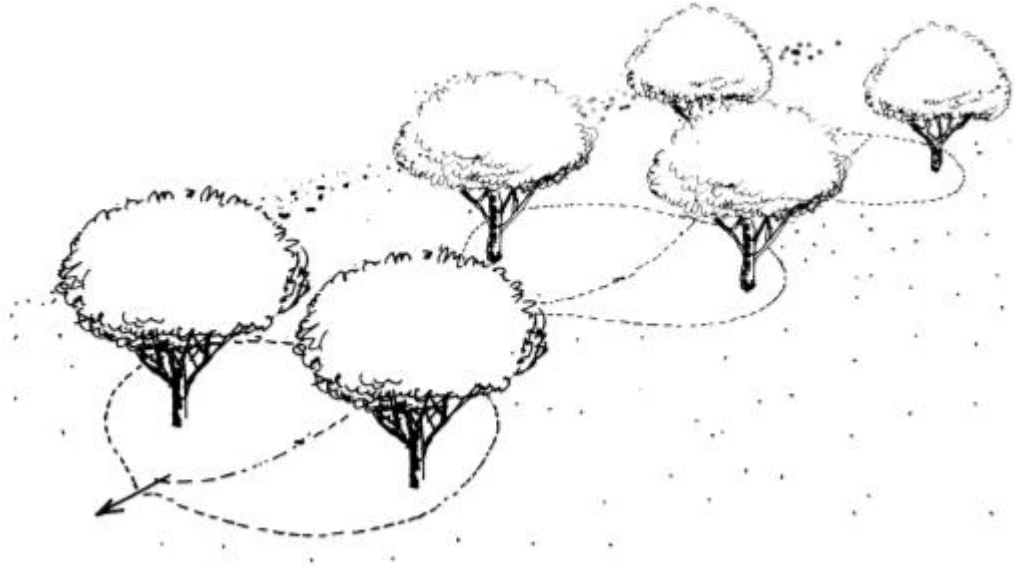
olan ülkelerde zor olmaktadır. YST sistem performans tahminlerinde, günlük yağış verilerinin yanında doğrudan aylık yağış verilerinin kullanılması da mümkün olmaktadır [23].

Yiyecek, içme suyu ve hijyen dışında kalan diğer amaçlar için içme suyu kalitesinde su gerekmemektedir. Suya iyi erişim ve belediye suyunun düşük fiyatı nedeniyle İsveç gibi ülkelerde yağmur suyu kullanımına olan ilgi oldukça düşüktür. Ancak sürdürülebilir bir seçenek olarak YST tekniği hem su temini hem de yağmur suyu yönetimini etkileyen bir seçenek olarak önemli avantajlara sahiptir. YST, doğal çevrenin güçlendirilmesini ve o bölgenin su kaynaklarının değişen iklim şartlarına karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Yağmur suyunun toplanması, su akışı olaylarının hafifletilmesine ve önlenmesine yardımcı olmasının yanı sıra, azalan su akışı, çevreyi kirletme riskinin azaltılması ve ekolojik sağlığı korumak gibi başka çevresel avantajlar da sağlamaktadır [23].

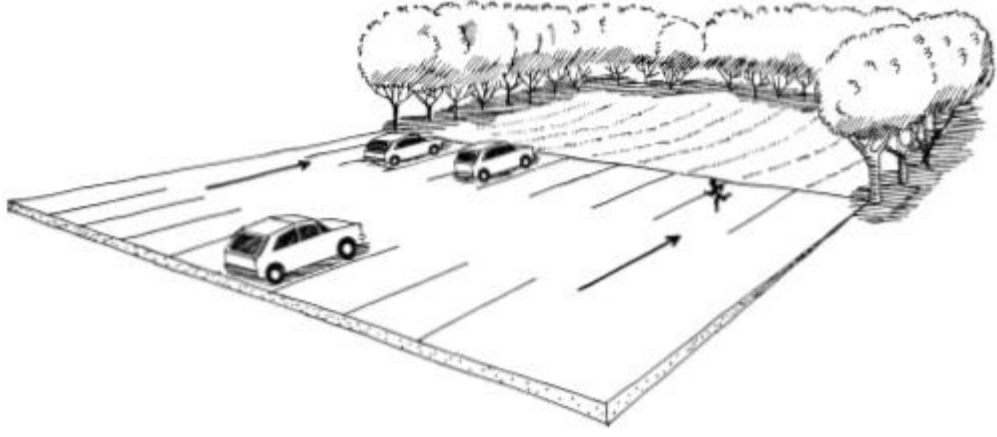
YST sistemi, merkezi olmayan bir su temin sistemine örnektir ve bu nedenle, birçok sosyal fayda sağlamaktadır. YST, içilebilir şebeke suyunun kullanımını azaltmakta ve kimi zaman fahiş olabilen borulama maliyetlerini de düşürmektedir. Bir YST sistemi su taşımacılığı için gereken enerji miktarını azaltabilmektedir; Stockholm Çevre Enstitüsünün yapmış olduğu bir araştırma, 100 galon musluk suyunun 10 mil boyunca taşınması için 0.81 kWh'a ihtiyacı olduğunu ancak merkezi olmayan YST sistemlerinin çok kısa taşıma mesafelerine sahip olduğunu bulmuştur. Bir YST, kaçak nedeniyle su kaybını azaltabilmekte; günlük su kullanımının %14-18'i yani günde 6 milyar galon suyun, ABD'deki eskiyen borular yüzünden israf edildiği tahmin edilmektedir [14]. YST'nin bu sosyal faydaları yanı sıra bireysel evlerde genellikle alternatif bir su kaynağı olarak teşvik edilmektedir.

Yağmursuyu akışını azaltma isteği de dahil olmak üzere YST'yi uygulamak için sayısız neden bulunmaktadır. Su dağıtım sistemlerini kırsal alanlara yaymaktan kaçınma arzusu, mevcut su kaynağına oranla yağmur suyunun kalitesi ve yeni su kaynaklarının geliştirilmesine kıyasla nispi maliyeti (maliyetlerinin birbirine oranı) dikkate alındığında YST'yi uygulamak daha avantajlı olabilmektedir. YST su kullanımı, artan enerji verimliliği ile gelecekteki potansiyel içme suyu kaynağı olarak

doğası gereği daha temiz bir sudur. Parklar, okullar, ticari siteler, otoparklar ve apartman kompleksleri gibi büyük ölçekli yapıların yanı sıra küçük ölçekli konutlar için de uygun olmaktadır. Çevre düzenlemesi için içilebilir bir suya gereksinim olmadığından dolayı yağmur suyunun filtrelenmesine gerek yoktur. Yağmur suyu, bitkiler için temiz, tuzsuz bir su kaynağıdır. Toplanan yağmur suyu ayrıca florür, klor gibi kimyasallardan arındırılmıştır ve daha düşük çözünmüş tuz ve mineral konsantrasyonları içerebilmektedir [14]. Yağmurun düştüğü yerde tutulması ve direkt toprakta depolanması gibi tekniklerde uygulanabilmektedir. Yağmur suyu yamaçlarda toplanıp gerektiğinde bitki tarafından kullanılır ve büyük miktarda su depolanabilir ise bu suyun bir kısmının yeraltı suyunu beslemesi sağlanabilmektedir. (Şekil 2.8) Su hasadının sulamadan farkı sulama için herhangi bir zamanlama olmadan kontrol edecek birinin olmayışıdır. Su yüzey akışına bağlı olarak sadece yağış olduğu zamanlarda hasat edilerek kullanılır (Şekil 2.9).



Şekil 2.8. Yamaçlarda ekili su toplama havzaları serisi [25].



Şekil 2.9. Otopark alanında iç bükey çim alanına boşaltmak [25].

Yağmursuyu tanklarında toplanan su, su yumuşatıcıları eklenmeden doğrudan tuvaletin yıkanması gibi iç mekanlarda kullanılabilir. Yağmur suyu hasadı yangın söndürme olarak da kullanılabilir ve böylece belediye su temin gereksinimlerini azaltmaktadır [25].

Heggen [26], dünya çapında yaklaşık 100 milyon insanın, hem içilebilir hem de içilemez kullanım için yağmur suyu hasadı toplama sistemlerinden toplanan suyu kullandığını belirtmiştir. Yağmur suyu hasadı, özellikle suyun çoğunun ithal edildiği California eyaletinin San Diego şehri gibi yerlerde, içme suyu ithalatı ihtiyacını düşürmeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca yağmur suyu hasadı suyun uzun mesafelerden getirilmesinden daha verimli olmaktadır. Çünkü uzak mesafede bulunan nehirlerden suyun taşınması ciddi yatırım ve işletme maliyetleri gerektirmektedir. ABD’de ortalama su maliyeti 2003’ten 2008’e kadar %29,8 artmıştır [27]. Gelecekte maliyet artışlarını azaltmak için, Teksas ve Ontario yönetimleri, finansal teşvikler sağlayarak insanları YST sistemleri kurmaya teşvik etmektedir.

Bazı taraflar, toplanan yağmur suyunun belirli topluluklar için belediye içme suyundan daha güvenli olabileceğini iddia etmektedir. Yağmur suyunun kıyıda uzakta genellikle sodyumsuz olması nedeniyle, kalp hastalarına da yardımcı olabileceği ifade edilmektedir. YST; Hindistan ve Bangladeş’te saf su kaynağı olarak, derin kuyulara iyi bir alternatiftir, çünkü arsenik içermediğinden ucuzdur ve

işlemden sonra içme ve yiyecek hazırlama için kullanılabilir. Ancak hasat edilen suyun güvenliği, çatı malzemesinin kirletici madde salınımlarına bağlı olabilmektedir. Birçok birey gelecekteki iklim değişikliklerinin etkilerini azaltmak için YST uygulamasına başlamak zorunda kalacaktır [27].

Ghansu'daki RWH, Çinli çiftçilerin daha sonra kullanılmak üzere mahsulün büyüme dönemlerinde kullanılması için şiddetli yağışlar sırasında su depolamasına yardımcı olmuştur. Böylece YST uygulaması çiftçinin kuraklık koşullarına duyarlılığını azaltmıştır [28]. Günümüzün kentsel su altyapıları verimsizlik, enerji kısıtlamaları ve fon eksikliğinden dolayı sıkıntılar çekmektedir. Örneğin, kentsel su tedarik sistemlerinin verimsiz performansının, son kullanımdan önce dağıtım sistemlerinde %10 ve daha fazla artırılmış içme suyu sızıntısı ile sonuçlandığı tahmin edilmektedir.

Kaliforniya ve Utah'ta yapılan araştırmalara göre, kamunun su hizmetleri sağlamak için bölgesel enerji talebinde %6 ile %20 aralığında dikkate değer bir oranın gerekli olduğu tespit edilmiştir [29]. Günümüzün eskiyen ve genişleyen altyapısı da içme suyu altyapıları için büyük bir yatırıma gereksinim duymaktadır. Buna tamir ve bakım maliyetleri de eklendiğinde bütçede büyük payların ayrılmasını gerektirmektedir. Kentsel su altyapısına yapılan önemli yatırımlar düşünüldüğünde YST kentsel su yönetimine olan yaklaşımı değiştirmede bir strateji olarak benimsenebilmektedir.

#### **2.1.3.5. Yağmur Suyu Hasadına Yönelik Engeller**

YST'nin ana sakıncası, sınırlı tedarik ve yağış belirsizliği ile ilişkili olmaktadır. Uzun süreli kuraklıklardan etkilenen yerler için yağmur suyu güvenilir bir su kaynağı değildir. Özellikle de bu gelişmekte olan bir ülke ise su tedariki için bu alternatif ilk seçenekler arasında yer almamaktadır. YST sistemlerine teknik, yasal ve ekonomik engeller bulunmaktadır. Aşağıda verilen bu sebeplerden dolayı sistemin kabul edilmesinde birçok engel bulunmaktadır. Bunlar;

- Yasal olarak bağlayıcı su kalitesi standartlarının bulunmaması: Herhangi bir Hükümetin ya da düzenleyici kurumun standartların belirlenmesi ve izlenmesinde sorumluluk alma konusundaki isteksizliği,
- YST maliyetleri ve bakım gereksinimleriyle ilgili bilgi eksikliği,
- Güvenilir su kalitesi seviyesinin elde edilmesi ve korunmasında yaşanan zorluklar,
- Halkın bilinçlendirilmesi, kabul ve benimsemesindeki eksiklikler,
- Mevcut kamu şebeke suyunun düşük maliyetli olması, su verimliliği yatırımlarındaki yatırım karını cazip kılmamaktadır: su şirketleri, sürdürülebilir bir su temini sistemi oluşturmak yerine tüketici maliyetlerini azaltmaya odaklanmakta; suyun maliyeti nadiren son kullanıcı için bir itici güç olmasına rağmen bir YST kurmanın maliyetinin önemli olması,
- Depolama kapasitesinin toplanan yağmur suyu miktarını sınırlaması,
- Aşırı miktarda kentsel yağmur suyu akışının toplanması, sağlıklı bir akışın sağlanamaması,
- Yağmur suyunun her türlü mikrobiyolojik ve kimyasal kirletici madde tarafından kirlenebilir olması ve bu nedenle kullanımdan önce uygun şekilde arıtılmazsa, ciddi sağlık risklerine neden olabilmesidir [30].

Sanayi devriminden önce, yağmur suyunun saf, yumuşak, kimyasal ve mikrobiyolojik kirleticiler içermediği düşünülmekteydi. Temiz olduğundan hiçbir işlem yapmadan kullanılabilmekte ve tüketilebilmekteydi. Ancak sanayi devriminin başlaması ve giderek artmasıyla bu durum bir daha mümkün olmamıştır. Artan kirlilikle birlikte, birçok yerde, özellikle de mega kentlerde toplanan yağmur suyu çeşitli kimyasal ve organik yabancı maddeleri (kirlilikleri) içerebilmektedir. Yağmur düştüğü andan itibaren, karbondioksit ve azotu çözüdüğü için, toplama yüzeyinden (çatı, göletler, oluklar) depo alanına tıpkı bir asit yağmuru gibi depolanmakta ve bu durum kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik kirlenmeye sebep olabilmektedir [30]. Günümüzde, genel olarak, yağmur suyu WHO'nun (World Health Organization) uyguladığı kalite standartlarını karşılayamamaktadır. Ancak, bu suyun, kullanımı için elverişsiz olduğu anlamına da gelmemektedir. Asıl sorun, içilemez amaçlar için yağmur suyunun kullanılması yönünde uluslararası kabul görmüş belirli bir standart düzenlemesinin olmamasıdır. Yapılacak böyle bir düzenleme yağmur suyu

kaynaklarının kullanımını teşvik ederken yanlış kullanım nedeniyle ortaya çıkabilecek potansiyel sağlık risklerinden kaçınmayı da sağlayacaktır. Hasat edilmiş suya uygulanacak arıtma tipi, kullanım amacına göre değişmektedir. Bir çatı üstü YST toplama yüzeyinden (çatı), taşıma sisteminden (oluklar veya borular) ve bir depolama yapısından (bir sarnıç veya bir tank) oluşmaktadır. Bu işlem süreci boyunca her üç aşamada da kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik kirlenme potansiyeli bulunmaktadır. Çatılar yerden daha yüksek olmasına rağmen, yapraklar ve dallar gibi diğer döküntüler olabilmektedir. Böylece, yağmur suyunun düşmesi sadece hava kirleticilerini (CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO, CH<sub>4</sub>, CFC, Radon gibi gazlar, organik ve inorganik partiküller ile biyolojik moleküller içeren zararlı veya aşırı miktarda madde) çözmez, aynı zamanda çatıya düştüğünde çatı malzemesinden bu kirleticileride çözer kiri toplayarak depoya aktarır. Depolama sırasında da bulunduğu yere, su derinliğine ve kullanılan malzemeye bağlı olarak değişiklikler olabilmektedir. Bu bağlamda çatı akışının su kalitesini etkileyen birkaç faktör bulunmaktadır [31]:

- Çatı malzemesinin- kimyasal özellikleri, pürüzlülüğü, yüzey kaplaması ve yaşı;
- Çatının yapım yöntemleri- büyüklük, maruz kalma, eğim;
- Yerel hava ve çevre koşulları- mevsim, önceki kurak dönemler;
- Yağış olayları, yoğunluk, rüzgar, süre;
- Kirleticilerin kimyasal özellikleri, buhar basıncı, suda çözünürlük;
- Su toplama yüzeyinin yeri - kirlilik kaynaklarına yakınlık: sanayi alanları, tarım alanları, yoğun trafik faktörleridir.

YST, yağmursuyu yönetimi ve su tasarrufu sağlama da önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen bu uygulamanın insan üzerindeki etkisi ile ilgili birçok belirsizlik bulunmaktadır. Bu nedenle toplanan suyun kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda kapsamlı bir değerlendirme yapmak gerekmektedir. Çatılardan toplanan yağmur suyunda en sık karşılaşılan tehlikeler mikrobiyolojik ve fiziksel-kimyasal (endüstriyel emisyonlar, tarımsal atıkların çevreyi kirletmesi, kontrol edilemeyen yangınlar ve partikül maddeler, çatı malzemesi, tank malzemesi)

tehlikeler olabilmektedir. Bölüm 2.1.4’de YST sistemleri detaylı olarak ele alınacaktır.

#### **2.1.4. Yağmur Suyu (YST) Sistemi Depolama ve Toplama Yöntemleri**

Yağmur suyu toplama sistemlerinde toprak altı ve toprak üstü olmak üzere, sarnıç yöntemi ve depo (tank) yöntemi olmak üzere iki ana yöntemden bahsedilebilmektedir. İki yöntemin de sistem bazında avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte, sistem tasarımında hangi yöntemin seçileceğine, yağış rejimi, depolama büyüklüğü, kullanılan malzeme ve maliyetleri, uygun iş gücünün bulunup bulunmaması gibi etkenler göz önünde bulundurularak ön hesaplamalarla karar verilmelidir [32].

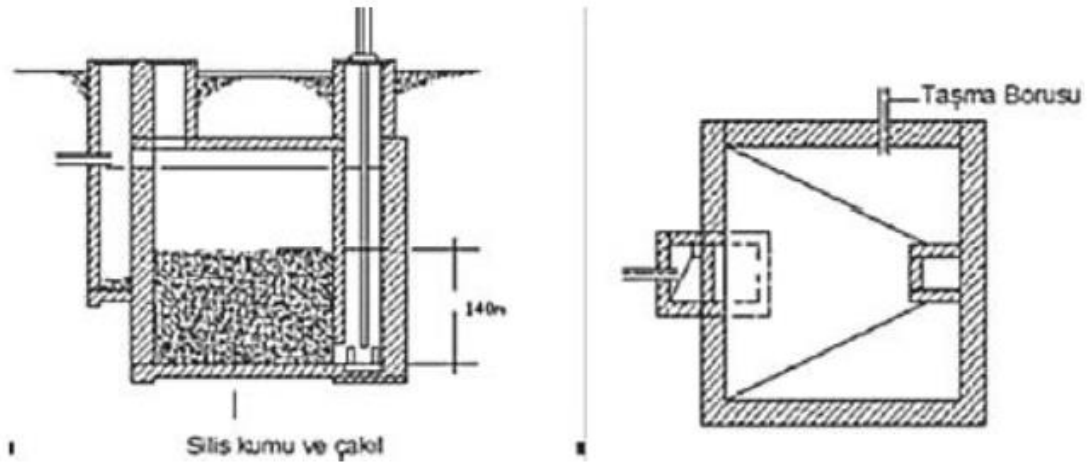
##### **2.1.4.1. Sarnıç Sistemi**

Geçmişte su sıkıntısının hissedildiği bölgelerde yaygın olan yağmur suları sarnıç sistemleriyle toplanarak kullanılmaktaydı. Su sorunu olan kurak bölgelerde toplam su tüketiminde büyük paya sahip olan bahçe sulamada yağmur suyu kullanımı su tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Sarnıç uygulaması bu tür kullanımlar için oldukça etkili bir yöntemdir. Sarnıç uygulamaları, özellikle yer altı ve yerüstü su kaynaklarının sınırlı olduğu ancak yeterli yağış alan ve merkezi su temin altyapısının bulunmadığı yerler için ideal bir çözüm olarak sunulmaktadır. Sarnıçlar kırsal kesimde, kıyı kesimlerinde, kurak, yarı kurak alanlarda, adalarda ve dağınık yerleşim yerlerinde kullanılabilir. Sarnıçlar kırsal kesimde, kıyı kesimlerinde, kurak, yarı kurak alanlarda, adalarda ve dağınık yerleşim yerlerinde kullanılabilir.

Tipik bir sarnıç sistemi dört bileşenden oluşmaktadır. Bunlar;

- Binaların çatı veya zeminlerinden yağmur suyunun toplanması,
- Oluk sistemiyle iletimin sağlanması,
- Yağmur suyu tankında biriktirilmesi,
- Arıtılarak binaya ulaştırılmasıdır [32].

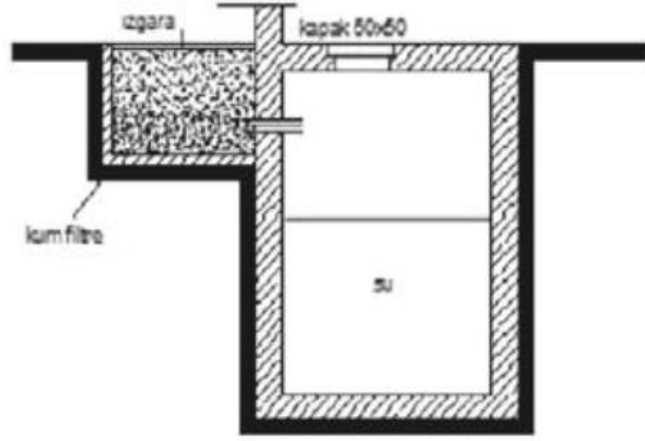
Kasaba, köy ve şehirlerin su ihtiyacı yerüstü ve yer altı sularından karşılanmaktadır. Yağmur suyu sarnıç adı verilen rezervuarlarda toplanmaktadır. Sarnıçlar genellikle toprağa gömülü olarak inşa edilmekte ve su geçirmezdir. Teras, çatı ve temiz avlulardan toplanan su sarnıca verilmektedir. Sarnıçta bulunan yağmur suyunun kumdan (filtre) süzülmesi gerektiğinde silis kumu kullanılmaktadır. Alt 1/3 kısmı çakıldan, üst kısmı ince kumdan yapılmış yaklaşık olarak 1m yüksekliğinde bir kum filtresi iyi çalışmaktadır. Şekil 2.10 sarnıcın dikey kesitini ve planını göstermektedir.



Şekil 2.10. Tipik bir sarnıcın düşey kesiti ve planı [33].

Sarnıç, kum filtrelendiğinde, kum tabakasının % 40'ı kadar boşluk olduğundan sarnıcın hacmi gerekenden çok daha büyük olabilmektedir. Bu rahatsızlığı gidermek için, filtre kumunu giriş borusu veya su giriş borusu etrafına koymak, kirli kumu zamanında değiştirmek veya kirli kumu yıkamak gerekir. Daha gelişmiş sarnıçlarda yağmur suyu gerektiği kadar dinlendirilip filtreleme sürecinden geçmektedir. Çakıl ve ince kum filtrelerinden oluşan 1.40 m yüksekliğindeki kum filtresi, sudaki kir ve yüzen maddeleri askıya alarak temizlenmiş suyun su alma kuyusuna geçmesini sağlamaktadır. Şekil 2.11'de görülebileceği gibi, suyu kova ile değil, bir pompa ile sarnıçtan almak, suyu temiz tutmak için doğru yöntemdir [33].



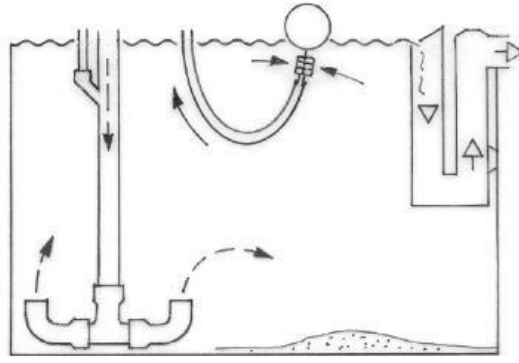


Şekil 2.11. Sarnıçta yağmur sularının süzülerek toplanması [33].

Su kıtlığının yaygın olduğu ve artan nüfus ihtiyacını karşılamak adına çeşitli su yollarından beslenen İstanbul'da çok sayıda geleneksel sarnıç örneği bulunmaktadır. Sarnıçların en bilinenleri 224 sütunlu Pileksenus Sarnıcı (Binbirdirek), Acımusluk Sarnıcı ve 336 sütunlu İmparator Sarnıcı (Yerebatan Sarayı)'dır [33]. Ayrıca eski çağlarda su kaynaklarının nüfusa yetersiz olması sebebiyle özellikle Tarihi Yarımada'da bulunan evlerin veya sarayların bodrumları sarnıç görevi görmüştür. Günümüzde sarnıçların teknolojik gelişimiyle beraber yağmur suyunun binalarda kullanımı ve buna bağlı olarak su tüketiminin azaltılması sağlanmıştır.

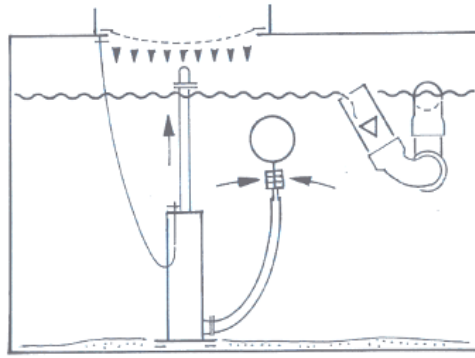
#### 2.1.4.2. Depo Sistemi

Hasat edilen yağmur suyu, gerekli görüldüğünde dağıtılmak üzere bir depolama sistemi ile toplanmaktadır. Depo tesisatı ile ilgili şematik gösterimler Şekil 2.12 (a) ve (b)'de yer almaktadır.



Depo tesisatı:  
 Durgun giriş  
 Yüzer emme filtresi  
 1.0 mm gözeneklilik  
 Taşma

(a)



Depo tesisatı:  
 Durgun giriş  
 Yüzer emme filtresi  
 1.0 mm gözeneklilik  
 Kuyu pompası  
 Taşma borusu

(b)

Şekil 2.12. (a), (b) Depo tesisatı ile ilgili şematik gösterimler [34].

### Sızdırma Yöntemi

Sızan yağmur suyu, kullanımı en kolay formdur. Yeraltından sızan su, yeraltı sularının yenilenmesinde (beslenmesinde) ve korunmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Aynı zamanda yeraltı suyunu orijinal seviyesine getirmenin en kolay yoludur. Yeraltı suyunun doğal yenilenmesi % 20-50 yağmur suyuna dayanmaktadır. Öncelikle toprağın doğal olarak sızıntıya uygun olup olmadığı belirlenmelidir. Uygun koşullar Alman mevzuatı ATV standardı A138'de belirtilmektedir. Tanklarda toplanan yağmur suyunun kullanılmasında sağlanacak temel şart, suda kirlilik olmamasıdır [34].

Sızıntı oranını artırmanın bir başka yolu da otoparklarda veya halka açık ortamlarda özel taşların uygulanmasıdır. Bu taşlar yüksek geçirgenliğe sahip olmakla birlikte şiddetli yağmurda dahi yağmur sularının yeraltı sularına sızması ve karışması için

uygun bir ortam oluşturmaktadır [34]. Taşların geçirgenliğinin sağlanması için önemli bir ön koşul da, "temiz" üretim tekniklerinin kullanılmasıdır. Günümüzde inşaat izinleri verilirken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri de ev, yapı, fabrika vb. gibi bahçelerin, otoparkların ve etrafındaki alanların yeşillendirilmesidir. Yağmur suyunun yeraltı suyuna sızmasını sağlamak için Şekil 2.13'te gösterilen benzer taşlarla döşenmesi gerekmektedir [35]. Zemin asla betonla kaplanmamalıdır. Yağmur sularının toprağa sızması sağlanmalıdır. Sızıntının avantajları olarak yağmur suyu kanalizasyon sisteminin yükünü azaltmaktadır. Bu nedenle, kanalizasyon ve şebeke sisteminin maliyetleri azalmakta, kanalizasyon şebekesine rastgele su sızıntısına karşı daha fazla sel güvenliği önlemi almaya gerek duyulmamaktadır [35].

Yağmur suyu ve sızıntı sistemleri kullanmanın avantajları; atık su arıtma maliyetlerinde azalma, yağmur suyu depolama tankları yapma kolaylığı ve sel ve taşkınların neden olduğu hasarı azaltmaktır. Örneğin: Almanya, Recklinghausen'de bulunan Elisabeth Hastanesi, bu yöntemi kullanarak yıllık su arıtma maliyetini 35.000 Euro kadar düşürmüştür [35].



Şekil 2.13. Zemine yeraltı suyu geçirgenliği sağlayan taş döşenmesi örnekleri [35].

### Yüzeyden Su Toplama

Yüzeyden yağmur suyunun toplanması ve konstrüksiyon türleri (eğimli çatı-asbest beton çatı-metal platform çatı) ile ilgili teknik sorunlar bulunmaktadır. Çok kirli çatılardan toplanan yağmur suyu, yağmur suyu toplama tankında toplanmamalıdır. Eğimli bir çatıdan toplanan su genellikle sarı renktedir ve tuvaletin bahçe sulamada

kullanılmasını garanti etmesi gereken bir kokuya sahiptir. Fakat bu suların bakteriyolojik açıdan zararsız olduğu kanıtlanmıştır. Çökeltme yöntemi ile arıtılan su tüketilmek üzere pompaya aktarılmakta ve su seviyesi otomatik olarak kontrol edilmektedir [35]. Asbest beton çatı kaplaması eğilme eğilimindedir. Bu durumda toplanan su, asbest yüzdesine bağlı olarak sadece tuvaletlerde kullanılabilir. Metal platform çatılardan, özellikle karışık metal kaplı çatılardan toplanan su, çamaşır yıkama veya bahçe sulamasına uygun olmamaktadır. Bu sular sadece tuvaletlerde kullanılabilir. Yağmur suyu toplama tankı, yağmur suyunu çökeltme işlemi boyunca arıtmanın yanı sıra su temini sağlamaktadır. Şekil 2.14'te yüzeyden su toplama sisteminin iki tipik gösterimi yer almaktadır [35].

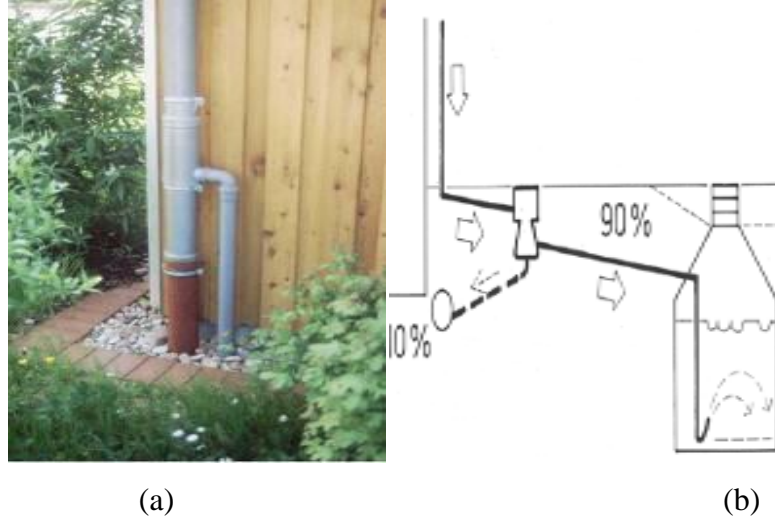


Şekil 2.14. Yüzeyden su toplama sistemi tipik şeması [35].

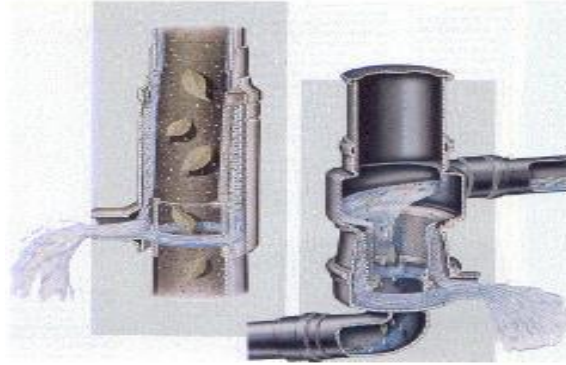
### Filtre Sistemleri

Son çalışmalar yeni filtreleme olasılıklarını ortaya çıkarmıştır. Çakıl filtreler herhangi bir bakım maliyeti gerektirmez. Bu, yeni filtre sistemlerindeki gelişmeyi göstermektedir (yılda bir veya iki kez temizlik gerektirir). Mekanik filtrelerden geçen yağmur suyu bahçe sulama, çamaşır makinesi ve tuvalet temizliğinde kullanılabilir. Filtreleme, yağmur suyunun kullanımı için önemli bir koşul olan sudan büyük miktarda kirletici maddeyi ayıran teknolojik bir süreçtir. [20]. Periyodik muayene ve temizliğin garanti altına alınması için filtre sisteminin erişilebilir bir yere kurulması çok önemlidir. Su tankına yaprak ve kum gibi kirletici maddelerin girmesini önlemek için kolayca temizlenebilen filtrelerin kullanılması

önerilmektedir. Vorteks filtresiyle gerçekleştirilen yeni tip filtrenin resmi ve çalışma şekli şematik olarak Şekil 2.15’de gösterilmektedir [36]. Akış borusu ve zemin borusu için vorteks filtre görünüşleri ise Şekil 2.16’de yer almaktadır.



Şekil 2.15. (a) Vorteks filtresiyle gerçekleştirilen yeni tip filtrenin resmi ve (b) çalışma şekli [36].



Şekil 2.16. Akış borusu ve zemin borusu için vorteks filtre görünüşleri [36].

### 2.1.5. Yağmur Suyu Toplama Sistemlerinin Türkiye ve Dünyadaki Uygulama Örnekleri

Yağmur suyu toplama (YST) sistemi yeni bir teknoloji olmamakla birlikte binlerce yıl boyunca dünya çapında uygulanmış bir uygulamadır. Arkeolojik araştırmalar ile YST'nin birçok kanıtı bulunmuştur. Mayaların uyguladığı rezervuar teknolojisi, Bolivya Amazon'unda kapsamlı toprak işleri, Birleşik Arap Emirlikleri'deki su

toplamak için çekilen setler, Ürdün ve Himalayalar'daki toplama ve depolama sistemleri bu arkeolojik kalıntılardan bazılarıdır. Bu kalıntılar ihtiyaçları için yağmur sularını depoladıklarını göstermektedir [37].

Romalıların geçmişe ait tasarımlarından bazı şehirlerinde ve evlerinde yağmur suyunu kullandığına dair kanıtlara ulaşılmıştır. Ayrıca Yunan uygarlığının su temini için çeşitli hidrolik depolama ve dağıtım sistemleri kullandığı belgelenmiştir. Roma İmparatorluğu döneminde YST'nin iyi bilinen uygulamalarına rastlanmıştır. Örneğin sarnıçlar Roma'da yaygın olarak bireysel hane halkı düzeyinde ve daha büyük yer altı mağaralarında daha geniş ölçekte kullanılabilirdi (İstanbul, Türkiye çok sayıda örneğe sahiptir). Kamboçya'daki Angkor Wat antik şehrinde (M.S 800), yağışlı dönemdeki yağış akış depolaması yönetilerek şehir çapında bir toplama sistemi yaratılmış ve büyüme mevsimi boyunca suyu tarımsal sulama için kullanmışlardır [37].

Tayland'da en az 2000 yıl boyunca çatı boşluklarından akan yağmur suları oluklardan geleneksel kavanoz ve kaplara toplanmıştır [38]. Yağmur suyu hasadı yüzyıllar boyunca kentsel su taleplerini karşılamak için kullanılmış ve yeniden büyük bir ilgi görmüştür. Afrika, Asya ve Avustralya'da su temini gereksinimlerinin tamamen karşılanması veya desteklenmesi amacıyla yaygın bir uygulama olarak halen devam etmektedir.

Almanya ve Birleşik Krallık'ta olduğu gibi sadece su teminini desteklemek için değil aynı zamanda yağmur suyu akışını yönetmek için de yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Steffen ve diğ. [39] makul bir uygulama potansiyeli olduğunu bildirmiştir. Böylece kombine kanalizasyon sistemlerinin (Combined Sewers Overflows -CSO) hizmet verdiği topluluklarda, yağmur suyu akışındaki bu azalma, kombine kanalizasyon taşmalarını azaltarak tahliye edilen seyreltilmiş kanalizasyon miktarını azaltmaktadır. Sulama için yağmur suyunun kullanılması, tuvalet yıkama için kullanmaktan daha düşük çevresel etkiye neden olmaktadır. Yeni inşa edilen binalara YST sisteminin uygulanması, yenilenen binalardan daha düşük çevresel etki ile sonuçlanmaktadır [40].

Günümüzde ise yeşil bina endüstrisi, ulusal ve uluslararası düzeyde çalışma yapan su koruma yönetimi son yıllarda bazı bölgelerde şiddeti artan kuraklıklar yağmur suyu hasadına olan ilgiyi arttırmıştır. Kinkade-Levario, 2007 yılında ABD’de 250.000’den fazla yağmur suyu toplama sisteminin kullanıldığını bildirmiştir [66]. Son yıllarda, yağmur suyunun hasadıyla sağlanan su temini, öncelikle tuvalet yıkama, peyzaj sulama, mahsul sulama, çamaşır yıkama, araba ve otopark temizliği, su soğutma ve rekreasyonel su yollarının oluşturulması dahil olmak üzere içilemeyen su ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Hasat edilen yağmur suyunun ortak kullanımları ise tuvalet temizlemedir [40]. Yerel ihtiyaçlara ve kaynak mevcudiyetine bağlı olarak, farklı ülkelerin yağmur suyu için farklı amaçları vardır. İsveç, Avustralya, Kanada, İspanya ve ABD nin de aralarında bulunduğu gelişmiş ülkeler, sulama, çamaşır yıkama ve tuvalet yıkama gibi içilemez ihtiyaçlar için çoğunlukla yağmur suyunu kullanmaktadır. Ancak Namibya, Nepal, Güney Afrika, Uganda ve Brezilya gibi gelişmekte olan ülkeler, yağmur suyunu içme, yemek yapma ve kişisel hijyen gibi içilebilir amaçlar için de kullanmaktadır. Bu nedenle, suyun amacına bağlı olarak, hasat edilen yağmur suyunun miktar ve kalite ihtiyaçları ülkeden ülkeye büyük farklılıklar göstermektedir [41].

Avustralya, dünyanın en yüksek içme suyu tüketicilerinden biri olmakla birlikte en kurak kıtalardan biridir. Büyüyen kentsel nüfus ve iklim değişkenliği, değişimden kaynaklanan sık kuraklıklar, su tedarikini Avustralya’da önemli bir sorun haline getirmiştir. Avustralya’da son yıllarda yağmur suyu hasadı, gri su kullanımı ve atık su geri dönüşümü gibi bir dizi alternatif su kaynağı dikkat çekmiştir. Bunlar arasında en çok dikkati çeken yağmur suyu hasadı olmuştur. Yağmur suyu doğada tazedir ve içilemez amaçlar için kolayca toplanıp kullanılabilir. Bununla birlikte, Avustralya’daki birçok insan hala bir yağmur suyu toplama sistemi benimseme konusunda isteksizlikler göstermektedir. Avustralya İstatistik Bürosundan (ABS) elde edilen istatistikler, yaklaşık %47’sinin bir yağmur suyu tankının kurulmamasının ana nedeninin algılanan “yüksek maliyet” olduğunu söylemektedir. Avustralya’daki hükümet yetkilileri, ev sahiplerine yağmur suyu depoları kurmalarını teşvik etmek için vergi indirimi şeklinde mali teşvikler sağlamaktadır. Örneğin, Avustralya’daki Sydney Water Corporation, su kullanımına ve tankın boyutuna bağlı olarak 1.400 Avustralya doları kadar bir yağmur suyu deposu iadesi sunmaktadır [41].

Muthukumaran vd., [42] Avustralya'da Victoria'da bulunan ve yerel olarak inşa edilmiş bir evde yağmur suyu kullanımının, içme suyu kullanımının %40'ına kadar tasarruf sağlayabildiği görülmüştür.

Domenech ve Sauri [43], Barcelona'nın (İspanya) metropol bölgesinde tek ve çok aileli binalarda YST 'nin finansal uygulanabilirliğini araştırmıştır. Tek aileli evlerde, tank büyüklüğüne bağlı olarak beklenen geri ödeme süresi 33 ile 43 yıl arasında bulunurken, çok aileli bir binada geri ödeme süresi 20 m<sup>3</sup>'lük bir tank için 61 yıl olmuştur.

Imteaz ve diğ. [44], Melbourne'deki büyük çatılara bağlı ticari tanklar için, tank büyüklüğüne, iklim koşullarına ve gelecekteki su fiyatı artış oranına bağlı olarak, toplam inşaat maliyetlerinin 15-21 yıl içinde geri kazanılabileceğini bulmuştur.

Zhang ve diğ. [45], Avustralya'nın dört başkentinde yüksek binalardaki YST'nin finansal uygulanabilirliğini incelemiş ve Sydney, en kısa geri ödeme süresine (yaklaşık 10 yıl) sahip olmuştur. Sıralamayı Perth, Darwin ve Melbourne izlemektedir. Bu çalışmalarda da geri ödeme süresinin depo büyüklüğüne ve yerel yağışa bağlı olarak oldukça değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca yağmur suyu deposu boyutlandırması ve su tasarrufu arasındaki ilişki konusunda kayda değer araştırmalar yapılmıştır.

Eroksuz ve Rahman [46], Avustralya'nın New South Wales'deki üç şehrinde çok birimli bloklar için YST kullanımı konusunda araştırma yapmıştır. Su tasarrufunu en üst düzeye çıkarmak için daha büyük bir tankın daha uygun olacağını ve bu tankların kurak yıllarda bile önemli miktarda su tasarrufu sağlayabileceğini bulmuşlardır.

Brezilya'da Ghisi ve ark. [47], Brasilia şehrinde bulunan benzin istasyonlarında araba yıkama için içme suyu tasarruf potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamıştır; tank büyüklüğündeki artışın, özellikle talebi karşılamak için yağmur suyu tankının güvenilirliğini arttırdığı tespit edilmiştir.



Kyoungjun ve Chulsang [48], Güney Kore'de yağmur suyu toplama işleminin yılın 6 ayı boyunca mümkün olacağını göstermiştir. Ayrıca Güney Kore'de suyun çok ucuz olması nedeniyle %20'den daha yüksek bir fayda maliyet oranının elde edilemeyeceğini de bulmuşlardır. Güney Kore'de su kaynaklarının YST 'nin finansal açıdan uygun hale gelebilmesi için yaklaşık beş kat artırılması gerektiğini öne sürmüşlerdir.

Şu anda Japonya ve Almanya, çağdaş yağmur suyu hasadı üretimi, uygulaması ve araştırması konusunda lider ülkelerdir. Onlarca yıl süren gelişimden sonra çok pratik deneyimler kazanmışlardır. Yağmur suyu kaynaklarının kullanımında kapsamlı bir yasa ve düzenleme sistemi geliştirmişlerdir. Japonya ve Almanya, çeşitli yağmur suyu kullanım önlemlerini geliştirmek, kapsamlı bir yönetim çerçevesi ve yağmur suyu kaynakları için teknik bir destek sistemi oluşturmak için ekonomik ve teknik araçları kullanmışlardır [49].

Yağmur dağılımı, Almanyada tüm mevsimlerde nispeten tekdüze olduğundan, su kaynakları bol miktarda bulunmaktadır. Bununla birlikte, iyi bir su ortamını korumak ve su kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde kullanmak için, Alman hükümeti yalnızca katı yasa ve düzenlemeleri formüle etmekle kalmamış, aynı zamanda su kaynaklarının geliştirilmesini, kullanılmasını ve kanalizasyon suyunun tahliyesini de sıkı bir şekilde kontrol etmiştir. Ayrıca, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını teşvik etmek için teknolojik yeniliğe dayanarak, su kaynakları yönetimi teknoloji araştırma ve geliştirmesini şiddetle desteklemiştir. Bugün Almanya'daki yeni binaların neredeyse üçte biri bir yağmur suyu toplama sistemi ile donatılmıştır [50].

Alman federal hükümeti, su kaynaklarının kullanımı için yasal çerçevenin genel tasarımını geliştirmekten sorumludur. Federal Çevre, Doğa Koruma, Bina ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı (The Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety -BMUB) çevre ve su mevzuatından sorumlu federal kurumdur. 1986'da Alman hükümeti, Almanya'daki su kaynakları yönetimi için temel yasa olan "Federal Su Yasasını" kabul etmiştir. Kanun, su yönetimi ve koruma hükümlerini belirli teknik detaylara göre ayrıntılarıyla anlatmaktadır. Vatandaşlar ve işletmeler için su alımı, su arıtımı, su kullanımı ve atık

su deşarj standartları hakkında net hükümler ortaya koymuştur. Federal Su Yasası, devletlere yağmur suyu kullanımının kodlarını oluşturma çabalarında politika rehberliği sunmaktadır [51].

Federal Su Yasası uyarınca, Almanya büyük kamu binaları ve yeni veya yeniden inşa edilmiş yerleşim alanları inşa ederken yağmur suyu kullanım önlemleri almalıdır aksi takdirde projenin onaylanmayacağı gibi yağmur suyu kullanımına ilişkin bir dizi kanun ve yönetmelik oluşturulmuştur. Her eyalet ve belediye, federal yasaları yerel yasalara dönüştürmek için yerel yasalar getirmeli ve ayrıca kendi ek hükümlerini de yapabilmektedir. Ayrıca, Alman hükümeti doğal çevrenin korunması ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını artırmak için “Atık Su Ücretleri Yasası” ve “Federal Doğa Koruma Yasası” nı da yürürlüğe koymuştur. Atık Su Ücretleri Yasasına göre, eyalet ve yerel yönetimlerin atık su ücretlerini toplama ve kullanma hakkı bulunmaktadır [51].

Almanya’da yağmur yatırım sistemlerinin teknik araçları incelendiğinde; Alman kentsel yağmur suyu kullanım teknolojisinin, 1980'lerden bu yana üç büyük değişiklik geçirdiği görülmektedir. Yağmur suyu toplama sistemi “Alman Endüstri Standartları (DIN)” nda başarıyla tanıtılmıştır. DIN 1989 yağmur suyu toplama standartları, "ilk nesil" yağmur suyu kullanım teknolojisinin olgunluğuna işaret eden yağmur suyu toplama sistemlerinin planlanması, kurulumu, bakımı ve işletmesini düzenler. Temel yağmur suyu toplama sistemleri toplama alanları, taşıma sistemleri, arıtma tesisleri ve depolama tanklarından oluşmaktadır. Geliştirilmiş öz kontrol teknolojisi 1992 yılında icat edilmiştir. Bu teknoloji, toplama süresini kontrol etmek için toplanan yağmur suyunun hacmini ve toplanan yağmur suyunun kalitesini kaydedebilmektedir. Yağmur suyu kullanım teknolojisindeki önemli büyük değişikliklerden biri de, çatı yağmur suyu toplama, durdurma, depolama ve filtreleme ekipmanının entegrasyonudur. Yeniden kullanma ve kontrolün her ikisinde de bir dizi kalıplaşmış ürün vardır. Yıllar süren gelişimden sonra, Alman yağmur suyu kullanım teknolojisi standardizasyon aşamasına girmiştir [52].

YST sistemleriyle ilgili Türkiye ve Dünya’da çeşitli uygulama örnekleri 2.1.5.1 ve 2.1.5.10. kısımları arasında verilmiştir.

### 2.1.5.1. 2017 Serpentine Pavilion, London, UK

Serpentine Gallery Pavilion, Kensington Gardens'ta toplanma, öğrenme, tartışma ve eğlence yeri olarak belirlenen 300 m<sup>2</sup>'lik geçici bir yapıdır. 2000'den bu yana seçkin mimarlar için prestijli bir komisyon olmuştur. 2017'de, Francis Kéré, Haziran-Kasım ayları arasında sergilenen pavyonu tasarlayan 17. mimardır.

Kéré kavramı, insanı doğaya bağlarken topluluk duygusu yaratan bir ağacı odak noktası olarak kullanmaktır (Kéré Mimarisi) (Şekil 2.17). Mimarın fikri, mimarın köyünde, Burkina Faso'daki Gando'da merkezi buluşma noktası olarak hizmet veren bir ağaçtan gelmektedir. Pavilion, daha fazla sulama kullanımı için depoya aktarılmadan önce, şelale efekti oluşturarak yağmur suyunun çatıdan girdiği merkezde açık bir avluya sahiptir. Ayrıca, pavyonun örtüsü gündüz gölgeleme işlevine sahiptir ve karanlıktan sonra aydınlatma kaynağı olmaktadır (Şekil 2.18). Kavisli duvarların bileşimi, dört eşsiz erişim noktasına izin veren dört parçaya bölünmüştür (Şekil 2.19).

Tasarımcı yapıyla ilgili “Pavyon'a girerken hala doğaya bağlı olmanızı istedik. İçeriye girdiğinizde ağaçları göreceksiniz ve avludaki boşlukla göğe bağınız olacak. Zamanla yağmur yağacak – (yakında inşallah) - kendinizi güvende hissedeceksiniz ve yapı tarafından korunmuş olacaksınız, ancak köşk ortasında bir şelale etkisi göreceksiniz. Ekibim ve ben suyu kurtarmak istedik-sembolik olarak burada kutlayabileceğimiz, ancak parkta toplayıp kullanacağımız kıymetli bir mavi.” "(Kéré Architecture) ifadelerini kullanmıştır [53].



Şekil 2.17. Kéré'deki Serpantin Pavyonu'nun üstten görünümü [53].

Pavyonun Merkezinde gölgelik kısmında gökyüzü ile bağlantı kurulan büyük bir açıklık bulunmaktadır. Akşam olduğunda gölgelik bir aydınlatma kaynağı haline gelmektedir. Çünkü bir hareketin parıltılarını, öykü anlatımını ve dolayısıyla toplanmayı göstermektedir [53]. Gökyüzüne doğrudan bağlantı, şelale etkisi ve barınak tarafından korunma hissi, mimarın kullanıcıların hissetmesini istediği ve sağladığı izlenimlerdenidir [53].



Şekil 2.18. Kéré'deki Serpantin Pavyonu'nun Gece Görünümü [53].



Şekil 2.19. Kéré Serpantin Pavyonu'nun iç mimarisi [53].



### 2.1.5.2. Olympic Golf Course, Rio de Janeiro, Brazil

Brezilyalı Rua ArQUITETOS, bu golf mekanını, ağaca benzer bir gölgelikle sulama için yağmur suyu toplayan Barra da Tijuca'da bulunan Rio 2016 Olimpiyat Oyunları için tasarlamıştır. Pedro Évora ve Pedro Rivera'nın 2012 yılındaki yarışmayı kazanmasının bir sonucu olarak, nemli iklimlerde aşırı su tüketiminin önlenmesi konusundaki tasarım felsefelerini geliştirmişlerdir (Rua ArQUITETOS: Évora + Rivera). Bunu başarmak için, hem iç hem de dış mekanlarda güneş gölgeleme sağlarken, su toplamayı sağlayabilmek içinde gölgelik yüzeyleri kullanarak bir yağmur suyu toplama sistemi entegre etmişlerdir. Toplanan yağmur suyu, golf sahasının sulanmasında, ayrıca görsel ve termal olarak kullanılmak üzere yer altı tanklarında depolanmaktadır (Şekil 2.22). Hasat edilen su, golf sahasının sulanması için kullanılmaktadır [54].



Şekil 2.20. Olimpik golf sahası[54].



Şekil 2.21. Olimpik golf sahasi [54].



Şekil 2.22. Olimpik golf sahasi [54].

### 2.1.5.3. St. Elizabeths East Gateway Pavilion, Washington DC, USA

Davis Brody Bond Architects tarafından tasarlanan Saint Elizabeths East Gateway Pavilion, günlük yemekler, çiftçi pazarı ve yıl boyunca toplu kültür-sanat etkinlikleri için kullanılan çok amaçlı bir yapıdır. Yağmur suyu hasadı gibi sürdürülebilir sistemler, merkezi su şebekelerine olan bağımlılığı azaltır ve çatı dikmeleri sıcak ada etkisiyle mücadele etmektedir (Davis Brody Bond Architects) (Şekil 2.23) [55].

Sahada kolay dolaşım sağlayan işlevsel ve esnek alanlar, tasarımı ana endişelerinden biridir. Zemin kat, modüler kabinlerle, işlevlerin ve faaliyetlerin hızlı ve verimli bir şekilde değiştirilmesine izin veren geçici yapılarla doldurulmuştur. Yeşil çatının yukseltilmiş açık hava yapısı, çevreye dair yeni bir bakış açısı ve muhteşem manzaralar sunmaktadır. Özel olarak şekillendirilmiş tavan, çevredeki yeşil alan için yağmur suyu toplanmasına yardımcı olmaktadır [55].



şekil 2.23. St. Elizabeths East Gateway Pavilion [55].



şekil 2.24. St. Elizabeths East Gateway Pavilion [55].

#### 2.1.5.4. Sustainable Market Square, Casablanca, Morocco

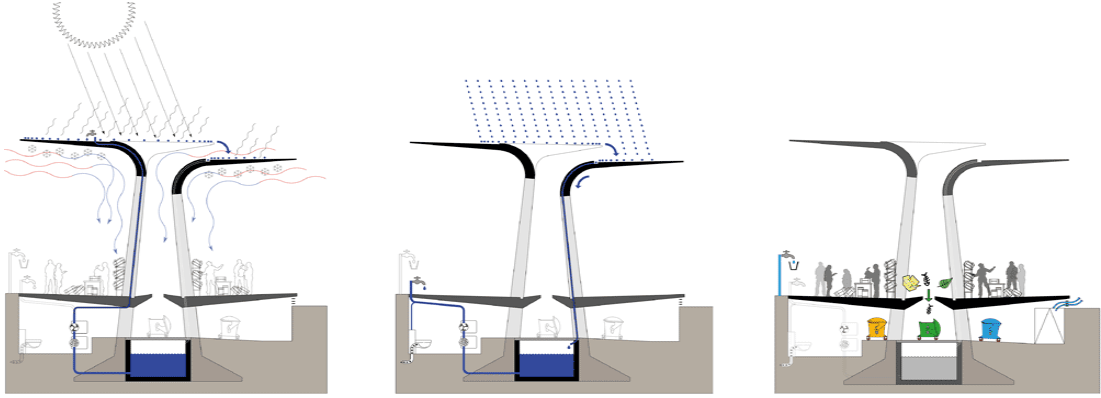
Yapı, mimar Tom David tarafından Uluslararası Fikirler Yarışması ve birincilik ödülünü kazanmıştır. Kazablanka'da 790 m<sup>2</sup> lik alana sahip olan proje et, balık ve deniz ürünleri, meyve-sebzeler, çiçek ve baharatlar için bir pazar alanı, kafe ve gazete kiosk gibi sosyal alanları içermektedir (Şekil 2.25) [56].

Kapak yapısı, bölgenin yoğun güneş ışığından gölgelenmeyi ve yağmur gibi diğer atmosferik koşullardan korunmayı sağlamaktadır. Korumaya ek olarak, taç yaprağı şeklindeki yapı aynı zamanda geniş bir su toplama yüzeyi sağlar ve daha sonra temizlik, tuvalet temizleme gibi kullanımlar için yeraltı tanklarına yönlendirmektedir. Ek olarak, kanopi yapraklarının üst üste binmesi hava sirkülasyonunu sağlar ve yağmur suyunun basamaklı tahliyesini sağlamaktadır (Şekil 2.26) [56]. "Kanopinin şekli, bir ağaç gibi gölge ve barınak sağlayan doğayı ifade eder" (Mimar Tom David). Toplanan yağmur suyu, temizlik ve tuvalet yıkamak için kullanılacak yer altı depolama tanklarına yönlendirilmektedir [56].



Şekil 2.25. Market Square Pavilion tasarımı [56].





Şekil 2.26. Yağmur suyu hasat sistemi çalışmasının eskizleri [56].

#### 2.1.5.5. Primary Healthcare Center, Dharmapuri, India

Primary Healthcare Center, 2011 yılında, aşırı sıcak ve yarı kurak iklime sahip bir bölge olan Güney Hindistan'ın Dharmapuri kentinde tamamlanmıştır [57]. İklimle cevap veren tasarımcılar, zarf yapısının gölgelenmesiyle iç çatının aşırı ısınmasını önlemek için V şeklinde bir zarf geliştirmişlerdir. Ayrıca, zarfın üzerindeki paneller gerekli iklim korumasına göre açılabilir veya kapatılabilir şekilde tasarlanmıştır. Aynı zamanda zarf kısım ile, termal konfor doğrultusunda yarı açık bir toplanma alanı oluşturulmuştur (Şekil 2.27).

Çatı vadi çizgisinde belirgin bir merkezi oyuğa sahip olan gölgeli zarf çatısı ayrıca yağmur suyunu toplamakta ve bu suyun yağmur suyu havuzunda depolanmasını sağlamaktadır. Ek olarak, nemlendirilmiş havanın iç mekanlara geçişinin buharlaşarak soğutulması yoluyla Şekil 2.28'de gösterildiği gibi sıcaklığın düşürülmesi amacıyla panelleri ıslatmak için bir sulama borusu kullanılmaktadır [57]. Çift cilt oluşturma konsepti, klinik üzerinde iklim kontrolü sağlamaktadır. Dış tavanın gölgelenmesi, iç tavanın aşırı ısınmasını önler ve zarfın üzerindeki paneller, iç mekan için gerekli iklim koruma derecesine bağlı olarak açılabilir veya kapatılabilir. Yağmur suyunun toplama havuzunda toplandığı ve taşındığı çatı vadi çizgisinde belirgin merkezi oyuklara sahiptir. Dış çatı, mimari formda yağmur suyu hasadı için görsel öneme sahiptir [57].



Şekil 2.27. Primary Healthcare Center girişi [57].



Şekil 2.28. Primary Healthcare Center yağmur suyu göleti [57].

#### **2.1.5.6. Dai-Ichi Yochiren Preschool, Kumomato, Japan**

Japonya'nın Kumomato şehrindeki anaokulu, Hibino Sekkei tarafından 2015 yılında tamamlanmıştır. Tasarımcı projesini "ayarlanabilirliğe açık" sloganı ile tasarlamıştır [58]. Proje tam olarak yağmur suyu hasadı örneği değil, pratik mimari özellik olarak

yağmur suyunu kullanmaktır. Çocukların yağmur yağdığında zemin kuruyana kadar dışarıda oynamasına izin verilmez, ancak Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'da gösterildiği gibi, yağmur yağdığında görmeleri için özel olarak tasarlanmış su birikintilerinde oynamalarına izin verilmektedir.



Şekil 2.29. Dai Ichi Yochien Anaokulu ön cephe [58].



Şekil 2.30. Dai Ichi Yochien Anaokulu avlusu [58].

Bina, alana esnek ve sınırsız nitelikler kazandırmak için bol miktarda cam duvar ve doğal ışıkla tasarlanmıştır [58]. Merkezi açıklık, çocukların çamursuz suyla oynama keyfini çıkarmaları için zemin katına yağmuru kabul etmektedir. Şirketin mimarlarından Taku Hibino, “Alan yağmur suyu biriktirmek için tasarlanmıştır,

böylece yoğun bir sağanaktan sonra, çocukların çıkıp oynayabileceği devasa, havuza benzer bir su birikintisi var” diyor [58]. Yağmurun olmadığı kurak günlerde, boş su birikintisi badminton ya da softball sahası olarak işlev görebilmektedir. Hatta kışın buz pateni pistine dönüştürülebilmekte, böylece çocuklar her zaman dışarıya çıkabilmektedir. Tasarım, çocukları yağmur suyu toplama avlusu ile oyun oynamaya ve doğaya bağlamaya teşvik etmektedir [58].

#### **2.1.5.7. Siemens Gebze Türkiye**

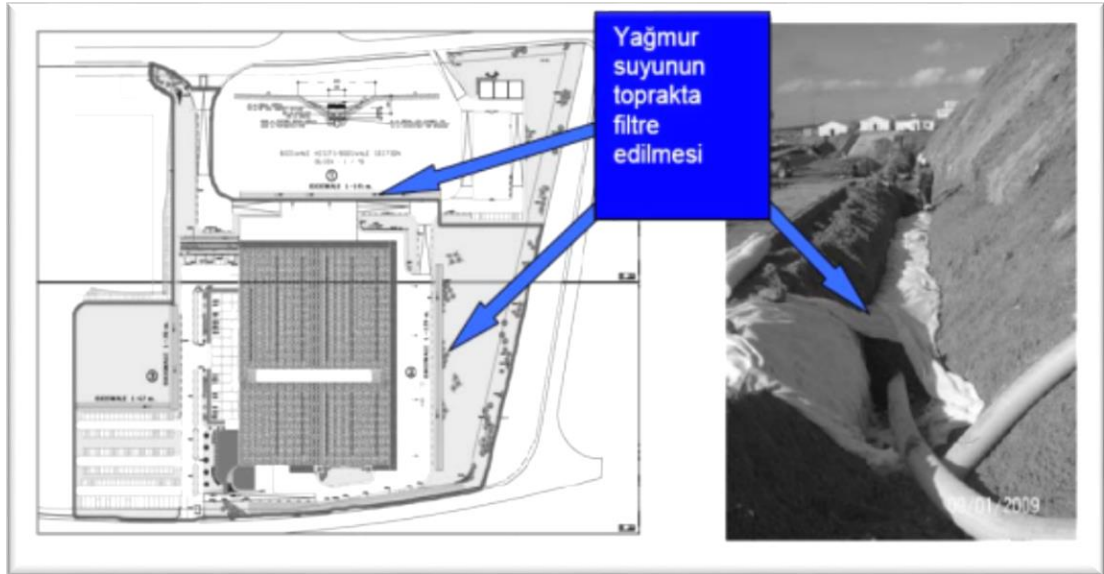
Avrupalı Teknoloji Holding Şirketi Siemens, 2009 yılında Kocaeli Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde 35.000 m<sup>2</sup> brüt alanlı ofis, üretim ve teknik binalarını kurmuştur [59]. Çevresel fikirler, Seyaş Sey Mimarlık tarafından 2007 yılında düzenlenen yarışmanın birincisi olarak tasarlanan tesisin tasarım felsefesinde merkezi bir yere sahiptir [59]. Proje LEED Gold Sertifikası almak için tasarlanmış ve amacına ulaşmıştır. Projeye uygun yer seçimi sonucunda toplu taşıma araçları ile kolay erişilebilirlik sağlanmıştır. Bunun sonucunda düşük karbon dioksit emisyonu ve düşük fosil yakıt kullanımı olmuştur. Ayrıca, yeşilliklerin geniş kullanımı, ada ısısının etkisini azaltmış ve yeşil alan kullanımını zenginleştirmiştir. Hem binada hem de yeşil alanlarda, yağmur suyu hasadı ve su verimli ekipman seçimi ile %50 su tasarrufu sağlanmaktadır. Termal konfor, hava kalitesi, % 30 enerji tasarrufu, %35 geri dönüştürülmüş ve % 40 yerel malzeme kullanımı tesisin diğer özellikleridir [59].

Bina çatılarına ek olarak, alanın zemin seviyesi, toplama yüzeyini arttırmak için yağmur suyu toplamada ve dolayısıyla yağmur suyu toplama verimliliğinde kullanılmıştır. Yağmur suyu toplama sistemi, çatı koleksiyonu ve sert zemin koleksiyonu olarak iki bölüme ayrılmıştır. Su kalitesini korumak ve iyileştirmek için, sert peyzajdaki yağmur suyu, yağmur kanalları yerine toprağa yönlendirilir ve Şekil 2.32 'de gösterildiği gibi orada süzülür. Çatıdaki yağmur suyu hasadı ve toprak filtrasyonundan gelen su, peyzaj sulamada kullanılmış ve sudaki %50 tasarruf sağlanmıştır [59]. Fotoğraflar, sitenin ölçekli bir modelini (üstte) ve aşağıdaki çalışma alanının girişini göstermektedir. Asfalt zemin yüzeyinden toplanan su, toprak üzerinde kanalize edilmektedir.





Şekil 2.31. Siemens Gebze fabrikası [59].



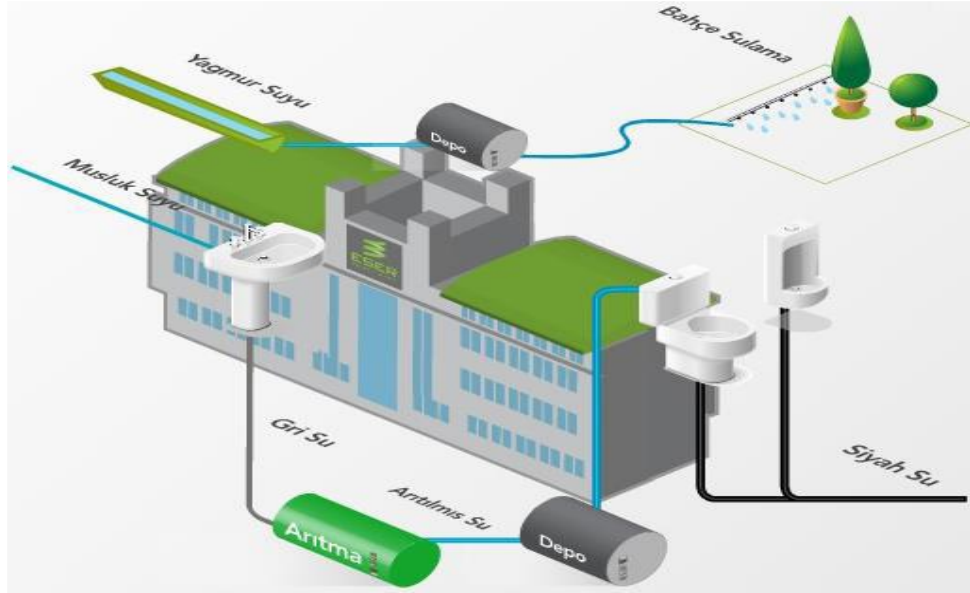
Şekil 2.32. Yerleşim yerinde yağmur kanalları ve yerinde filtrasyon [59].

#### 2.1.5.8. Eser Holding Merkez Ofisi

Bina, Ankara'da 7.500 m<sup>2</sup> alan üzerine Eser Holding adına inşa edilmiş bir merkez ofis binasıdır. Bina 2 bodrum katı, bir giriş, 3 ofis katı ve bir çatı katı olmak üzere toplam 7 kattan oluşmaktadır [60]. LEED "Platin" sertifikasına sahip bina, suyun

verimli kullanımına dahil olan su verimli peyzaj (4p / 4p), yenilikçi atık su teknolojileri (2p / 2p), su kullanımını azaltma (4p / 4p) bina tasarımı ve inşaatı kategorisinde toplam 10 puan almıştır [61].

Eser Yeşil Binasına gri su arıtma sistemi kurulmuştur. Gri su arıtma sistemi, gün içinde lavabodan çıkan suyun birçok sifonda kullanılan suyu karşılamaya yeterli olduğu düşüncesiyle büyük ölçekli bir ofis binasına kurulmuştur. Lavabolardan toplanan su 4 aşamalı bir sistemden geçmektedir. Bunlar, biyolojik arıtma, çamur arıtma ön filtreleme ve UV dezenfeksiyonudur. Geri dönüştürülmüş su daha sonra rezervuarlara gönderilmektedir (Şekil 2.33) [61].



Şekil 2.33. Su yönetimi sistemi şeması [61].

Kurulan yağmur suyu toplama sistemi ile toplanan su depolama tanklarında depolanmakta, vana ve pompalama sistemleri ile toplanan su ise bahçedeki bitkilerin sulama sistemi olan damla sulamada kullanılmaktadır. Peyzaj düzenlemesinde bitkiler yerel iklime uygun (ılıman-kuru) ve az su gerektiren türler arasından seçilmiştir. Bu şekilde su tasarrufu sağlayan bir peyzaj planı oluşturulmuştur [61].

### 2.1.5.9. Gaziantep Ekolojik Bina

Gaziantep Üniversitesi ve Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin ortak çalışmaları ile tamamlanan Gaziantep Ekolojik Binası, yenilenebilir enerji teknolojilerinin tanıtıldığı bir merkez olmanın yanı sıra İnsan Kaynakları Merkezi olarak da hizmet vermektedir [62]. Yapı, 2015 yılında LEED "Platin" sertifikasına sahip olmuştur.

Bina tasarımı ve inşaat kategorisinde su verimli peyzaj (4p / 2p), yenilikçi atık su teknolojileri (2p / 2p) ve azaltılmış su kullanımı (4p / 4p) alanlarında 10 üzerinden 8 puan almıştır [62].

Bina bahçesinde yağmur suyu depolama ve su arıtma sistemleri ile suyun verimli kullanımı sağlanmıştır. Gri suyu klozet rezervuarlarında yeniden kullanmak üzere tasarlanmış arıtma sistemi ile geri kazanılan su; Toplanan yağmur suyu peyzaj sulamasında kullanılmaktadır. Düşük debi, basınçlı armatürler ve susuz pisuar kullanımı ile de su tasarrufu sağlanmaktadır (Şekil 2.34), [62].



Şekil 2.34. Gaziantep Ekolojik Bina yeşil çatı uygulaması ve yağmur suyu toplama arıtma deposu [62].

### 2.1.5.10. Unilever Ofis Binası

Unilever Türkiye, küresel ısınmanın etkilerini azaltmak için markanın gündemini sürdürülebilirlik stratejilerine getirmiştir. Unilever markasının dünyadaki diğer

Unilever'lerden farklı bir hedefi vardır. Unilever Ofis Binasında sertifika ticari iç mekanlarda kullanıldığından dolayı LEED seçilmesine sebep olmuştur [63]. FSC ve üre formaldehit malzemelerini bulmak kolay olmadığından sertifika aşamasında bir çok zorlukla karşılaşmıştır. Ancak binaya sürdürülebilirlik açısından birçok fayda sağlamaktadır. Bu sayede % 40 su tasarrufu ve % 30 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Eski ve yeni sürdürülebilir binaların elektrik, su faturaları karşılaştırılarak aradaki farkı ortaya çıkmıştır [63].

### 2.1.5.11. Piri Reis Üniversitesi Kampüsü

Piri Reis Üniversitesi Kampüsü 2013 yılında İstanbul Tuzla'da 60.000 m<sup>2</sup> kapalı eğitim alanı ile kurulmuştur. Üniversite denizcilik eğitimi vermekte ve kampüsü, BREEAM "Çok İyi" sertifikasına sahiptir. [64].



Şekil 2.35. Piri Reis yeşil kampüs binası [65].

238.000 litrelik depolama alanı ile yağmur suları toplanmakta ve peyzajların sulanmasında kullanılmaktadır. Lavabo ve duşlardan gelen tüm gri sular ayrı bir su hattı ile 109.000 litre hacimli tanklarda toplanmakta ve sahada sürdürülebilir bir şekilde artılarak rezervuarlarda kullanılmaktadır. Ayrıca araç yıkama sistemi tarafından tüketilecek su temizlenebilir ve geri kazanılabilmektedir [64].



Banyo ve tuvaletlerde kullanılan bataryalar düşük su tüketimi ile tercih edilmektedir. Yeraltı sularının kirlenmesini önlemek için petrol tuzakları bulunmaktadır. Kampüs içi su tüketimi aylık olarak takip edilmektedir [64].

## **2.2. İNSAN İÇİN TASARIM**

Mimarlık disiplininin temel amacı, kullanıcıların güvenliğini, sağlığını, fizyolojik rahatlığını, psikolojik ihtiyaçlarını ve üretkenliğini sağlamak için yapay ortamlar üretmektir. İnsanlar ve diğer canlı türleri üretilen yapay ortamlarda bir arada yaşamalıdır. Bu nedenle yapay çevre tasarımında yapıların çevre ve kullanıcılarla birlikte ayakta kalması büyük önem taşımaktadır. İnsan için tasarım ilkelerinden olan kentsel tasarım ilkesi; Doğal koşulların korunması, kentsel tasarım mekan planlaması, tasarım stratejileri ve insan konforu için çeşitli yöntemlerle insan ve doğal çevre arasındaki etkileşimi yaratmaktadır. Sürdürülebilir mimarinin uygulanması için gerekli olan insan için tasarım stratejisi, kentsel ısı adası ve kentsel ısı adası etkilerini azaltmadaki faktörler olarak detaylı şekilde ele alınmaktadır.

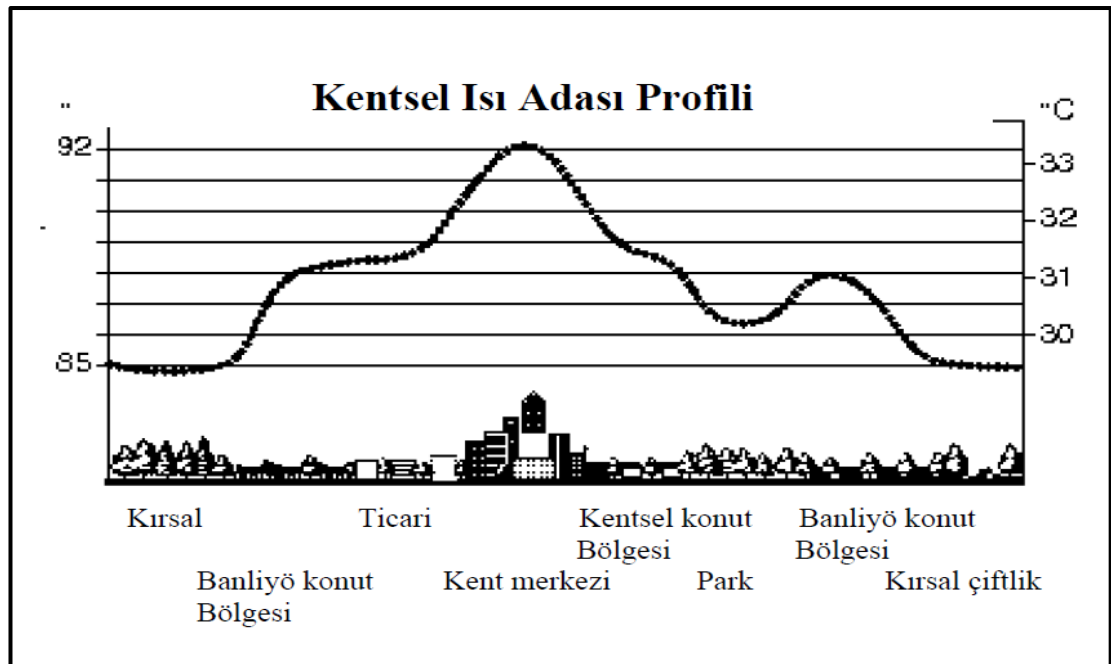
### **2.2.1. Kentsel Alanlarda Isı Adası Etkisi**

Dünya nüfusunun yarısından fazlasının şehirlerde yaşadığı, hızlı nüfus artışı ve yoğun kentleşme, kentsel ısı adaları olgusuna yol açmıştır. Bu durum da açık kentsel kamusal alanlarda kötüleşen hava kalitesine ve termal rahatsızlığa katkıda bulunmuştur. Şehir merkezleri genellikle çevrelerine göre daha sıcak olmaktadır. Kentsel alanlarda, insan kaynaklı yerel iklim koşulları ve buharlaşmalı soğumanın azalması nedeniyle kaldırım ve beton yüzeylerde ısı emiliminin neden olduğu yüksek gece sıcaklıkları kentsel ısı adası etkisi olarak tanımlanmaktadır [71].

Kentsel ısı adası kavramı, yerel antropojenik iklim değişikliğinin en iyi bilinen biçimlerindedir ve şehirdeki sıcaklık oranının aynı zamanda çevredeki kırsal alanlardan daha yüksek olması olarak tanımlanabilmektedir. Streutker (2003) 'e göre, bu sıcaklık farkının nedeni, kentsel alandaki arazi örtüsündeki değişikliklerdir. (Şekil 2.36). Kentsel ve kırsal alanlar arasındaki iklimsel terimlerdeki bu farklılık ilk olarak Luke Howard tarafından 1820 yılında Londra şehri için "kentsel ısı adası" olarak

tanımlanarak literatüre girmiş ve bugüne kadar dünyanın büyük şehirlerinde incelenmiştir [72].

Kentin fiziksel yapısından kaynaklanan albedo özellikleri, yapı malzemelerinin ısı özellikleri, yüzey pürüzlülüğünün artması, cadde genişliği-bina yüksekliğine bağlı görsel sınırlamalar, antropojenik ısınma, hava kirleticileri, su ve nem oranının düşmesi gibi faktörler şehirlerin çevrelerine göre farklı iklim özellikleri göstermesine sebep olmaktadır. Çatılar, kentsel yüzeylerde güneş ışığına en çok maruz kalan yüzeyler olmaktadır. Bu nedenle kentsel ısı adası sıcaklıklarının oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Şehirlerde mevcut binaların çatı yüzeylerine müdahale etmek hem pratik hem de çevresel bir faktördür. Bu durumda güneş ışığını yansıtan soğuk malzemeler kullanılması durumunda serin çatılar, çatı yüzeyinde güneş enerjisinin direk ışınlarını koruyarak bölgesel sıcaklıkların oluşumu azaltılabilmektedir. Kentsel ısı adası etkisine çözüm alternatifi olarak çatı yapının önemli ölçüde değerlendirilecek bir parçasıdır. Kentsel alanlarda yaşayan nüfusun her geçen gün arttığı düşünülürse, kentsel çevrelerin yaşam koşulları açısından iyileştirilmesi ve korunması ihtiyacı, mevcut planlama uygulaması gözden geçirilerek ön plana çıkmaktadır.



Şekil 2.36. Kırsal, kentsel ve banliyö bölgelerinde yüzey ve hava sıcaklığı dağılımı [73].

### **2.2.1.1 Kentsel Isı Adası Oluşum Nedenleri**

Kentsel bir ısı adasının oluşumundaki ana faktörler; albedo etkisi, kentsel yüzey malzemelerinin termal özellikleri, özısı etkisi, ısı iletkenlik etkisi ve kentteki bitki örtüsünün azalması olarak sıralanabilmektedir.

#### **Bitki Örtüsü Etkisi**

Kentsel alanlarda arazi kullanımındaki artmalar, şehirdeki bitki örtüsünün azalmasına neden olabilmektedir. Ağaçlar ve bitki örtüsü oluşturdukları gölge efekti ile buldukları yerdeki yüzey sıcaklığını düşürmektedir [74,75]. Şehirde yeşil alanların varlığı, şehirdeki hava sıcaklığının düşürülmesinde de oldukça etkili olmaktadır. Frankfurt kentinde yapılan bir çalışmada şehrin çevresinde 50-100 m'lik bir alanı kaplayan bitkisel alanların hava sıcaklığını 3,5 °C'ye kadar düşürdüğü tespit edilmiştir [76]. Fakat kentsel alanlar ağaçlar ve bitki örtüsü yerine yollar, kaldırımlar, otoparklar ve çatılar gibi kuru ve geçirimsiz yüzeylerle kaplı olduğundan bu durum şehirlerdeki yeşil alanların sağladığı doğal soğutma etkisini ortadan kaldırarak yüzey ve hava sıcaklıklarında artışa neden olmaktadır [74,75]. NASA tarafından, 2002 yılında yapılan araştırmaya göre yılın en yüksek sıcaklık değerinin ölçüldüğü 14 Ağustos'ta, kızılötesi uydu görüntüleri kullanılarak, New York kenti ve çevresinde, bitkilendirmenin yoğun olduğu alanlarda sıcaklıkların daha düşük olduğu tespit edilmiştir. NASA'nın 2002 yılında yaptığı araştırmaya göre yılın en yüksek sıcaklık değerinin ölçüldüğü 14 Ağustos'ta, New York şehri ve çevresinde, bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde kızılötesi kullanılarak sıcaklıkların daha düşük olduğu tespit edilmiştir [77].

#### **Albedo Etkisi**

Kentsel alanlarda kullanılan malzemelerin termal radyasyon, ısı kapasitesi ve yansıma gibi özellikleri güneş enerjisinin yansıma ve soğurma oranlarını doğrudan etkilediğinden, kentsel ısı adasının gelişimini etkilemektedir [78]. Metal nesnelerin yaydığı ısı miktarındaki farkın özellikle güneşin etkili olduğu saatlerde kaya ve

toprak, nemli toprak, durgun su veya bitki örtüsünden çok daha düşük olduğu belirtilmiştir [79].

Yansıtma veya albedo kavramı, yüzeylerin güneş enerjisini yansıtma yeteneğini ifade etmektedir. 0 ile 1 arasında değişen albedo değerleri, yüzeyin 0.0 iken tüm güneş radyasyonunu emdiğini, 1.0 ise yüzeyin tüm güneş radyasyonunu yansıttığını göstermektedir. Albedo değeri 1'e yaklaştıkça yüzeyin depoladığı enerji miktarı, kentsel ısı adası oluşumuna etkisi azalmaktadır. Güneş enerjisinin çoğu görünür dalga boyunda olduğu için malzemelerin albedo değerleri renklerine göre değişmektedir. Koyu renkli yüzeyler, güneş enerjisini açık renkli yüzeylerden daha az yansıtmaktadır [80]. Örneğin beyaz cephelerin diğer farklı renkli cephelere göre 3 ° C daha soğuk olduğu bulunmuştur [81].

Kentsel alanlarda yoğunlukla kullanılan düşük albedolu yüzey malzemeleri kırsal alanlara göre güneş enerjisini daha fazla emerek daha az yansıtma ile sıcaklık artışına sebep olmaktadır. Ek olarak, yansıtma oranları kullanılan malzemelerin yaşına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, beton ve asfalt gibi kentsel alanlarda yoğunlukta kullanılan kaplama malzemeleri, yüzeylere gelen güneş enerjisinin %60-95'ini absorbe ederek sadece %5 -% 40'ını yansıtabilmektedir [73].

Albedo arttıkça yansıtma artarak yüzey aşırı ısınmamaktadır. Hava ve yüzey sıcaklıkları ile ilgili olarak albedo değerlerinin aralığı hakkında birçok araştırma yapılmış, ana odak noktaları kaldırım ve çatı malzemeleri olmuştur. Asfaltların yüzey sıcaklığı beton, döşeme ve çatı gibi diğer kaplama malzemelerinden 5-8 ° C daha yüksek ölçülmektedir [82,83]. Çatı yüzeylerinin yansıtıcılığını ve ısı performansını artırmak için, açık renkli çatı kaplamaları kullanılma eğilimindedir. Böylelikle çatıların albedosu 0,2'den 0,7'ye yükseltilebilmekte ve sıcaklığı önemli ölçüde düşürülebilmektedir [84].

Backenstow (1987), farklı renkli kaplamaların yüzey sıcaklıklarını ölçmek için açık ve bulutlu gökyüzü koşullarında panellerin ısısını ölçmüştür. Bunun sonucunda bulutsuz bir gün olan yüksek ısı soğurma gününde siyah renkli (70 ° C) en yüksek sıcaklık belirlenmiştir. Koyu renkli panelin yüzey sıcaklığını sırasıyla yaklaşık 55 ° C

ve 40 °C olan bej ve beyaz renkli yüzeyler izlemektedir. Hava koşulları nedeniyle gelen radyasyon miktarındaki azalmaya rağmen, iki ölçümde de gri veya siyah yüzeylerin her zaman açık renkli olanlardan daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu görülmüştür [83,86]. Bu bağlamda albedo, kentsel ısı adasının oluşumunu doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biri olmakla birlikte kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında uygulanması gereken temel stratejilerden biri olarak kabul edilmektedir [71,87].

### **Yüzey Malzemelerinin Termal Özellikleri**

Kentsel alanlardaki binalarda kullanılan malzemelerin veya kentsel yüzeyleri kaplayan malzemelerin ısıl özellikleri, kırsal alanlarda doğal olarak bulunanlardan çok farklı olmaktadır. Beton ve asfalt gibi bazı yapı malzemelerinde (koyu ve kuru malzemeler) ısı tutulması, çevrede bulunan doğal malzemelerden (yeşil alan ve ilçelerde doğal topraklar) daha yüksektir. Bu malzemelerin özelliği nedeniyle güneş radyasyonu yansımaları etkilenip azalmaktadır. Lee'nin 1984'te yaptığı araştırmalarda belirttiği gibi, kentsel malzemelerin termal iletkenlikleri, kırsal kesimlere göre % 5-10 daha az olmaktadır. Dolayısıyla kentsel alanlarda bu malzemelerin günlük ısı emilimi, doğal ortamdaki çok daha fazladır [83,88,89]. Yüzey malzemelerinin ısıl özelliklerinden biri, maddelerin gündüz depolayabilecekleri enerji miktarı olan ısıl iletkenlik olarak tanımlanmaktadır. Yüzeylerin ısıl iletkenlik seviyesi ısıtma veya soğutma kapasitelerini belirlemektedir [90]. Malzemelerin ısıl iletkenlik ve ısıtma kapasitesinin birleşimi, yüzeylerin gelen radyasyona tepkisini gösteren bir ısıl kabul ölçüsü oluşturmaktadır. Yüksek ısıl geçirgenliğe sahip malzemeler, ısının maddeler tarafından depolandığından dolayı yüzey sıcaklıklarında küçük değişiklikler olduğunu göstermektedir [91]. Diğer bir termal özellik, ısı adası yoğunluğu üzerinde diğer parametrelere göre daha az etkiye sahip olması nedeniyle daha az dikkate alınan emisyon seviyesidir [83]. Oke vd. (1991), emisivite seviyesinin 0,85'ten 0,1'e yükselmesinin kentsel ısı adası gelişiminde 0,4 °C artışla sonuçlandığını göstermiştir. Bu etkiden farklı olarak, kentsel ve kırsal yüzeylerin farklılaştırılmış termal geçirgenliği, ısı adası yoğunluğunda 2 °C'lik artışa neden olmaktadır [92].

## **Öz Isı Etkisi**

Nesnelerin öz ısıları da sıcaklık dağılımı üzerinde oldukça etkilidir. Öz ısı (ısıtma ısısı) " bir maddenin birim kütesininin sıcaklığını birim derece arttırmak için gereken ısı enerjisi miktarıdır (Anonim, b.t.)." Birim zamanda birim hacimde farklı nesnelere aynı enerji verildiğinde özgül ısısı daha düşük olan maddenin sıcaklığı daha fazla artmaktadır. Aynı şekilde, ısı kaybı döneminde özgül ısısı düşük olan maddeler daha fazla ısı kaybeder ve daha çabuk soğurlar. Bu özellik doğrultusunda yeryüzünde yan yana iki yüzeyin farklı sıcaklıklara sahip olduğu görülebilmektedir. [93]. Kırsal kesimde taş yüzeyler ve toprak düşük özısısı nedeniyle hızlı ısınma ve soğuma gösterebilmektedir. Şehirlerde tuğla, beton, asfalt gibi malzemeler yüksek özgül ısıya sahip olduğundan dolayı bölgelerde sıcaklık yavaş yavaş artmakta ve azalmaktadır. Bu nedenle, kentsel yüzeyde kullanılan malzemeler ve arazi kullanımındaki değişiklikler sonucunda kırsal alanlarda farklı yüzey sıcaklıkları ortaya çıkmaktadır.

## **Isıl İletkenlik Etkisi**

Kentsel yüzeyde kullanılan malzemeler, aynı zamanda sıcaklığı etkileyen ısıl iletkenlik ve ısıl yayılma özelliklerine sahiptir. "Isıl iletkenlik, maddenin iletim yoluyla enerji aktarma kapasitesidir. Termal difüzyon, maddenin kendisinin enerji sirkülasyon kapasitesidir. Bu iki özellik, özısının türevleridir ve özısıyla birleştirildiğinde, malzemelere enerji tutma veya aktarma yeteneği vermektedir [93]. Kentsel alanlarda termal yayılım ve termal iletkenlik diğer arazi örtülerine göre (orman, çayır, su) daha yüksek değerlere sahiptir.

## **Isıl Konfor Üzerine Yapılan Araştırmalar**

1980'lerden bu yana, şehir kanyonları, plazalar ve meydanlarda yayalara olan ilginin artması nedeniyle dış ortamdaki termal konfor çalışmaları sayıca artmıştır. Bu, yayaların termal konforuna dayalı mikro iklim tasarım parametrelerini ele alan çok sayıda araştırmaya yol açmıştır [94]. Kentlerde ısıl konfor büyük oranda gölge durumuna bağlıdır. Tayvan'da gölge olan alanların ısıl konfora etkisini araştırdığı

çalışmada orta gölge seviyesine sahip alanlar konforlu olarak sınıflandırılmıştır [95]. Mısır'da bir kent parkında parktaki kullanım alanlarının ısı konforuna etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre yaz aylarında en konforsuz yerler yüksek baki noktaları, ana arterler ve su yüzeylerine yakın yerler olarak belirlenmiştir [96]. Taleghani [97], Hollanda'nın ılıman ikliminde şimdiye kadarki en sıcak gün için Doğu-Batı, Kuzey-Güney yönlü bir avlu formu, analiz etmiştir. Bu analizde dış hava sıcaklığı, ortalama radyant sıcaklık, rüzgar hızı ve bağıl nemi simüle etmek için ENVI-met kullanılırken, bu verileri Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklığa (PET) dönüştürmek için RayMan kullanılmıştır. Sonuçlar, kentsel formdan etkilenen doğrudan güneşin süresinin ve ortalama ışıma sıcaklığının termal konforda en önemli rolü oynadığını göstermektedir.

Farklı Avrupa ülkelerinde kentsel dış mekanlardaki termal konfor şartları analiz edildiğinde mikroklimatik ve konfor koşulları arasında güçlü bir ilişki olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Hava sıcaklığı ve güneş radyasyonu konforun önemli belirleyicileri olmakla birlikte, termal konfor koşullarının değerlendirilmesi için tek bir parametrenin tek başına yeterli olmadığı görülmüştür. Yıllık olarak tüm şehirler için genel konfor seviyeleri %75'in üzerinde tespit edilmiştir. Küresel iklim değişikliği bağlamında ısı konfor açısından iyi deneyimlenen dış mekânlar kentsel yaşanabilirliği artırmaktadır. Bu alanların daha çekici olması kentsel tasarımın ana hedeflerinden biridir. Bu tür alanlar oluşturulurken mikro-iklim önemli bir etkidir, çünkü kişiler doğrudan şartlandırılmamış fiziksel çevreyle (güneş/gölge, rüzgâr vb. açısından) etkileşim içindedir. Yapılan araştırmalardan çıkan ortak sonuç, mekânın fiziksel nitelikleri mekanın konforu ve kullanım verimliliği üzerinde doğrudan etkili olduğudur [98].

Bu sebeplerin herbiri çalışma alanı olan Karabük Üniversitesi SYM üzerinde de oldukça etkilidir. Sosyal Yaşam Merkezi fiziksel ve çevresel koşullara bakıldığında kentsel ısı adası oluşturacak bir alandır. Bu sebeple meydan alanından etkin şekilde yağmur suyu hasadı elde edilebilmesi ve ısı adası etkisinin azaltabilmesi için bu kriterler doğrultusunda uygun malzeme seçimi yapılacaktır.

### 2.2.1.2. Yağmur Suyu Toplama ve Kentsel Isı Adası Oluşumunun Engellenmesine Yönelik Uygulamalar

Yağmur suyu toplama amacıyla tasarlanan üst örtü sistemleri ile aynı zamanda kentsel ısı adası etkileri de azaltılmaktadır. Aynı zamanda üst örtü ile buharlaşma etkisi azaltılarak etkin şekilde yağmur suyu toplama sağlanabilmektedir. Yağmur suyu toplamaya yönelik uygulama örnekleri Şekil 2.37, Şekil 2.38, Şekil 2.39, Şekil 2.40 ve Şekil 2.41’de gösterilmektedir.

#### Bursa Uzun Çarşı Üst Örtü Tasarımı



Şekil 2.37. Bursa Uzun Çarşı üst örtü [99].

Üst örtü kışın yağmur ve kardan yazın ise güneşin olumsuz etkilerinden, yüksek ısıdan izole edilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Isı etkisi azaltılırken aynı zamanda sokakta uzun bir tünel etkisi yaratılmamış, ışık açısından verimli, oldukça ferah ve aydınlık bir ortam oluşturulmuştur. Ayrıca örtünün oluksuz fakat dalgalı formundan dolayı çok sayıda yağmur suyu tahliye dereleri oluşmakta ve toplanan su bu derelerden mevcut çatılara, çatılardan da yağmur iniş boruları ile kanalizasyona verilmektedir. Tasarımda malzeme olarak cam tercih edilmiş, bu malzeme ile güneşin U.V. etkisi %99 oranında kesilmiştir. Aynı zamanda Sıcaklık %60 oranda azaltılmış ışığı %80 oranında geçirmesiyle aydınlık bir ortam sağlanmıştır [99].



## 2016 Olimpiyat Oyunları Golf Sahası



Şekil 2.38. 2016 Golf sahası [100].

Tasarım sıcak ve nemli iklimde aşırı su tüketimini engellemesi amacıyla ortaya çıkmıştır. Tesis su tasarrufu sağlanması amacıyla, su geçirmez kumaş gerilmiş çelik kolonlardan oluşan üst örtünün altındaki çim avlunun etrafında toplanmaktadır. Örtü ısı açısından gölge sağlarken, yarı saydam çatı ile de yağmur suyu toplanmaktadır [100].

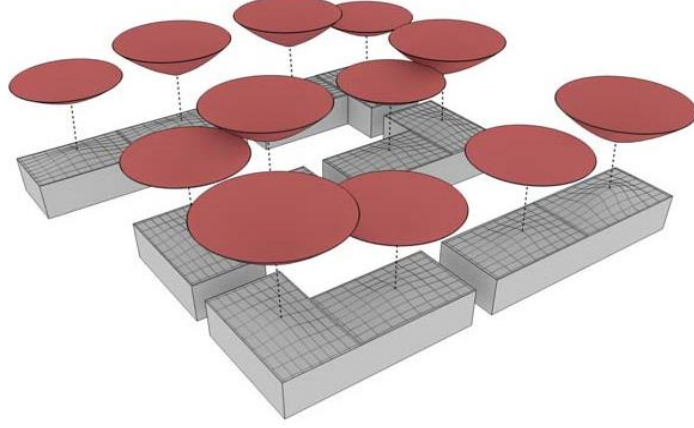
## İran Kirman'da Okul Projesi



Şekil 2.39. İran okul projesi [101].

Okul projesinde kase şeklindeki çatılar kuraklıkla baş edebilmek amacıyla tasarlanmıştır. Ortalama yağış miktarının oldukça az olduğu bölgede buharlaşma ise yağışlarla ters orantılı olarak oldukça fazla miktardadır. İçbükey şekilde tasarlanan çatı sistemi aynı zamanda kase şeklindeki toplayıcı elemanı ile tavan arasında gölge

oluşturmaktadır. Yağmur damlalarının düştüğü yüzey serin tutularak suyun buharlaşmadan toplanması sağlanmaktadır [101].



Şekil 2.40. Yağmur suyu hasadı için iç bükey çatı [101].

### İzmir Kemeraltı Çarşısı Üst Örtü



Şekil 2.41. İzmir kemeraltı çarşısı üst örtü tasarımı [102].

Tasarlanan örtü ile sadece yaz güneşinin olumsuz etkilerinden değil aynı zamanda yağmurdan da korunma hedeflenmektedir. Üst örtünün çevresinde çeşitli yönlere bakan rüzgar yönü esas alınarak belirlenmiş, yelken gölgelikler oluşturulmuştur. Yelkenler güneşin geliş açısına göre gölge sağlayarak cephelerdeki ısınmayı engellemektedir. Örtünün yaz mevsiminde İzmir'in yoğun sıcaklık etkisinden

koruması beklenirken kışın da yağmur suyu toplama açısından fonksiyonel olması hedeflenmiştir. Böylece örtü ile yağmur suyu toplanarak oluklardan yerdeki ızgaralara aktarılmaktadır [102].

### **2.3. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI TASARIMINDA ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI**

Sosyal ve Fen Bilimlerinin birçok alanında ÇKKV kullanılmaktadır. Karar vericinin alternatifler arasından daha isabetli seçim yapmasını sağlayan veya fikir veren bu yöntemler gelişen yazılım teknolojileri ile her geçen gün daha karmaşık problemleri çözebilir hale gelmiştir. Şuan gündemde olan Endüstri 4.0, Büyük veri, Nesnelerin interneti, 5G, Üç boyutlu yazıcılar, Yapay zeka gibi konular karar verme işlemini insanlardan makinelere aktarmayı hedeflemektedir. Bu gün insanların çalışmadığı karanlık fabrikalarda makineler arası iletişim bu yazılımlar ve sensörler sayesinde gerçekleşmektedir. Buzdolabında yumurta azaldığında sipariş verebilen akıllı buzdolapları aynı mantıkta işletmelerin tedarik sistemlerini de yönetebilir hale gelmektedir. Bugün bu tür karanlık fabrikalarda insan kaynağı olarak sadece bakım ve onarım ekipleri yer almaktadır. Otomobil banda girdiği anda tüketicinin istediği özellik ve renkteki koltuğun sipariş sinyali koltuk fabrikasına gönderilmekte, robotlar sürücüsüz tırlara koltukları yükleyip montaj saatinde siparişi yetiştirebilecektir. Bugün bunların çok büyük bir kısmının hayata geçtiği görülmektedir. Estetik mimarlığın sanatsal boyutu iken sağlamlık ve sağlık kullanılan teknoloji ve malzemeyle ilgilidir. Yeni konstrüksiyon, malzeme ve ürünler ile değişen tüketici istek ve ihtiyaçları biçimlerin yenilenmesini zorunlu kılmıştır. Her dönemde olduğu gibi yapılar biçimden ve işlevden soyutlanamadığı gibi teknolojiden de soyutlanamamaktadır. Toplumsal ve çevre sorunlarını teknolojiyle çözmeyi planyalan endüstri 5.0 içinde mimarlığa payının da giderek artacağı görülmektedir. Verilecek her kararda çevre duyarlılığının ön koşul olduğu dünyamızda yapıların da çevreye duyarlı olması zorunluluktur. Bu noktada karar vericilerin az enerji harcayan, çevreyi kirletmeyen, insanı ve doğayı zehirlemeyen yapılar tasarlaması ve inşaa etmesi için teknoloji ve malzeme seçimini bu koşullar doğrultusunda belirlemesi gerekmektedir. Mimarların, müşterilerin, yasaların ve kamu oyunun bu konudaki tercihleri, malzeme üreticilerini de çevrenin korunması konusunda daha

bilinçli ve duyarlı hale getiricektir. Karar verici olarak mimarların düşünce ve istekleri malzeme ve teknolojilerin gelişimine büyük girdi sağlamaktadır. Bu nedenle karar verme noktasında çok önemli bir yere sahip olan mimarların doğaya uyumlu, çevre dostu seçimleri sürdürülebilir mimarlığın temelini oluşturmaktadır.

### **2.3.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri**

İnsan beyni çok yüksek bir potansiyele sahip olmasına rağmen, sınırlı kapasitesi nedeniyle birçok kriter ve alternatifi olan problemler için matematiksel yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Özellikle günümüzün yoğun rekabet ortamında alınan stratejik kararların isabetli olabilmesi için ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden) yöntemleri karar vericilerin çeşitli metodlar vasıtasıyla çözüme ulaşmasına imkan sağlar. Belirlenen alternatifler arasından seçim yapılmak istendiğinde en doğru kararı vermek için ÇKKV'den faydalanılmaktadır. Böylece kişi belirlenen alternatifleri en doğru şekilde değerlendirerek daha isabetli bir karar verebilecektir. Bu yöntemler [103]:

- Temel Yöntemler: Ağırlıklandırılmış Toplama ve Çarpım Yöntemleri
- Bir Değerli Birleştirilmiş Kriter Yöntemler: AHP, TOPSIS, Gri İlişki Yöntemi, Bulanık TOPSIS
- Üstünlüğe Göre Sıralama Yöntemler: ELECTRE, PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) olarak sınıflandırılmaktadır.

Çok kriterli karar verme problemleri: seçme, sınıflandırma ve sıralama olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır. Seçim problemlerinin çözümünde kullanılan en yaygın teknikler AHP, ANP, MAUT/UTA, MACBETH, PROMETHEE (Zenginleştirme Değerlendirmeleri için Tercih Sıralama Organizasyon Yöntemi), ELECTRE ve TOPSIS'dir [104]. Tüm bu yöntemlerdeki amaç elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenmiş olan alternatifler arasından objektif ve bilimsel metodlara dayalı olarak en doğru seçimi yapmaktır. Böylece alternatifler kümesinden en doğru alternatif seçilmiş olur. Karar aşamasında seçime etki eden birçok kriter bulunmaktadır ve bu kriterlerin birbirine göre önem dereceleri karar vericiyi en uygun alternatif

götürecektir. Ancak alternatifler arasından en iyiyi seçebilmek oldukça zordur. Her alternatifin birbirine karşı farklı üstünlükleri olabilir. Bu tür problemlere kesin çözümler bulmak zor olduğundan bazı kriterler minimize edilirken bazıları da maksimize edilir. Bu gibi durumlarda amaca uygun optimum en yakın seçimin yapılmasına imkan sağlayacak olan PROMETHEE, fonksiyonu yüksek bir karar verme ve sıralama yöntemidir [105].

Artan rekabet işletmeler tarafından verilen kararların daha stratejik hale getirmiştir. Bu da karar verme süreçlerinde daha derinlenmesine incelemeleri gerekli kılmıştır. Problemlerin çözümü ve izleyecekleri stratejiler için birbirleriyle çelişen kriterler ve yakın alternatifler arasından en iyisini seçmek ÇKKV yöntemlerinin bu tür problemlere uygulanmasını gerekli kılmaktadır [106]. Karar verici, farklı ve çok sayıda kriterin olduğu durumlarda en iyi uzlaşıcı çözümü elde etmek için çelişen kriterleri dengeleyerek ve birleştirerek sıralama, grupalama veya seçim yapabilir. Problem çözmede etkili yöntemlerden biri olan ve günümüzde sıklıkla kullanılan PROMETHEE yöntemi, literatürdeki güncel önceliklendirme yöntemlerinin eksikliklerine dayanılarak geliştirilmiştir [106]. Buna göre yöntem, karar verme probleminin çözümü için gerekli alternatifleri, belirlenmiş tercih fonksiyonlarına dayalı olarak değerlendirirken ikili karşılaştırma tekniği ile de kısmi ve tam önceliklerini belirlemektedir. Literatürde, PROMETHEE yöntemi ile farklı alanlarda yapılan bir çok çalışma bulunmaktadır. Çeşitli yapısal sistemlerdeki son gelişmeler, belirli bir proje için uygun yapısal sistemin seçimini zorlu bir karar verme süreci haline getirmiştir. Bu süreç, deneyimli tekniker, mühendis ve gerekli makine ve inşaat malzemelerinin mevcudiyetini temsil eden farklı ekonomik ve teknik kriterleri içerir. Ekonomik yaşam döngüsü, çevrenin korunması, proje sahasının güvenliği, deprem, doğal afetlere karşı savunmasızlık, projenin inşa edileceği ülke ve yer gibi tüm konular karar verme süreci içinde ele alınmalıdır. Balali ve arkadaşları [107] da yapmış oldukları bu çalışmada çoklu konut projeleri için en uygun yapı sisteminin seçiminde bu kriterleri dikkate almak için “PROMETHEE” çok kriterli karar verme tekniğini kullanmışlardır. Bu yöntem, diğer endüstriyel veya ticari bina projeleri için de kullanılabilirken, kriterler bu projeleri etkileyen parametrelere göre revize edilmelidir. Balali ve arkadaşları yapmış oldukları diğer bir çalışmada ise bina karkaslarında hafif duvarlı 3D panel yapı sistemi, LSF (Konut Binalarında Hafif Çelik

Çerçeve), ICF (yalıtım beton kalıp), tünel kalıp sistemi ve galvanizli çelik boru elemanları kullanan tronco sistemi arasından uygun taşıyıcı yapısal sistemi seçmek için AHP ve PROMETHEE yöntemi karşılaştırılmıştır. Farklı kriterlerin ağırlığı gibi çeşitli parametreler hakkında mühendislik yargılarını ve uzmanların fikirlerini toplamak için de bir anket tasarlamışlardır. Çalışmanın sonucunda en uygun yapısal sistem belirlenmiş ve PROMETHEE II, AHP'ye kıyasla tutarlı ve anlaşılması kolay olduğu için tercih edilen yöntem olmuştur.

Çok Kriterli Analiz günümüzde karar ve değerlendirme süreçlerinde ve özellikle şehir planlamasında yaygın olarak uygulanmaktadır. Kentsel planlama ve kentsel dönüşüm süreçleri çok boyutlu kavramlardır ve sosyoekonomik, çevresel, teknik ve etik perspektifleri içerir, bunlar birbiriyle güçlü bir şekilde bağlantılıdır ve yalnızca ekonomik konulara atıfta bulunarak ele alınamaz: kentsel yenileme projeleri, genellikle mevcut sosyal ağların yok edilmesi, savunmasız grupların sınır dışı edilmesi ve yaşam ortamı üzerindeki olumsuz etkiler gibi birçok zorlukla karşı karşıyadır. Bu nedenle, kentsel planlamada, içsel karmaşıklıklar ve karar sürecine dahil olan çok sayıda paydaş ve aktör nedeniyle, çok kriterli teknikler ve metodolojiler, karar vericiler ve aktörlerin tercihlerini de hesaba katan çözümleri belirlemek için verimli bir şekilde uygulanabilir. Bottero ve arkadaşları [108]'nın bu çalışması, PROMETHEE II yönteminin kentsel planlama ve geliştirme projeleri ile ilgili karar problemlerinde nasıl faydalı bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir; yani PROMETHEE yöntemi projelerin önceliğini belirlemek için kullanılmıştır. Ayrıca; kentsel hava çevre kalitesinin değerlendirilmesinde [109], stratejik kaynak kullanımında tedarikçi seçiminde [110] çevre, peyzaj ve bölgesel planlama problemlerinin çözümünde [111, 112], tesisleri rekabetçi bir ortamda konumlandırma ve doğru kuruluş yeri seçiminde [110], otel binalarının enerji performansının karşılaştırılmasında [113], boru hattı güzergahı için en uygun varyasyonu seçme sorununu çözmede [114], su projesi alt yüklenicilerinin değerlendirilmesinde [115], bina temeli için en uygun yöntemin seçiminde [116], uygun malzeme, yapım tekniği ve köprülerin yapısal sisteminin seçiminde [117], kültürel miras yapıları için en verimli yüklenici alternatifinin seçiminde [118] PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır.

### 2.3.1.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Olarak PROMETHEE

ÇKKV yöntemlerinden biri olan PROMETHEE yöntemi başta tedarik yönetimi olmak üzere Üretim ve hizmet süreçlerinin tümünde karşılaşılan karar problemleri çözmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [119]. Fransız ekolünün bir disiplini olan PROMETHEE yönteminin özellikle 1980'li yıllardan sonra diğer ÇKKV yöntemlerine göre öne çıktığı görülmektedir. ÇKKV yöntemleri arasında en yenisi olmasına rağmen birçok özelliği nedeniyle son yıllarda en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur [120]. PROMETHEE yöntemi, tercih fonksiyonlarına göre karar verme probleminin temeli olan alternatifleri değerlendirmekte ve ikili karşılaştırma tekniği ile önceliklerini belirlemektedir. Bu değerlendirme, alternatiflerin üstünlükleri kriterler bazında birleştirilerek yapılmaktadır. Çatı sistemlerinde malzeme seçiminde karşılaşılan karar sorunları karmaşık ve birçok kriter içermektedir. Bu şekilde karar alma durumunda uygulayıcı, optimum sonuçlara ulaşabilmek için mümkün olan bütün ihtimalleri göz önüne almak zorundadır. Gelişen teknoloji ile beraber uygulayıcıların sık sık karşılaştığı çok kriterli karar problemlerine çözüm üretmeyi sağlayan karar destek sistemleri geliştirilmiştir. 1982 yılında Jean-Pierre Brans tarafından geliştirilmiş olan PROMETHEE yöntemi Kanada'daki bir konferansta PROMETHEE I (alternatiflerin kısmi sıralaması) ve PROMETHEE II (Alternatifleri n tam sıralaması) olarak iki farklı model olarak sunulmuştur [121, 122]. Bir kaç yıl sonra Brans ve Mareschall tarafından PROMETHEE III (aralıkları temel alarak sıralama), PROMETHEE IV (sürekli durumlar için), PROMETHEE-5 (bölümlendirime kısıtlarını içeren) ve PROMETHEE-6 (insan beyninin temsiline yapıldığı) versiyonları sunulmuştur.

Promethee yöntemi için iki ek bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Birincisi karar vericinin belirlediği kriterlerin ağırlıkları ile ilgili bilgiler, ikincisi ise karar vericinin alternatiflerin katkılarını karşılaştırırken kullandığı her farklı kriter açısından tercih fonksiyonları hakkında bilgilerdir. Ağırlıkların belirlenmesi için birçok yöntem önerilir, ancak en çok kullanılan yöntemlerden biri Analitik Hiyerarşi Süreci-AHP yöntemidir. PROMETHEE yöntemi, ağırlıkların belirlenmesinde herhangi bir tavsiyede bulunmaz çünkü karar vericinin ağırlıkları kriterlere uygun olarak dağıttığını varsaymaktadır. Kriterlere verilen ağırlıklar 0 ile 1 arasında değişmektedir

ve verilen ağırlık ne kadar büyükse, kriter o derece önemlidir [123]. Karar verme matrisinin oluşturulmasını müteakip PROMETHEE yönteminde karar verici, alternatifleri ikili olarak karşılaştırmaktadır. Bu karşılaştırmada karar verici, her bir kriter için önceden belirlenmiş 6 tercih fonksiyonundan birini seçer ve alternatifleri bu tercih fonksiyonlarına göre çiftler halinde karşılaştırır. Ayrıca her bir tercih fonksiyonunun belirlenmesi gereken ilave eşik değerleri vardır [120].

### PROMETHEE Yöntemi Aşamaları

ÇKKV yöntemlerinden biri olan PROMETHEE yönteminin 7 aşaması bulunmaktadır [119];

Adım 1:  $w = (w_1, w_2, \dots, w_k)$  ağırlıkları ile  $k$  kriter  $c = (f_1, f_2, \dots, f_k)$  tarafından değerlendirilen alternatiflere  $A = (a, b, c, \dots)$  ilişkin veri matrisi, Çizelge 2.2'de verilen şekilde oluşturulur.

Çizelge 2.2. Veri matrisi.

Kriterler	$a$	$b$	$c$	...	$w$
$f_1$	$f_1(a)$	$f_1(b)$	$f_1(c)$	...	$w_1$
$f_2$	$f_2(a)$	$f_2(b)$	$f_2(c)$	...	$w_2$
...	...	...	...	...	...
$f_k$	$f_k(a)$	$f_k(b)$	$f_k(c)$	...	$w_k$

Adım 2: Tercih fonksiyonlarının tanımlandığı aşamadır. Her kriter için tercih fonksiyonları belirlenir. PROMETHEE uygulamasında kullanılacak 6 farklı tercih fonksiyonu Çizelge 2.3'te gösterilmektedir [122].



Çizelge 2.3. Tercih fonksiyonları..

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	–	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	$l$	$p(x) = \begin{cases} 0, & \forall x \leq 0 \\ 1, & \forall x > 0 \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	$m$	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	$q, p$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q + p \\ 1, & x > q + p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Lineer)	$s, r$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s \leq x \leq s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussia n)	$\sigma$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

Buradaki parametreler ;

q: Farksızlık Değeri

p: Kesin Tercih Eşiği

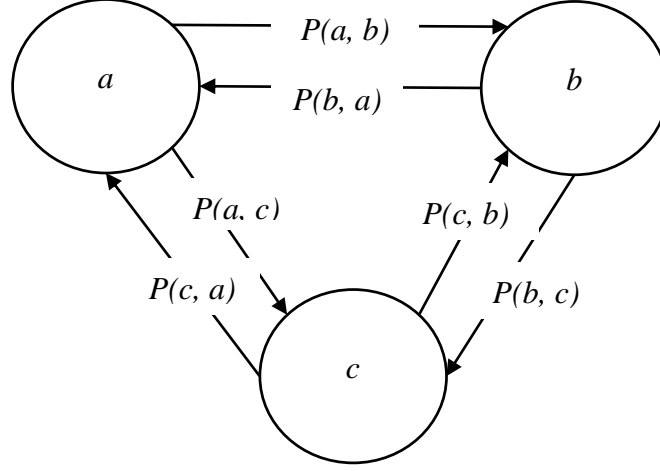
s: q ve p ara değer veya standart sapma olarak tanımlanmaktadır.

Q değeri, değerlendirme faktörlerinin karar puanlarına göre en büyük fark değeridir, p değeri ise en küçük farktır. Burada d değeri, bir değerlendirme faktörü açısından iki karar noktası değeri arasındaki farktır [124].

PROMETHEE yönteminin diğer çoklu karar verme yöntemlerine göre önemli bir avantajı, karar vericinin bir değerlendirme faktörü açısından belirli bir seçim yapmasına veya değerlendirme faktörünü belirlediği değerlerle sınırlamasına izin vermesidir. Bu işlevi tercih işlevlerini kullanarak gerçekleştirir. İlgili değerlendirme faktörü açısından karar vericinin tercihi yoksa, o değerlendirme faktörü açısından seçilecek tercih fonksiyonu Birinci Tip (olağan) tercih fonksiyonu olmalıdır. Karar verici, ilgili değerlendirme faktörü açısından kendisi tarafından belirlenen bir değer üzerinde bir değere sahip karar noktaları tercihini kullanmak isterse seçilecek tercih fonksiyonu İkinci Tip (U tipi) tercih fonksiyonu olmalıdır. Karar verici, bir değerlendirme faktörü açısından ortalamanın üzerinde bir değere sahip karar noktalarını kullanmak istiyor ancak bu değer altındaki değerleri ihmal etmek istemiyorsa seçilecek tercih fonksiyonu Üçüncü Tip (V tipi) tercihi olmalıdır. Karar vericinin bir değerlendirme faktörü açısından seçimi, belirli bir değer aralığını belirliyorsa, seçilecek tercih fonksiyonu Dördüncü Tip (seviye) tercih fonksiyonu olmalıdır. Bir karar verici, bir değerlendirme faktörü açısından ortalamanın üzerinde bir değere sahip karar noktaları tercihini kullanmak isterse, seçilecek tercih fonksiyonu Beşinci Tip (doğrusal) tercih fonksiyonu olmalıdır. İlgili değerlendirme faktörü değerlerinin ortalamadan sapma değerleri karar vericinin seçiminde belirleyici olacaksa seçilecek tercih fonksiyonu Altıncı Tip (Gaussian) tercih fonksiyonu olmalıdır.

Adım 3: Tercih işlevlerine göre alternatif çiftler için ortak tercih işlevleri belirlenir. Alternatifler için belirlenen ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi Şekil 2.42'de gösterilmiştir.

$$p = (a, b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & , f(a) > f(b) \end{cases} \quad (2.1)$$



Şekil 2.42. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi.

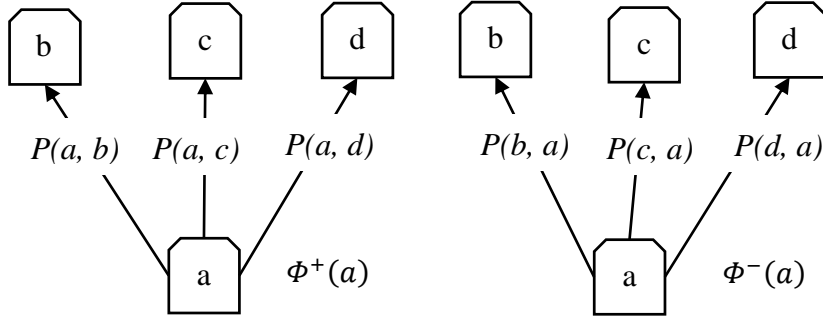
*Adım 4:* Ortak tercih işlevlerine dayalı olarak, her alternatif çift için tercih indeksleri belirlenir. Burada  $w_i (i = (1, 2, \dots, k))$  ağırlıklandırılan alternatifler kümesi için k kriterine göre belirlenen a ve b alternatiflerinin tercih indeksleri (2.2) yöntemi ile bulunur.

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \times P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (2.2)$$

*Adım 5:* Negatif ( $\Phi^-$ ) ve pozitif ( $\Phi^+$ ) alternatifler için avantajlar belirlenir. Alternatifler arasından seçilen bir alternatif için olumlu ve olumsuz üstünlük şeması Şekil 2.43'de gösterilmektedir. Yöntem (2.3) 'de pozitif üstünlük gösterilmiş, yöntem (2.4)' de negatif üstünlük hesaplanmıştır.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum n(a, b) \quad (2.3)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum n(a, b) \quad (2.4)$$



Şekil 2.43. a alternatifi için  $\Phi^+$  ve  $\Phi^-$  değerleri için üstünlük.

Adım 6: Alternatiflerin birbirleriyle karşılaştırılmasına imkan veren PROMETHEE I ile kısmi öncelikler belirlenir. Kısmi öncelikler, alternatiflerin birbirine tercih edilmesini, birbirinden ayırt edilemeyen ve birbiriyle karşılaştırılmayacak alternatiflerin belirlenmesini sağlar. A ve b alternatifleri için kısmi önceliklerin belirlenmesi belirli mekanizmalarına göre kararlaştırılır.

1. Durum: Aşağıdaki koşullardan herhangi biri karşılanırsa, alternatif b'ye alternatif a tercih edilir.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (2.5)$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (2.6)$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (2.7)$$

2. Durum: Aşağıda verilen koşul karşılanırsa, alternatif a ve alternatif b farklı değildir.

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (2.8)$$

3. Durum: Aşağıdaki koşullardan herhangi biri karşılanırsa, alternatif a, alternatif b ile karşılaştırılamaz.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \quad (2.9)$$

$$\Phi^+(a) < \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (2.10)$$

Adım 7: PROMETHEE I ile kısmi önceliklerin durumu hesaplanır ve PROMETHEE II ile net öncelikler hesaplanır. Kesin sıralama, tüm alternatiflerin aynı düzlemde hesaplanan öncelik değerleriyle değerlendirilmesiyle belirlenmektedir.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (2.11)$$

Aşağıdaki kararlar, iki alternatif, a ve b için hesaplanan tam öncelik değerine bağlı olarak alınmaktadır.

$\Phi(a) > \Phi(b)$  ise a alternatifi daha üstündür,

$\Phi(a) = \Phi(b)$  ise a ve b alternatifleri farksızdır.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOD

#### 3.1. MATERYAL

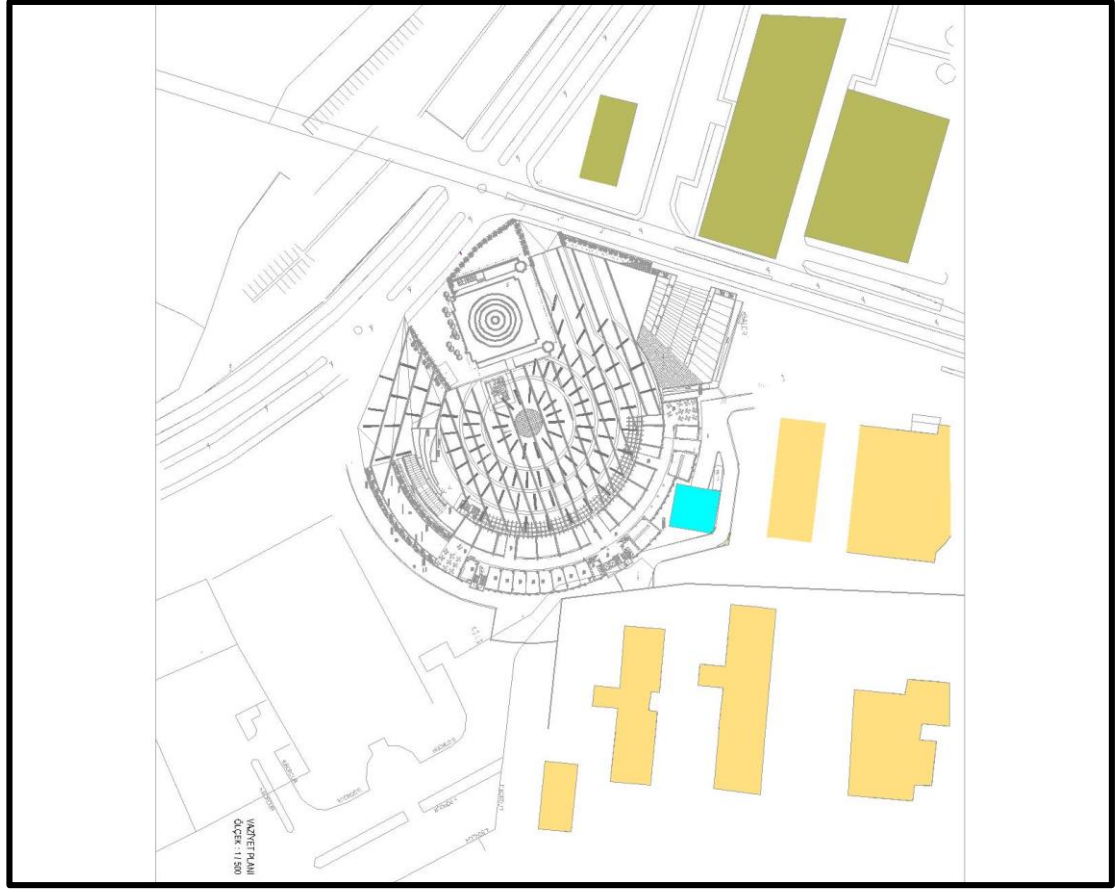
Bu bölümde tezde kullanılan Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezine (SYM) yönelik bilgiler ile çalışma kapsamında kullanılan yöntemlere yer verilmiştir. Çalışmanın ana materyalini Sosyal Yaşam Merkezi oluşturmaktadır.




##### 3.1.1. KBÜ Sosyal Yaşam Merkezi

Karabük üniversitenin merkez yerleşkesi Demir Çelik yerleşkesidir. Demir Çelik Yerleşkesinin alanı 3.500.000 m<sup>2</sup> olup, 151.148 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. Çalışma alanı, Karabük Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezidir. (Şekil 3.1) Sosyal Yaşam Merkezi 8957 m<sup>2</sup> lik alana kurulmuş olup toplam inşaat alanı 1320 m<sup>2</sup>'dir. Yağmur hasadının planlandığı merkeze ait meydan alanı 5136 m<sup>2</sup> olup mermer ile kaplıdır. Meydan kısmı aynı zamanda SYM yemekhanesinin çatı kısmını oluşturmaktadır.



Şekil 3.1. Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi [125].



Lejant		fakülte binaları		Su depoları		Yurtkur lojman
--------	---	------------------	---	-------------	---	----------------

Şekil 3.2. Sosyal Yaşam Merkezi vaziyet planı [125].

### 3.1.2. Karabük İli İklim Koşulları ve Yağış rejimi

Bu iklim tipi, özellikle Marmara Bölgesi'nin Karadeniz sahil kuşağında, bölgenin kuzeye bakan kısımlarında ve dağlarında etkili olmaktadır. Yaz ve kış mevsimleri arasındaki sıcaklık farkının çok fazla olmadığı görülmektedir. Yaz ayları nispeten serin iken kış ayları kıyı kesiminde ılık, yüksek kesimlerde soğuk ve karlıdır. Genellikle her mevsim yağış görüldüğünden su sıkıntısı genellikle yaşanmaz. Doğal bitki örtüsünü, yüksek kesimlerde nemli ve soğuk şartlarda yetişen iğne yapraklı ormanlar oluşturur iken kıyı kesimlerde geniş yapraklı nemli ormanlar oluşturmaktadır. En soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4,2 derece, en sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklık 22,1 derece ve yıllık ortalama sıcaklık 13,0 derecedir. Kısmen Batı Karadeniz bölgesinin iklimi özelliklerinin görüldüğü

Karabük, deniz kıyısından içeride yer almakta ve Karadeniz'in nemli havasından yeterince faydalanamamaktadır. Karasal iklimin karakteristik özelliklerini taşımasına rağmen İç Anadolu bölgesindeki kadar kurak yaz sıcakları ve kış soğukları görülmemektedir.

Karabük ilinin yıllık ortalama yağış miktarı 542 mm dir. En çok yağış ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Karabük, Karadeniz iklimi sebebiyle her mevsim yağış olsa da Temmuz ve Ağustos aylarında kısa süreli kuraklıklar görülmekte bu sebeple yağış diğer aylara göre daha az olmaktadır. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı ise %19.4 dür. Çizelge 4.1'de Karabük ilinin 1965-2018 yılları arasına ait ortalama sıcaklık, yağış ve güneşlenme süreleri verilmiştir [ 126 ].



Şekil 3.3. Karabük ili lokasyonu.

Karabük Meteoroloji İl Müdürlüğü'nün istasyon bilgileri veri tabanında bulunan 1980-2018 yılları arasına ait yağış verileri kurumdan talep edilmiştir (Bknz. Ek A). Elde edilen bu veriler SPSS 22 (Statistical Package for the Social Sciences) istatistik paket programında analize tabi tutularak yıllara, mevsimlere ve aylara ait standart sapmalar hesaplanmıştır. Standart sapma hesabı sonuçlarına göre yıllık verilere bakıldığında sapma oranının  $\pm 7,62$  litre olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda çalışmada son beş yıllık ortalama yağış verilerinin hesaplamalarda yeterli olacağı kanaatine varılmıştır. Son beş yıla ait aylık ortalama yağış miktarı verileri Çizelge 3.2'de verilmektedir.



Çizelge 3.1. Karabük iline ait meteoroloji verileri [127].

KARABÜK	AYLAR												Yıllık
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Ölçüm periyodu (1965-2019)													
Ort. Sıcaklık	2,4	5,9	8,6	12,4	16,9	20,6	23,2	23,9	19,9	14,2	8,3	3,4	13,3
Ort. en yüksek sıcaklık	7,5	12,4	16,2	21,4	24,8	28,8	31,7	32,8	28,9	21,7	15,2	8,6	20,8
Ort. en düşük sıcaklık	-0,8	1,6	3,3	5,5	10,9	14,6	16,1	16,9	13,2	9,2	3,7	0,3	7,9
Ort. güneşlenme süresi (saat)	1,6	3,2	4,1	6,6	6,0	7,2	9,2	8,7	7,0	4,9	3,9	2,3	64,7
Ort. yağışlı gün sayısı	15,4	11,0	12,4	10,2	14,2	12,4	6,8	5,6	4,8	8,6	10,0	13,0	124,4
Aylık top. yağış miktarı ort.(mm)	45,4	33,3	51,0	42,1	61	76,5	23,8	11,4	42	57,4	43,7	54,4	542
Ölçüm periyodu (1965-2019)													
En yüksek sıcaklık	22,1	24,8	32,5	34,9	38,8	40,6	44,0	44,1	40,8	37,2	27,0	23,2	44,1
En düşük sıcaklık	-15,1	-14,2	-9,2	-5,8	0,1	4,6	8,9	8,9	3,4	-3,1	-6,4	-12	-15,1

Çizelge 3.2. Karabük ili aylık ortalama yağış durumu [127].

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
<b>2014</b>	48.2	7.0	27.9	80.7	81.7	110.7	24.3	16.7	105.7	108.1	18.5	80.9	710.4
<b>2015</b>	45.2	26.1	42.5	32.8	18.1	111.6	0.4	6.7	40.0	52.3	60.8	62.3	498.8
<b>2016</b>	77.2	64.4	21.2	50.9	116.8	12.6	4.1	3.2	41.9	5.6	29.4	60.4	487.7
<b>2017</b>	30.6	29.0	26.7	37.6	45.1	79.5	23.4	26.4	2.0	75.3	70.1	44.4	490.1
<b>2018</b>	27.9	23.6	120.5	8.6	43.5	68.1	66.8	4.1	20.5	56.8	39.9	44.0	524.3
<b>Ort. (mm/yıl)</b>	<b>45.8</b>	<b>30.0</b>	<b>47.7</b>	<b>42.1</b>	<b>61</b>	<b>76.5</b>	<b>23.8</b>	<b>11.4</b>	<b>42</b>	<b>59.6</b>	<b>43.7</b>	<b>58.4</b>	<b>542</b>

Çizelge 3.2'ye göre Karabük Meteoroloji İşlerinden alınan veriler doğrultusunda 5 yıllık ortalama yağış miktarının 542 mm/yıl olduğu görülmektedir. En fazla yağış görülen ay, 76,5 mm/yıl yağış ortalamasıyla Haziran ayıdır.

### **3.1.3. Kentsel Isı Adası Özelliği Yüksek Olan Meydanda Kullanılabilecek Malzeme Seçimine Etki Eden Faktörler**

Düşünülen çelik uzay kafes sistemi için en uygun malzeme alternatifleri araştırılmıştır. Bu alternatiflerin belirlenmesinde çeşitli kriterler ön plana çıkmaktadır. Bu kriterler malzemelerin maliyeti, çatı etkinlik katsayısı, albedo değeri, termal iletkenlik, öz ısı ve emisivitedir.

Fiyat: Bir mal veya hizmete sahip olmaktan veya kullanmaktan kaynaklanan fayda karşılığında tüketiciler tarafından ödenen değerlerin toplamıdır.

Çatı etkinlik sayısı: Çatıya düşen yağmur suyunun ne kadarının toplanabileceğini ifade etmektedir.

Albedo değeri: Güneş ışığı yansıtma kapasitesi ve yüzeylerin yansıtma gücü olarak tanımlanmaktadır.

Termal iletkenlik: Malzemenin ısı iletkenliği olarak ifade edilmektedir.

Öz ısı: Maddenin sıcaklığını arttırmak için verilmesi gereken ısı miktarıdır.

Emisivite: Bir objenin ışıma veya ısı yayılımının verimini tanımlayan özelliğidir. Aynı zamanda termal radyasyon değeridir.

### **3.1.4. Kentsel Isı Adası Özelliği Yüksek Olan Meydanda Kullanılabilecek Malzemeler ve Özellikleri**

Kriterler ve elik uzay kafes sistemine uygun malzemeler araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda belirlenen malzeme alternatifleri şunlardır: Cam, membran, alüminyum, PVC, PTFE, polikarbonat panel, shingle ve galvanizli satır.

Cam, atı ve örtü sistemleri gibi birçok alanda kullanılabilmektedir. Geniş alanlarda çok rahat kullanılabilen malzemeler olmakla birlikte kullanılan alana aydınlık ve ferahlık sağlamaktadır [128].

Membran, yapı teknolojisinin en önemli avantajlarından biri kolay kurulumu ve hafifliğidir. Uzun ömürlü, dayanıklı ve güvenli malzemelerdir. Geniş açıklık gerektiren birçok alanda kullanılabilmektedir [128].

PTFE, cam elyaf dokuması ile elde edilen ana taşıyıcı membran örtü malzemesini örten kaplama malzemesidir. Bu kaplama malzemesi, kılıfı dış etkenlere karşı korumakta ve kumaşa su / hava sızdırmazlığı sağlamaktadır. PTFE kaplı fiberglas malzemenin bir diğer önemli özelliği ise yanmaz malzemenin sınıflandırılmasıdır. Örtünün ana rengi çok açık kahve tonundadır ancak sistemin kurulumundan birkaç ay sonra güneş ışınlarının etkisi ile kumaşın rengi beyaza dönmektedir. İstendiği taktirde örtü malzemesi özel işlemlere tabi tutularak beyaza döndürülerek de uygulanabilmektedir. Hatta günümüzde renkli kumaşlar da yapılabilmektedir. Kaplamanın üzeri teflon olduğu için kir tutmadığından bakımı ve temizliği oldukça kolay olmaktadır [129].

Alüminyum atı malzemeleri, hafif ve oldukça dayanıklı malzemelerdir. Su ile etkileşime girmediğinden korozyon açısından oldukça dirençlidir. Plastisite açısından dayanıklılık göstererek istenilen şekil verilebilmektedir. Ancak buna rağmen alüminyum malzemenin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar, düşük ses yalıtımı, yüksek ısı iletkenliği ve ısıl genleşme olarak sıralanabilmektedir [129].

PVC, kimyasal adı polivinil klorür olan malzeme oldukça geniş kullanım alanı olan plastik polimerdir. Üst örtülerde de kullanılan paneller şeffaf olmalarından dolayı doğal aydınlatma sağlarlar. Su geçirmeyen ve yalıtımları oldukça yüksek malzemelerdir. Korozyona ve darbelere karşı oldukça dayanıklıdır. Yanmaz yapılarıyla oldukça uzun ömürlüdür [128].

Shingle, çeşitli kimyasal maddeler emdirilmiş ve cam elyafın polymerize edilerek bitüm ile kaplanmış şeklindedir. Bu tür malzemeler kendiliğinden yapışkanlı şekilde üretildiğinden kurulumu oldukça kolaydır [129].

Polikarbonat panel, ısı ile etkileşim gösteren fakat %82 lik ışık geçirgenlik oranıyla gün ışığından en iyi faydalanmayı sağlayan malzemelerdendir. Yüksek ısıya karşı mukavemet göstermeleri ve yüzeylerinde su tutmamaları en çok tercih edilme sebeplerindedir [129].

Galvanizli saç çatı kaplama malzemeleri hafif ve yük taşıma kapasiteleri oldukça fazladır. Her türlü çatı şekli ve eğiminde rahatlıkla kullanılabilir. Gözenekli yapıya sahip olduklarından dolayı su emmezler. Pürüzlü yapıya sahip olmadıklarından yağış suyu toplama açısından avantajlıdır [129]. Karabük Üniversitesi SYM meydan alanına önerilen üst örtüde kullanılacak malzemeler ve özellikleri Çizelge 3.3’de detaylı şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Kriter ve alternatiflere ilişkin değerlendirme tablosu.

Kriterler	Birim Fiyat	Çatı etkinlik katsayısı	Albedo	Termal İletkenlik	Öz ısı	Emisivite
Cam (10mm)	1500	0,9	0,7	1,0000	0,7530	0,84
Membran	311	0,9	0,76	0,1380	2,0920	0,95
Alüminyum	445	0,85	0,75	230,0000	0,8970	0,20
PVC	400	0,9	0,83	0,1670	1,6740	0,95
PTFE	622	0,9	0,69	5,5600	1,0040	0,95
Polikarbonat panel	29,8	0,9	0,86	0,1920	1,6740	0,95
Shingle	24	0,9	0,21	0,1200	1,2600	0,85
Galvanizli saç	19,3	0,85	0,4	53,0000	0,4800	0,4

## 3.2. METOD

Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi'nin (SYM) meydanında suyun etkin kullanımının sağlanması ve yüksek ısı adası özelliğine sahip olması nedeniyle bu olumsuz etkinin ortadan kaldırılması ya da etkilerinin azaltılması planlanmıştır. Bu plan doğrultusunda, önerilen örtü tasarımı için kullanılacak malzemeler belirlenmiş, bu malzemelerin yağmur suyu toplama verimi ve ısı adası etkisinin azaltılmasına dayalı özellikleri dikkate alınarak, çok kriterli karar verme yöntemlerinden PROMETHEE yöntemi kullanılarak bu tasarıma en uygun malzeme tespit edilmiştir. Ardından Revit Programı ile tasarlanan örtü ile hasad edilebilecek yağmursuyu miktarı hesaplanmıştır.

Ayrıca PROMETHEE yönteminde kullanılan kriter ağırlıklarının hesaplanmasında BWM yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde malzemelerin bir birine göre önem derecelerini belirlemek için Türkiye'de malzeme sektöründe uzman olan mühendis ve akademisyenlere yönelik bir anket çalışması tasarlanmıştır. Bu çalışmada alanında uzman mühendis ve akademisyenlerin seçilme nedeni, malzeme konusunda bilgili ve tecrübeli olmaları nedeniyle kriterlere göre malzemeleri en uygun şekilde değerlendirebilecek olmalarıdır. Çalışmanın evreni, malzeme konusunda uzman mühendis ve akademisyen mimarlar olarak tanımlanmıştır. Ancak evrene ulaşmak zaman ve maliyet kısıtları nedeni ile mümkün olmadığından, tesadüfi olmayan örnekleme yöntemleri arasından, kartopu örnekleme yöntemi ile veriler toplanmıştır. Bu yöntemle ulaşılabilen ve araştırmaya katılmayı kabul eden 104 mühendis ve akademisyenden hazırlanan online anket formu aracılığıyla veriler toplanmıştır. Cevaplanan anketler arasından eksik ve yanlış doldurulan 12 anket değerlendirilmediğinden, analize dahil edilen anket sayısı toplam 92 olmuştur.

### 3.2.1. Üst Örtüde Kullanılacak Malzeme Seçimine Etki Eden Faktörlerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi

Rezaei [124,130]'in oluşturmuş olduğu excel dosyası kullanılarak çok ölçütlü karar problemi tanımlanarak kriterler ağırlıklandırılmıştır. BWM (Best Worst Method) 'nin en sık kullanılan doğrusal [130] ve doğrusal olmayan [124] iki versiyonu

bulunmaktadır. Bu çalışmada kriterlerin ağırlıklandırılmasında doğrusal BMW'ye dayanan excel dosyası kullanılmıştır. Bu dosyada sorunu inşa etmek ve çözmek için atılması gereken beş adım açıklanarak formüle edilmiştir. Farklı ölçütlere sahip sorunlar için farklı sayfalar (C=3, C=4, ...) verilmiştir. İlk adımda probleme bağlı olarak karar kriterlerinin sayısı belirlenmiştir. Örneğin, bir araba satın alırken kalite, fiyat, konfor, güvenlik ve stil gibi 5 kriter belirlendiğinde sayfa C=5 üzerinden işlemler yapılmaktadır. Bu çalışmada çözüm C=6 üzerinden yapılmıştır. İkinci adımda, karar vericinin görüşüne göre en iyi (örneğin en çok arzu edilen, en önemli) ve en kötü (örneğin en az arzu edilen, en az önemli) kriterler belirlenmiştir. Buna göre en iyi kriter "termal iletkenlik" en kötü kriter ise "fiyat" olarak belirlenmiştir. Üçüncü ve dördüncü adımda, karar vericinin "diğer tüm kriterlere göre en iyi kriter" konusundaki tercihini ve açılır kutudan 1 ile 9 arasında bir sayı seçerek "en kötü kriter karşısındaki diğer tüm kriter" tercihlerini belirtmektedir. Bu sayıların anlamı Çizelge 3.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Ölçeklendirme değerlerinin ifade edilmesi.

1	Eşit önem
2	Eşit ve Orta arasında
3	Kısmen daha önemli
4	Biraz Orta ve Güçlü arasında
5	Çok daha önemli
6	Biraz Güçlü ve Çok güçlü arasında
7	Çok güçlü
8	Çok güçlü ve Mutlak arasında
9	Kesinlikle daha önemli

Kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde uzman ve akademisyenden oluşan katılımcıların vermiş olduğu cevaplara ilişkin SPSS programı kullanılarak yapılan frekans analizine ait sonuçlar Çizelge 3.5' de verilmiştir.

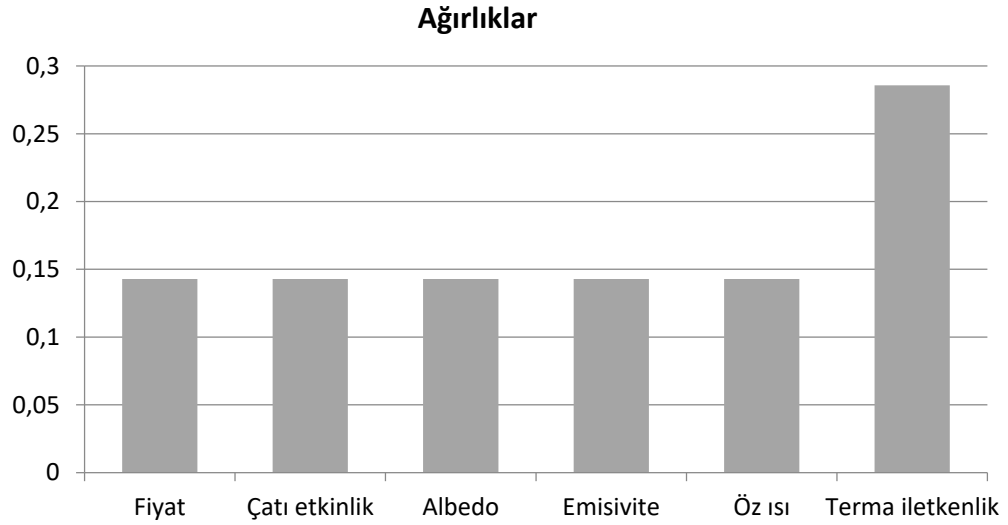
Çizelge 3.5. Katılımcıların kriterlere ilişkin vermiş olduğu önem derecesi.

Meslek		Fiyat	Çatı etkinlik	Albedo	Emisivite	Öz ısı	Termal iletkenlik
Uzman	Ortalama	7	8,02	7,67	8,02	7,55	8,17
	N	40	40	40	40	40	40
	Std. Sapma	1,98	1,60	1,80	1,56	1,48	0,98
Akademisyen	Ortalama	7,11	7,78	8,01	7,84	7,28	8,03
	N	52	52	52	52	52	52
	Std. Sapma	1,95	1,60	1,14	1,05	1,57	1,58
Toplam	Ortalama	7,06	7,89	7,86	7,92	7,40	8,09
	N	92	92	92	92	92	92
	Std. Sapma	1,96	1,59	1,46	1,29	1,53	1,35

Son adımda ise veri sekmesinde yer alan çözücü kullanılarak Çizelge 3.6 ‘da yer alan ağırlıklandırma sonuçları hesaplanmıştır.

Çizelge 3.6. Ortalamalar ve BWM yöntemine göre hesaplanan kriter ağırlıkları.

Kriterler	Ortalama	Ortalamalara göre ağırlıklandırma (%)	Best Worst Method (BWM) ile ağırlıklandırma
<b>Fiyat</b>	7,06	15,28	0,14285714
<b>Çatı Etkinlik Katsayısı</b>	7,89	17,07	0,14285714
<b>Albedo Değeri</b>	7,86	17	0,14285714
<b>Termal İletkenlik</b>	8,09	17,50	0,28571429
<b>Öz Isı</b>	7,40	16,01	0,14285714
<b>Emisivite</b>	7,92	17,14	0,14285714
<b>Toplam</b>	46,22	100	1



Şekil 3.4. Kriterlerin ağırlıklarının grafiksel gösterimi.

Toplam 92 uzman ve akademisyen görüşünün alındığı anket çalışmasında katılımcılardan çatıdan hasad edilecek yağmur suyu için en uygun çatı malzemesinin seçiminde etkili olan kriterleri önem derecelerine göre puanlandırmaları (1’den 9’a kadar) istenmiştir. Bu puanlara göre 1’e (%100) eşit olacak şekilde her bir kriterin ortalaması üzerinden ağırlıklandırılmıştır. Ortalamalar üzerinden yapılan ağırlıklandırmanın da BWM yöntemiyle örtüştüğü görülmüştür. Bunu test etmek amacıyla her iki yöntemin vermiş olduğu kriter ağırlıklılarıyla ile program üzerinden analizler tekrarlanmıştır. Buna göre her iki ağırlık değerlerine göre sonuçların değişmediği görülmüştür. Ancak literatürde BWM yöntemi yaygın olarak kullanıldığından analizde bu yöntem ile hesaplanan değerler kullanılmıştır.

### 3.2.2. Yağmur Suyu Hasat Miktarının Hesaplanması

Yağmur suyu hasadında elde edilecek su miktarının belirlenmesinde, çatı katsayısı, filtre etkinlik katsayısı, konuma ait yağış miktarları ve hasadın yapılacağı toplama alanı gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu terimler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

*Çatı katsayısı:* Çatı katsayısı, toplanma alanına düşen yağmurun toplanabilme kapasitesine göre belirlenen bir katsayıdır. Bu katsayı Çizelge 3.7’de gösterildiği üzere çatıyı kaplayan malzemelere göre değişiklik göstermektedir.



Çizelge 3.7. Çatı kaplama malzemesine göre çatı katsayıları [131].

Çatı Malzemesi	Çatı Katsayısı
Beton	0,70
Metal	0,90
Kiremit	0,90
Mermer (sırlı fayans)	0,90

Filtre etkinlik katsayısı: Çatıdan elde edilecek yağmur suyunun görünür katı maddelerden ayrılması için geçirilecek ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Yağmur suyunun bir miktarının filtreden geçerken, kaybolması durumuna yönelik belirlenir. DIN1989 standartına göre 0,9 olarak belirtilmektedir.

Yağmur toplama alanı: Yağmur suyu hasadı yapılacak olan yapıya ait çatı alanıdır.

Yağış miktarı: Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen ortalama yıllık yağış miktarıdır.

Yukarıdaki veriler ışığında yapıda yağmur suyu hasadı miktarı Eşitlik 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\Sigma W = A \times M \times \alpha \times \beta \quad \text{Eş.3.1}$$

$\Sigma W$ : Toplam Yağmur suyu hasadı ( $m^3$ )

A: Yağmur suyu toplama alanı ( $m^2$ )

M: Yağış miktarı ( $mm/m^2$ )

$\alpha$ : Çatı katsayısı (0,8)

$\beta$ : Filtre etkinlik katsayısı (0,9)

SYM meydanından elde edilecek yıllık su miktarı Eş.3.1 yardımıyla hesaplanmış ve  $1,174 m^3$  olarak belirlenmiştir.

### 3.2.3. Üst Örtü Tasarımı

Karabük Üniversitesi SYM için önerilen üst örtü sisteminde en etkin şekilde yağmur suyu hasadı yapılabilmesi için örtüye iç bükey eğim verilmiştir. Örtü üzerine düşecek yağmur suyu örtü üzerinde birikmeden eğimli bölmeye akarak buradan toplaçlarla toplanacaktır. Daha sonra örtünün taşıyıcı sistemi üzerindeki oluklar aracılığıyla meydan alanında bulunan mazgallara direkt yönlendirilecektir. Ayrıca meydan alanındaki örtü ile su hasadı ve ısı adası etkileri azaltılırken aynı zamanda yaşanabilir bir alan oluşturulması hedeflenmiştir. Hakim rüzgar yönünün etkili olduğu güneybatı yönündeki açıklıklar ile örtü içerisinde hava sirkülasyonu sağlanarak ferah bir alan oluşturulmuştur. Böylelikle su hasadı sağlanırken, üst örtüde kullanılacak optimum malzeme ile ısı adası etkisinde azaltılacak ve yağmur suyunun buharlaşmasının önüne geçilecektir.

## BÖLÜM 4

### BULGULAR

#### 4.1. MEYDAN ALANINA ÜST ÖRTÜ ÖNERİSİ

Bu çalışma ile Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam merkezinin meydan alanından (Şekil 3.1) kullanılmak üzere yağmur suyu hasad edilecektir. Ancak meydan alanının zemin özellikleri nedeniyle elde edilecek su miktarında kayıplar yaşanacağı düşünülmektedir. Bu kayıpların nedenleri şunlardır:

- Isı adası kaynaklı yaşanan buharlaşma,
- Meydandaki yaya trafiği,
- Oluşacak su birikintileri,
- Zeminin tam düz olmaması nedeniyle oluşan birikintilerin hasad edilememesidir.

Yaşanan bu kayıpların elde edilecek yağmur suyu miktarını azaltacağı ve meydanın kentsel ısı adası oluşturacağı ön görülmektedir. Bu ön görüye dayalı olarak meydana uygun bir örtü sistemi önerilmektedir. Bu örtü sistemine ait görseller bölüm 4.1.1’de detaylı şekilde gösterilmektedir.

##### 4.1.1. Üst Örtü Tasarım Denemesi

Karabük Üniversitesi SYM için önerilen örtü sistemine ait görseller Şekil 4.1 ve Şekil 4.4 aralığında gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sosyal Yaşam Merkezi üst örtü tasarım denemesi.



Şekil 4.2. Sosyal Yaşam Merkezi üst örtü tasarım denemesi.

#### **4.1.2. Kentsel Isı Adası Özelliği Yüksek Olan Meydanda Üst Örtü İçin En İyi Malzemenin Belirlenmesi**

Çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerden hesaplanan değerler Visual Promethee Academic Edition programı ile analiz edilmiştir. İlk aşamada kriterler ve alternatifler belirlenmiş ve karar matrisi oluşturulmuştur. Her bir kriterin ağırlıkları toplam 92 uzman ve akademisyene uygulanan anket sonucunda elde edilen verilere göre

hesaplanmıştır (Şekil 3.4). Daha sonra uygulama için uygun olan tercih tipi fonksiyonları belirlenerek analiz yapılmıştır.

Çalışmada öncelikle alternatif malzemeler ve kriterleri içeren karar matrisleri oluşturulmuştur. Yağmur suyu hasadı için optimum malzeme seçiminde kullanılacak kriterler; birim fiyat, çatı etkinlik katsayısı, albedo değeri, termal iletkenlik, öz ısı ve emisivite değerleri olarak belirlenmiş olup birim fiyat için doğrusal diğer kriterler için v-shape tercih tipi fonksiyonları kullanılmıştır. Karar matrisleri oluşturulduktan sonra tüm kriterler için değişim fonksiyonları belirlenmiştir. Daha sonra her bir kriterin ağırlığı anket aracılığıyla elde edilen uzman ve akademisyen görüşlerine göre belirlenmiştir.

Şekil 4.3’de Visual Promethee Academic programında yer alan kriterler, değerlendirme sırasında kriterlerin ağırlıklandırılması, tercih fonksiyon tipleri gibi kullanılacak olan ölçütler ve minimum, maksimum, ortalama, standart sapma gibi istatistiki değerleri gösteren ekran görüntüsü yer almaktadır.

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Scenario1</b>	<b>Fiyat</b>	<b>Çatı etkinlik</b>	<b>Albedo</b>	<b>Termal iletke...</b>	<b>Özısı</b>	<b>Emisivite</b>
Unit	TL	unit	a	W/m K	J/kg°C	ti
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>						
Min/Max	min	max	max	min	min	max
Weight	0,14	0,15	0,14	0,28	0,14	0,15
Preference Fn.	Linear	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	439,60	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	900,65	0,04	0,44	141,399	1,199	0,54
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Statistics</b>						
Minimum	19,30	0,85	0,21	0,120	0,480	0,20
Maximum	1500,00	0,90	0,86	230,000	2,301	0,95
Average	372,91	0,89	0,62	29,152	1,294	0,79
Standard Dev.	427,34	0,02	0,21	68,734	0,582	0,25

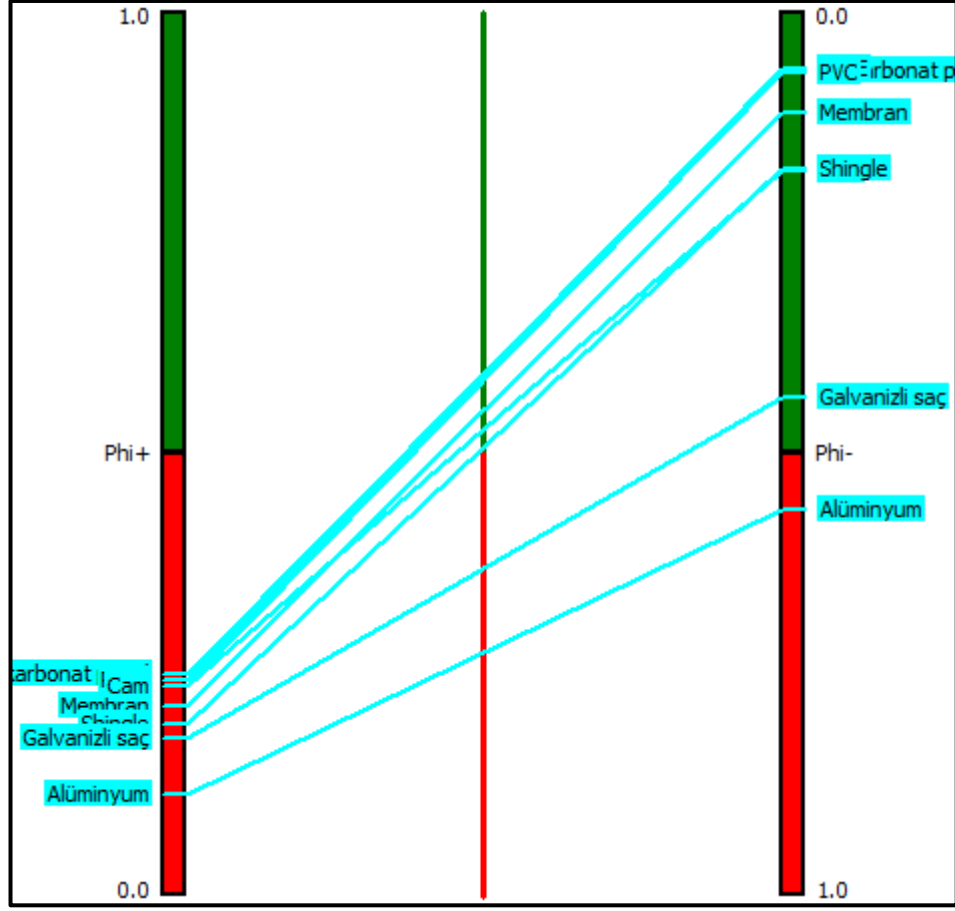
Şekil 4.3. Visual Promethee Academic görüntüsü.

Termal iletkenlik kriterinin ağırlıklandırması 0,28 iken fiyat, albedo ve özısı 0,14 0,14 olarak ağırlıklandırılmıştır. çatı etkinlik ve emisivite ise 0,15 olarak ağırlıklandırılmıştır. Fiyat kriteri için doğrusal fonksiyon tipi tercih edilirken diğer kriterler için V-tipi tercih edilmiştir. Çalışmada fiyat kriteri hariç diğer tüm kriterlere ait değerlerin birbirine çok yakın olması, çok küçük farkları bile önemli hale getirmiştir. Bu nedenle tercih ortalamasının üstünde değere sahip karar noktalarından yana olsa da bu değer altındaki değerler de ihmal edilmek istenmemektedir. Birim fiyat, termal iletkenlik, öz ısı kriterleri için minimum değerler tercih edilirken çatı etkinlik katsayısı, albedo, ve emisivite kriterleri için maksimum değerler tercih edilmiştir. Şekil 4.4’de yağmur suyu hasadı için optimum çatı malzemesi alternatifleri için belirlenen kriterler için kullanılan değerler yer almaktadır.

Scenario1		Fiyat	Çatı etkinlik	Albedo	Termal iletke...	Özısı	Emisivite
Unit		TL	unit	a	W/m K	J/kg°C	ti
Cluster/Group		◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Evaluations</b>							
<input checked="" type="checkbox"/>	Cam	1500,00	0,90	0,70	1,000	0,753	0,84
<input checked="" type="checkbox"/>	Membran	311,00	0,90	0,76	0,138	2,092	0,95
<input checked="" type="checkbox"/>	Alüminyum	445,00	0,85	0,75	230,000	0,897	0,20
<input checked="" type="checkbox"/>	PVC	400,00	0,90	0,83	0,167	1,674	0,95
<input checked="" type="checkbox"/>	PTFE	622,00	0,90	0,69	5,560	1,004	0,95
<input checked="" type="checkbox"/>	Polikarbonat panel	29,80	0,90	0,86	0,192	1,674	0,95
<input checked="" type="checkbox"/>	Shingle	24,00	0,90	0,21	0,120	1,260	0,85
<input checked="" type="checkbox"/>	Galvanizli sac	19,30	0,85	0,40	53,000	0,480	0,40

Şekil 4.4. Promethee çalışma sayfasında yer alan alternatiflerin değerleri.

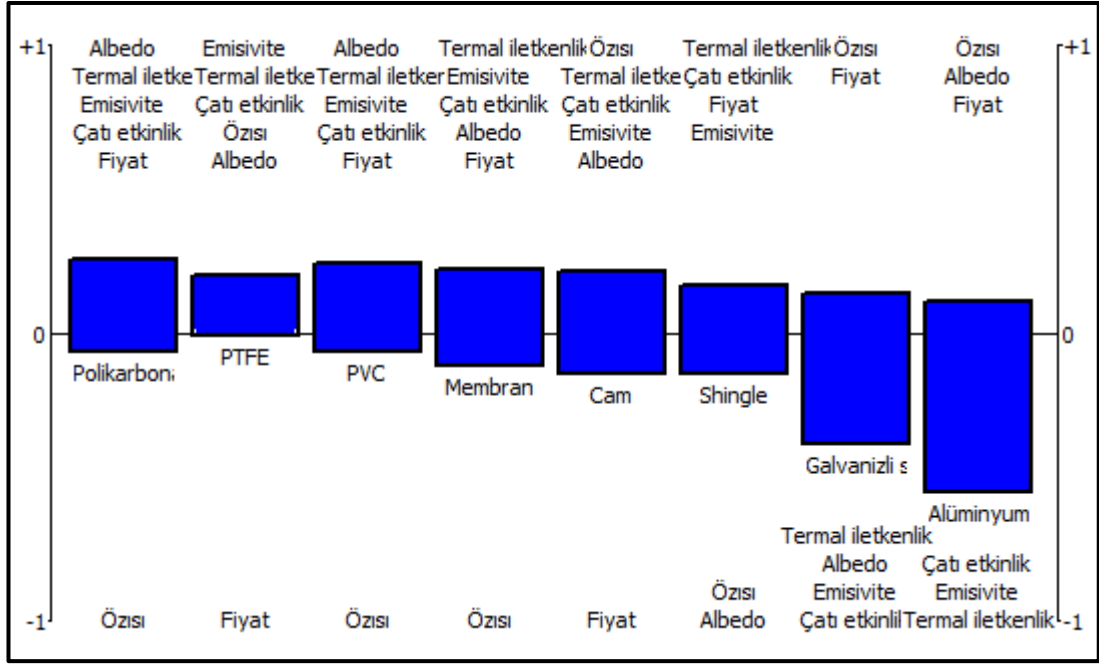
Şekil 4.5’de malzemelere ait Promethee I (kısmi sıralama) sonuçları yer almaktadır.



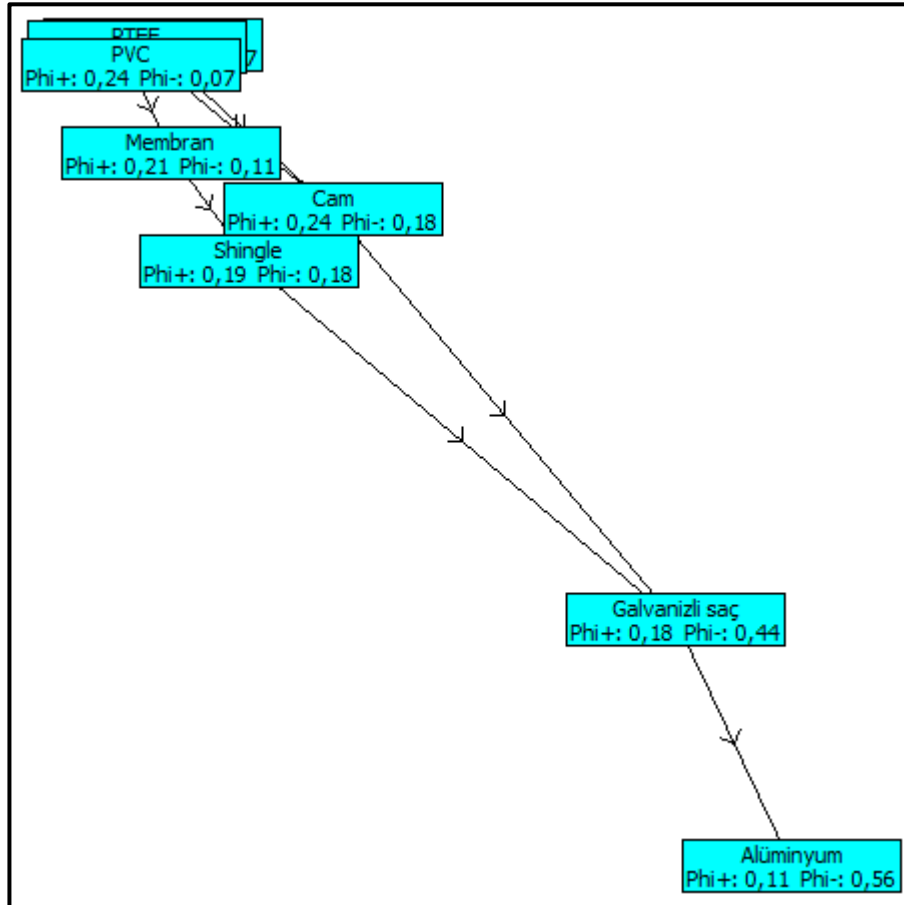
Şekil 4.5. Üst örtü çatı yüzeyi malzemesi alternatifleri-Promethee I (Kısmi Sıralama).

Kısmi sıralamada ölçülen her alternatif için +1 ile -1 arasındaki pozitif ve negatif değerleri hesaplanmaktadır. Pozitif değer, tartışılan alternatifin diğer alternatiflere göre olumlu avantajını gösterirken, negatif değer, tartışılan alternatifin diğer alternatiflere kıyasla ne kadar zayıf olduğunu göstermektedir. Çatı malzemelerine ait Kısmi Sıralama analiz sonucu polikarbonat panel ve PTFE malzemelerinin diğer alternatiflere göre pozitif üstünlükleri bulunduğunu fakat sonda yer alan alüminyumun diğer alternatiflere göre negatif değerleri olduğunu ve bu malzemenin ne ölçüde zayıf kaldığını göstermektedir.

Şekil 4.6'da malzemelerin pozitif ve negatif üstünlükleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Hangi malzemenin hangi faktör yönünden pozitif hangi faktör yönünden negatif özellikte olduğu görülmektedir.



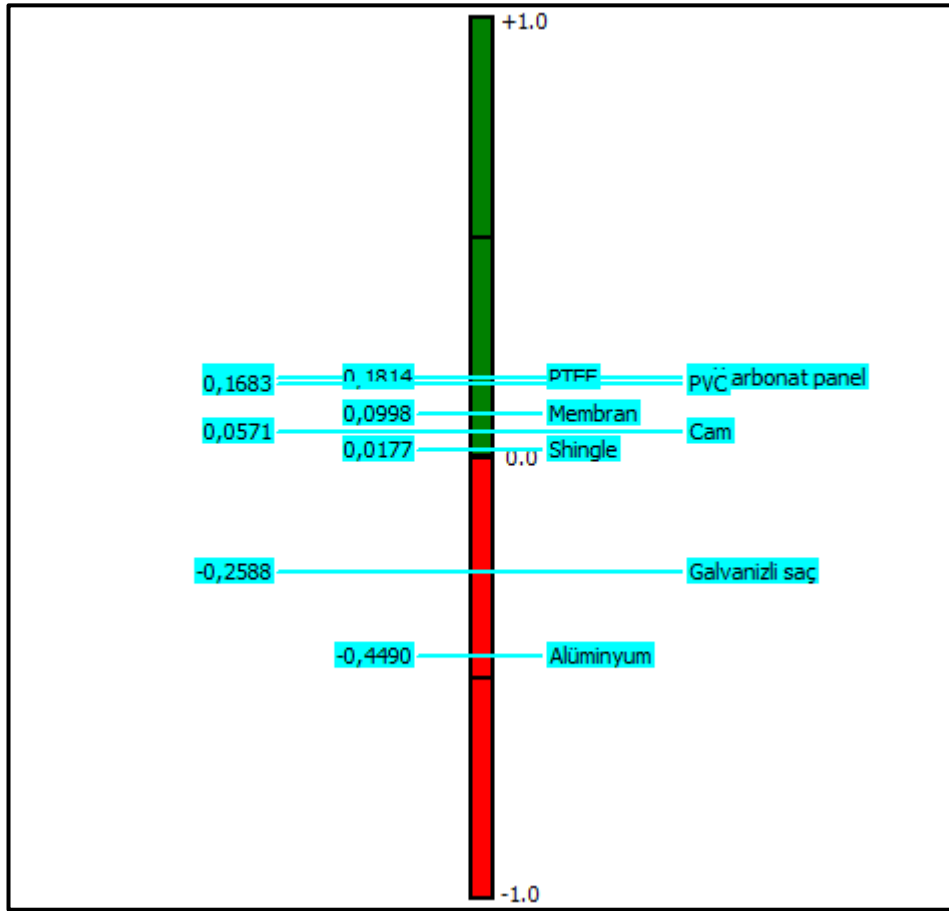
Şekil 4.6. Malzemelerin negatif pozitif üstünlük değerleri.



Şekil 4.7. Network diyagramı.



Şekil 4.7’de Network diyagramı incelendiğinde de polikarbonat panel alternatifinin pozitif üstünlük ve negatif üstünlükler bakımından diğer alternatiflerden daha üstün durumda olduğu görülmektedir. Ancak alüminyumun hem pozitif hem de negatif üstünlük değerleri diğer alternatiflere göre daha düşük olduğundan en kötü alternatif olarak konumlandırılmıştır. Şekil 4.8’de malzemelere ait Promethee II (Tam Sıralama) sonuçları yer almaktadır.



Şekil 4.8. Çati malzemesi alternatifleri-promethee II (Tam Sıralama).

Promethee I Kısmi Sıralamada en uygun seçim yapılırken, son sıradaki tercihler belirlenirken ortadaki alternatifler arasında net bir karşılaştırma yapılamamaktadır. Bu nedenle alternatifleri sıralamak için Promethee II (Tam Sıralama) yöntemi kullanılmaktadır. Promethee II (Tam Sıralama) ile negatif üstünlük değerlerinin pozitif üstünlük değerlerinden çıkarılmasıyla bulunan net üstünlük değerlerine göre sıralama yapılır. Promethee II ile 0 ile +1 arası değerler tercih edilecek ilk değerlerdir.

Bu sıralama yöntemiyle seçilen kriterler doğrultusunda analiz edilen alternatifler arasından en uygun malzeme belirlenmektedir. Şekil 4.8’de yer alan sıralama sonucuna göre polikarbonat panel (0,1836) ve PTFE (0,1814) malzemeleri pozitif net üstünlük değeri ile tercihler arasında ilk sırada yer alırken galvanizli sac (-0,2588) ve alüminyum (-0,4490) negatif net üstünlük değerleri ile son sırada yer almaktadır.

Şekil 4.9’da çalışmada yer alan malzemelere ait alternatiflerin Promethee II Tam Sıralama sonucuna göre oluşturulan Promethee Akış Tablosu yer almaktadır.

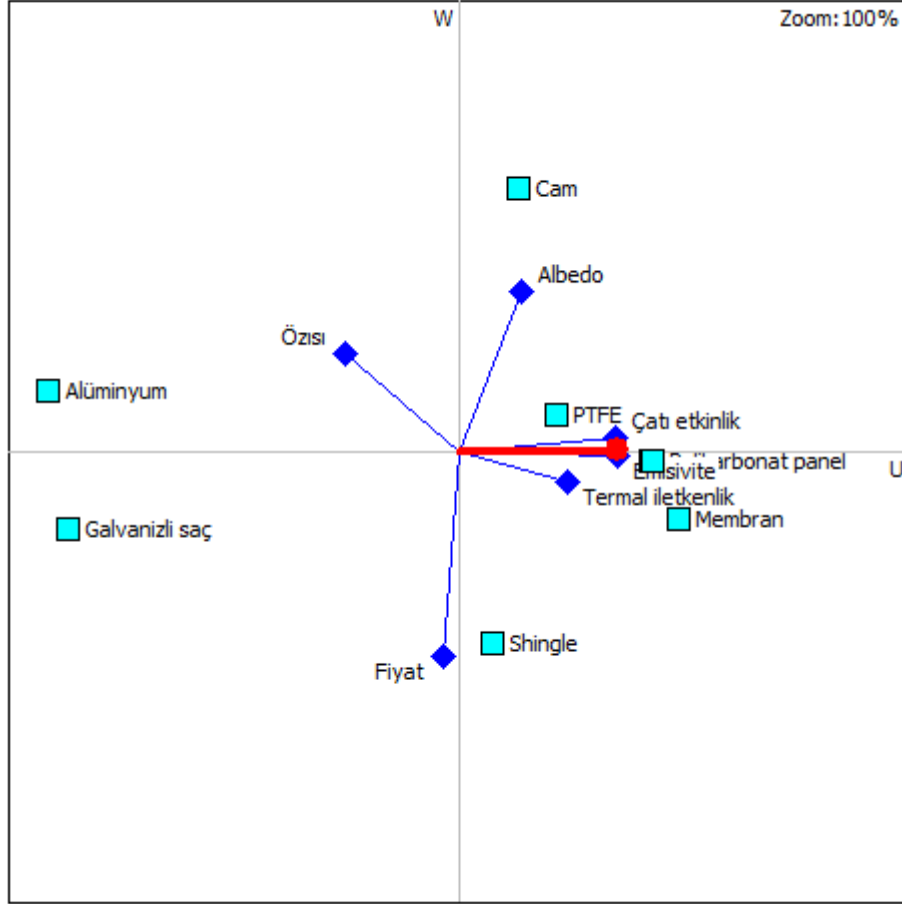
Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Polikarbonat panel	0,1836	0,2500	0,0664
2	PTFE	0,1814	0,2443	0,0629
3	PVC	0,1683	0,2360	0,0677
4	Membran	0,0998	0,2133	0,1136
5	Cam	0,0571	0,2375	0,1804
6	Shingle	0,0177	0,1939	0,1762
7	Galvanizli sac	-0,2588	0,1767	0,4354
8	Alüminyum	-0,4490	0,1144	0,5634

Şekil 4.9. Çatı malzemesi alternatifleri-promethee akış tablosu.

Bu tablo Phi, Phi- ve Phi+ değerlerini içermekte ve Promethee II tablosunda gösterilen alternatiflerin Phi değerlerine göre sıralaması gösterilmektedir. Phi değerleri, Phi+ (pozitif avantaj değerleri) Phi- (negatif üstünlük değerleri) çıkarılarak elde edilen net üstünlük değerlerini ifade eder.

Çalışma sonucunda Polikarbonat panel net üstünlük değeri 0,1836 ile ilk tercih edilen çatı malzemesi olurken alüminyum çatı malzemesi -0,4490 ile son sırada tercih edilmektedir. Ayrıca bu analiz sonucuna göre sırası ile polikarbonat panel, PTFE, PVC, membran ve camın net üstünlük değerleri pozitif oldukları için öncelikle tercih edilen malzemeler olacaktır. GAIA düzlemi PROMETHEE sonuçları

üzerine inşaa edilen grafik gösterimdir. Bu düzlem karar vericilere hızlı, sade ve anlaşılır bir bakış açısı sunar. GAIA düzleminde sonuçların iki boyutlu düzlem üzerinde görülmesi farklı bir yaklaşım ile sonuçların incelenmesini sağlar. Şekil 4.10'da da çatı malzemesi alternatiflerinin GAIA düzlemindeki görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 4.10. Çatı malzemesi alternatifleri-gaia düzlemi.

Promethee GAIA düzlemi, karar vericilerin kriterlerin ağırlıklarını belirlerken subjektif davranmasını engellemek veya paralel/çelişkili kriterleri incelemek amacıyla geliştirilmiştir. GAIA düzlemi, ÇKKV süreçlerinde problemlerin çözümünü iki boyutlu olarak ifade etmek için kullanılan temsil formudur. Bu düzlem aynı yönde hareket eden alternatif ve kriter vektörleri ile ters yönde hareket eden alternatif ve kriter vektörleri arasındaki uyumsuzluğu göstermektedir. Yani tüm kriterler ve alternatifler düzlemde görülmekte, hangi kriterin hangi alternatif ile aynı yönde olduğu veya ters ilişki içinde olduğu gözlemlenerek daha sağlıklı kararlar

alınmasını sağlamaktadır. GAIA düzlemi, karar vericilerin önem verdikleri kriterlere göre hangi malzemeyi seçmelerine yardımcı olurken, tüm alternatifleri tek bir düzlemde bir araya getirme konusunda karar vericilere fikir sahibi olmaları için rehberlik etmektedir. Düzlemde yatay eksene yakın olan kalın çizgi karar vericiler için en uygun alternatifi göstermektedir. Optimal çizgiye yakın değerler, dikkate alınan kriterlere göre seçilecek işletmeleri gösterir.

Buna göre Şekil 4.10'da yer alan düzlemde optimal sonucu gösteren kırmızı kalın çizgiye en yakın olan polikarbonat panel, PTFE ve PVC en uygun malzemeler olarak tespit edilmiştir. İnce olarak gösterilen çizgilere yakın olan kriterlere yakın olan malzemeler ise ele alınan kriter için öncelikle tercih edilmesi gereken malzemeyi göstermektedir. Çalışmamızda, termal iletkenlik, çatı etkinlik ve emisivite değerlerine göre tercih edilebilecek en iyi alternatif polikarbonat panel ve PVC iken albedo değerine göre camdır.

GAIA düzleminde gösterilen kalite değerinin yeşil rengi, karar vericiler için tatmin edici bir seviyeyi belirtirken, kırmızı renk, düşük bir kalite seviyesinde kriterler olduğunu göstermektedir. Çalışmamızdaki kalite değeri yeşil olmakla birlikte, performans ölçümünün başarılı sayılabilmesi için en az% 70 olması gerekmektedir. Analiz sonucuna göre elde edilen % 75,9 kalite değeri ölçümün başarılı olduğunu kanıtlamaktadır.

#### **4.1.3. Önerilen Malzemelere Yönelik Toplanabilen Yağmur Suyu Miktarı**

Üst örtü çatı yüzeyinde kullanılması önerilen malzemelere yönelik hasad edilebilecek yağmur suyu miktarı Çizelge 4.1' de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Önerilen malzemelerle hasad edilebilecek yağmur suyu miktarı.

<b>MALZEMELER</b>	<b>Hasad Edilen Su Miktarı(m3)</b>
<b>Cam Membran PVC PTFE Polikarbonat panel Shingle</b>	1,174 m <sup>3</sup>
<b>Alüminyum Galvanizli saç</b>	1.109 m <sup>3</sup>

Cam, membran, PVC, PTFE, polikarbonat panel ve shingle malzemeleri ile 1,174 m<sup>3</sup> su hasad edilebilmektedir. Diğer malzemeler olan alüminyum ve galvanizli saç ile önerilen örtü sisteminde ise 1,109 m<sup>3</sup> su hasat edilmektedir. Mevcut durumda hasad edilecek su miktarı; meydan alanında oluşacak sıcaklık değişimine ve ısı adasına bağlı buharlaşma, yoğun yaya trafiği bölgesi olması sebebiyle oluşacak su kayıpları, su birikintileri ve mevcut alanın zemininde bulunan bozukluklar sebebiyle azalacaktır. Bu sebeple suyun verimli şekilde toplanabilmesi ve su kayıplarının azaltılabilmesi açısından bir üst örtü önerilmektedir. Cam, membran, PVC, PTFE, polikarbonat panel ve shingle da çatı etkinlik katsayısı yüksek olduğundan daha fazla miktarda su toplanabilirken, Alüminyum ve galvanizli saç’da çatı etkinlik katsayısı düşük olduğundan diğer malzemelere göre daha az miktarda su toplanabilmektedir.

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Su, insanın temel ihtiyaçlarını karşılamasının yanı sıra ülkelerin gelişmesinde de en önemli etkidir. Yenilenebilen bir kaynak olmasına rağmen; plansız ve hızlı kentleşme, kaynakların bilinçsiz şekilde kullanımı, endüstriyel kirlilik ve iklim değişikliği gibi sebepler ülkeler arasında su krizlerine neden olmaktadır. Henüz Türkiye su açısından avantajlı ülkeler arasında görünse de kişi başına düşen su miktarı gün geçtikçe azalmaktadır. Nüfus artışı ve kentleşme sonucunda yaşanan su kıtlığı her ne kadar doğal karşılanırsa da günümüz teknolojisi bu soruna çeşitli çözüm yolları üretmek için çabalamaktadır. Bu çabalar neticesinde ortaya çıkan YST sistemlerinin sürdürülebilirlik ve su korumunu açısından önemi oldukça büyüktür.

Tasarım aşamasında veya kullanım aşamasındaki bir binaya entegre edilebilecek yağmur suyu hasat sistemi ile yağmur suyunun atık su olarak kanalizasyona gönderilmesi son bulacak, yapının temizlik ve bitki sulamasında kullanılması ile suyun etkin kullanımı ve su kıtlığının azaltılmasına en büyük çözüm olacaktır. Bu bağlamda çalışma kapsamında Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi meydanından yağmur suyu hasadı gerçekleştirilmek istenmiştir. İlk olarak meydana hasad edilebilecek yağmur suyu miktarı hesaplanmıştır. Ardından meydan zemininin bozuk olması, sıcak günlerde meydana kentsel ısı adası oluşacağı, bu nedenle de hem buharlaşmayı hem de kentsel ısı konforu olumsuz etkileyeceği gibi dezavantajlardan dolayı meydana üst örtü sistemi önerilmiştir.

Revit programıyla tasarlanan örtü sistemine optimum malzeme araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda belirlenen malzeme alternatifleri cam, membran, alüminyum, PVC, PTFE, polikarbonat panel, shingle ve galvanizli sac iken bu alternatiflerin belirlenmesinde ön plana çıkan kriterler ise malzemelerin maliyeti, çatı etkinlik katsayısı, albedo değeri, termal iletkenlik, öz ısı ve emisivitedir. Sosyal Yaşam

Merkezi su hasadı alanı için tasarlanan örtü sistemine önerilen çatı malzemesinin karar aşamasında seçime etki eden birçok kriter olduğu görülmektedir. Bu kriterlerin birbirine göre önem dereceleri karar vericiyi en uygun alternatife götürecektir. Ancak alternatifler arasından en iyiyi seçebilmek oldukça zordur. Her alternatifin birbirine karşı farklı üstünlükleri olabilir. Bu tür problemlere kesin çözümler bulmak zor olduğundan bazı kriterler minimize edilirken bazıları da maksimize edilmektedir. Bu gibi durumlarda amaca uygun optimum en yakın seçimin yapılmasına imkan sağlayacak olan PROMETHEE, fonksiyonu yüksek bir karar verme ve sıralama yöntemidir. Bu doğrultuda çalışmada en uygun çatı malzemesi seçimine etken bu kriterleri dikkate almak için “PROMETHEE” çok kriterli karar verme tekniği kullanılmıştır. İlk aşamada kriterler ve alternatifler belirlenerek karar matrisi oluşturulmuştur. Her bir kriterin ağırlıkları toplam 92 uzman ve akademisyene uygulanan anket sonucunda elde edilen verilere göre hesaplanmıştır. Daha sonra uygulama için uygun olan tercih tipi fonksiyonları belirlenerek analiz yapılmıştır.

Bu analiz sonuçlarına göre:

- Cam, fiyatı yüksek olmasına rağmen albedo ve çatı etkinlik katsayısı yüksek bir malzemedir.
- Membran, çatı etkinlik katsayısı, albedosu yüksek ve termal iletkenliği ile fiyatı düşük bir malzeme olduğundan tercih edilebilecek malzemelerdendir.
- PVC, fiyatı yüksek olmasına rağmen çatı iletkenliği, albedo ve termal iletkenlik değerleri açısından tercih edilebilecek bir malzemedir.
- PTFE, çatı etkinlik ve değeri ve albedo açısından tercih edilebilir bir malzeme olsa da fiyatı diğerlerine göre oldukça yüksektir.
- Polikarbonat panel, çatı etkinlik katsayısı termal iletkenlik ve albedo değerleri ve aynı zamanda fiyat açısından da tercih edilebilir bir malzemedir.

- Shingle, fiyat ve çatı etkinlik katsayısı açısından ideal bir malzeme olsa da albedo değeri oldukça düşüktür.
- Alüminyum, albedo ve çatı etkinlik katsayısının yüksek olması sebebiyle tercih edilebilecek bir malzemeyken fiyat ve termal iletkenliği oldukça yüksek bir malzemedir.
- Galvanizli sac ise fiyat, çatı etkinlik sayısı ve termal iletkenlik açısından ideal bir malzeme olmasına rağmen albedo değeri seçilen malzemeler arasında en düşüktür.

Tüm bu değerler bir araya getirilip üstünlük değerlerine bakıldığında polikarbonat panel net üstünlük değeri (0,1636) ile ilk sırada tercih edilen çatı malzemesi olurken alüminyum ise (-0,4463) değeri ile en son tercih edilmesi gereken çatı malzemesi olmuştur. Ayrıca bu analiz sonucuna göre sırası ile polikarbonat panel, PTFE, PVC, membran ve camın net üstünlük değerleri pozitif oldukları için öncelikle tercih edilebilecek malzemeler olmuştur.

Dünya genelinde baş gösteren su kıtlığı sorunu kısa süre içerisinde ülkemizde de yaşanacaktır. Ülkeler su ihtiyaçlarını sadece barajlarda depolayarak çözemeyeceğini anlamıştır. Yağışların çok az olduğu dönemlerde ise halkı bilinçlendirerek veya su tüketimini sınırlayan bazı yasaklar ile bu sorunu çözüme yoluna gitmektedir. Ancak son yıllarda yaşanan şiddetli kuraklar ile bunların geçici çözüm olduğu anlaşılmıştır. Modern ülkeler kalıcı çözüm üretmek amacıyla sürdürülebilir enerji ve su kaynaklarına yönelmektedir. Bu noktada yağmur suyu hasadını sağlamak için mimari çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Kendi kendine yetebilen yapılar kalıcı çözüm sunan seçeneklerdendir. Yapılan çalışmada yağmur suyu toplama sistemi ile suyun etkin kullanımı ve kaynak korunumu sağlanmıştır. Aynı zamanda meydan alanında oluşan kentsel ısı adası etkisi azaltılarak sürdürülebilirlik ilkeler kapsamında kentsel tasarım alanı planlaması yapılmıştır. Çalışma, kamu alanlarında veya şehir merkezlerinde kullanılan meydan alanları konusunda toplumsal farkındalık oluşturacak diğer kampüs alanları için de örnek temsil edecektir. Yağmur suyu toplama sistemleri yapılara sonradan entegre edilen sistemler değil yapının tasarım



aşamasında yapıyla birlikte düşünülmesi gereken sistemlerdir. Yapının çatı kurgusu yağmur suyu hasadı yapılabilecek şekilde düşünülmelidir. Böylece sürdürülebilir mimarlık alanındaki kaynak korunumu ilkesi de sağlanmış olacaktır.

Bundan sonraki çalışmalarda, önerilecek üst örtü ya da çatı malzemesine iklim koşulları da dahil edilerek malzeme, malzeme kriterleri ve çatı şekilleri seçenekleri artırılabilir. Böylece yağmur suyu hasadı ve kentsel ısı adası etkisi en etkin şekilde sağlanabilecektir. Elde edilen tespitler sonucunda, Türkiye’inde içerisinde bulunduğu su sıkıntısının yağmur suyu sistemlerinin önemini artırdığı açıkça görülmektedir. Yağmur suyu toplama sistemlerinin uygulanabilirliği açısından sistemler hakkında yeterince bilgi edinilmeli, sağlanacak teşvik ve farkındalıklarla birlikte sistemlerin kurulumuna destek olunmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), “Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, *Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018*, Ankara. (2014).
2. İnternet: UNDP (United Nations Development Programme-Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı), “UNDP Sustainable Development Goals 2030”, [www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development](http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development) (2015).
3. Jones, M. P. and Hunt, W. F., “Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States Resources”, *Conservation and Recycling*, 54(10), 623-629 (2010).
4. Rowe, M. P., “RainWater Harvesting in Bermuda”, 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 47(6), 1219-1227 (2011).
5. Baysan, O., “Sürdürülebilirlik kavramı ve mimarlıkta tasarıma yansımaları”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2003).
6. Yetkin, E. G., “Sürdürülebilir mimarlık kapsamında yapılarda su korunumu stratejileri”, *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 2(2), 70-78 (2019).
7. Gerede, G., “Sürdürülebilir konut ve yakın çevresi tasarımı”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2003).
8. Şenel, A., “Sürdürülebilir bina yapım ilkelerinin ve yeni yaklaşımların incelenmesi”, Doktora Tezi, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
9. Çelebi, G., “Environmental discourse and conceptual framework for sustainable architecture”. *Gazi University Journal of Science*, 16(1), 205-216 (2003).
10. Sev, A., “How can the construction industry contribute to sustainable development?” *A conceptual framework. Sustainable Development*, 17(3), 161-173 (2009).
11. Özmehmet, Ö. G. E., “Avrupa ve Türkiye’deki Sürdürülebilir Mimarlık Anlayışına Eleştirel Bir Bakış”, *Journal of Yaşar University*, 2(7), 809-826 (2007).
12. Karahan, A., “Gri Suyun Değerlendirilmesi”, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 1155- 1164 (2011).

13. Tonguç B., “Sürdürülebilir Tasarımın Okul Öncesi Eğitim Yapıları Örneğinde İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2012).
14. Aküzüm, T., Çakmak, B. and Gökalp, Z., “Türkiye’de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi”, *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 3(1), 67-74 (2010).
15. İnternet: “Harvesting Rainwater For Domestic Uses: An Information Guide” Environment Agency, Almondsbury, Bristol, [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk) (2008).
16. Ghaffarian Hoseini, A., Tookey, J., A., Yusoff, S. M. and Hassan, N. B., “State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review”, *Desalination and Water Treatment*, 57(1), 95-104 (2016).
17. Steffen, J., Jensen, M., Pomeroy, C. A. and Burian, S. J., “Water supply and stormwater management benefits of residential rainwater harvesting in US cities”, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(4), 810-824 (2013).
18. Arango Calderón, J., “On the design of rainwater harvesting and greywater recycling systems for urban areas”, Master Thesis, *Universidad de los Andes Colombia Seneca Repositorio Institucional* (2017).
19. Tanık, A., Öztürk, İ. ve Cüceloğlu, G., “Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri”, (El Kitabı). 2. Baskı. *Türkiye Belediyeler Birliği*, Ankara, Türkiye (2016).
20. Rojas, P. J. K., “Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda”, Master Tesis, *Universidad Rafael Landívar facultad de Ingeniería Civil Administrativa*, Guatemala (2004).
21. Kurtay, C. and Najifar, P., “Harvesting feasibility of rainwater in buildings”, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 6(1), 144-153 (2018).
22. Üstün, G.E., Tırpancı, A., “Gri Suyun Arıtımı ve Yeniden Kullanım”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 20, Sayı 2: 119-139 (2015).
23. Karadağ A.A., “Türkiye’deki su kaynakları yönetimine ilişkin sorunlar ve çözüm önerileri”, *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, Ankara (2008)
24. İnternet: Center for Neighborhood Technology (CNT), “The Case For Fixing The Leaks: Protecting People And Saving Water While Supporting Economic Growth In The Great Lakes Region”, 1-14, [https://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT\\_CaseforFixingtheLeaks.pdf](https://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_CaseforFixingtheLeaks.pdf) (2013).

25. Heggen, R. J., "Rainwater catchment and the challenges of sustainable development", *Water Science And Technology*, 42(1-2), 141-145 (2000).
26. Lawson, S., LaBranche-Tucker, A., Otto-Wack, H., Hall, R., Sojka, B., Crawford, E., and Brand, C., "Virginia rainwater harvesting manual", 2nd edn, *The Cabell Brand Center*, Salem, (2009).
27. Sawant, R., "Development of a Rainwater Harvesting Model Using HEC-HMS", Master Thesis, *The Pennsylvania State University The Graduate School Environmental Pollution Control Program*, 1-91 (2010).
28. Devkota, J. P., "Life cycle assessment of rainwater harvesting systems at building and neighborhood scales and for various climatic regions of the US", Doctoral Dissertation, *The University of Toledo Civil Engineering*, 1-196 (2015).
29. Kim, T., "Rainwater harvesting: the impact of residential-scale treatment and physicochemical conditions in the cistern on microbiological water quality", Doctoral Dissertation, *The University of Texas at Austin*, 1-125 (2017).
30. Lye, D. J., "Rooftop runoff as a source of contamination: a review", *Science of the total environment*, 407(21), 5429-5434 (2009).
31. Alpaslan, N., Tanık, A. ve Dölgen, D., "Türkiye’de Su Yönetimi Sorunlar ve Öneriler", *TÜSİAD Yayın No*, 2008-09. (2008).
32. Şahin, N. İ. ve Manioğlu, G., "Binalarda yağmur suyunun kullanılması", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 125, 21-32 (2011).
33. Tanık A., "Yağmur Suyu Toplama, Biriktirme ve Geri Kullanımı", *Su Kaynakları ve Kentler Konferansı*, Kahramanmaraş (2017).
34. İnternet: Toowoomba Region, "Rainwater tanks-new builds and retrofitted tanks", <https://www.tr.qld.gov.au/environment-water-waste/water-supply-dams/water-restrictions-conservation/13320-rainwater-tanks> (2020).
35. İnternet: Invento the Architectural & Energy Company, "Yağmur Suyu Geri Dönüşümü Nasıl Çalışır?", <https://inventoenerji.com/yagmur-suyu-geri-donusumu-nasil-calisir/> (2020).
36. Jensen, M. A., "Feasibility of rainwater harvesting for urban water management in Salt Lake City, Master Thesis, *University of Utah Department of Civil and Environmental Engineering*, 1-59 (2008).
37. Hamdan, S. M. A., "Literature based study of stormwater harvesting as a new water resource", *Water Science and Technology*, 60(5), 1327-1339 (2009).

38. Steffen, J., Jensen, M., Pomeroy, C. A. ve Burian, S. J., “Water supply and stormwater management benefits of residential rainwater harvesting in US cities”, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(4), 810-824 (2013).
39. Devkota, J., Schlachter, H., Anand, C., Phillips, R. ve Apul, D., “Development and application of EEAST: A life cycle based model for use of harvested rainwater and composting toilets in buildings”, *Journal of Environmental Management*, 130, 397-404. (2013).
40. Nations, U., “World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables”, Economic and Social Affairs / Population Division, **Working Paper No. ESA/P/WP.228** (2013).
41. Muthukumaran, S., Baskaran, K. and Sexton, N., “Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse—A case study”, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 945-952 (2011).
42. Domènech, L. and Saurí, D., “A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs”, *Journal of Cleaner Production*, 19(6-7), 598-608 (2011).
43. Imteaz, M. A., Shanableh, A., Rahman, A. and Ahsan, A., “Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia”, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 1022-1029 (2011).
44. Zhang, Y., Grant, A., Sharma, A., Chen, D. and Chen, L., “Alternative water resources for rural residential development in Western Australia”, *Water Resources Management*, 24(1), 25 (2010).
45. Eroksuz, E. ve Rahman, A., “Çok birimli binalarda yağmur suyu depoları: Üç Avustralya şehri için bir örnek olay incelemesi”, *Kaynaklar, Koruma ve Geri Dönüşüm* , 54 (12), 1449-1452 (2010).
46. Ghisi, E., da Fonseca Tavares, D. and Rocha, V. L., “Rainwater harvesting in petrol stations in Brasilia: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis”, *Resources, Conservation and Recycling*, 54(2), 79-85 (2009).
47. Kim, K. and Yoo, C., “Hydrological modeling and evaluation of rainwater harvesting facilities: case study on several rainwater harvesting facilities in Korea”, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(6), 545-561 (2009).
48. Cheng, J., Xu, Q. X., Yang, K., Liu, L. L. and Fan, Q. J., “Comparison of Foreign Urban Rainwater Resource Utilization Management Systems and Some Inspirations”, *China Water & Wastewater*, 23(12), 68-72 (2007).

49. Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K. and Han, M., “Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives”, *Water research*, 115, 195-209 (2017).
50. Schuetze, T., “Rainwater harvesting and management–policy and regulations in Germany”, *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(2), 376-385 (2013).
51. Fu, L., “Advancing rainwater harvesting systems to help mitigate the urban flooding problems in China”, Doctoral Dissertation, BLA, *Nanjing Forestry University*, China, Georgia, 1-133 (2018).
52. Özdemir, A., Pınarlık, M. ve Ercan, E., “Sürdürülebilir binalar için dünyada uygulanan devlet teşvikleri ve uygulamaların incelenmesi”, *Tübav Bilim Dergisi*, 10(1), 52-60 (2017).
53. İnternet: Projeler, “Serpentine Pavyonu 2017”, <http://www.kerearchitecture.com/projects/serpentine/> (2017).
54. İnternet: RUA Projects, “Rua Arquitectos: Évora + Rivera, Sede do Campo Olímpico de Golfe”, <http://www.rualab.com/portfolio/60,3435> (2020)
55. İnternet: Inhabitat Design, “Great Green Roof Crowns the New St. Elizabeths East Gateway Pavilion in Historic D.C.”, <https://inhabitat.com/great-green-roof-crowns-the-new-st-elizabeths-east-gateway-pavilion-in-historic-d-c/> (2013).
56. İnternet: de zeen Magazine, “Casablanca Sustainable Market Square by TomDavid Architecten”, <https://www.dezeen.com/2012/11/23/casablanca-sustainable-market-square-by-tomdavid-architecten/> (2012).
57. İnternet: Lafarge Holcim Foundation, “Primary healthcare center, near Dharmapuri, India”, <https://www.lafargeholcim-foundation.org/projects/primary-healthcare-center-near-dharmapuri-india> (2011).
58. İnternet: Archdaily Project, Kindergarten Japan, “D1 Kindergarten and Nursery / HIBINOSEKKEI + Youji no Shiro”, <https://www.archdaily.com/645730/d1-kindergarten-and-nursery-hibinosekkei-youji-no-shiro> (2015).
59. Yaman, C., “Siemens Gebze tesisleri yeşil bina”, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 1091-1101 (2009).
60. İnternet: Bilgilendirme Kitapçığı, “Eser Yeşil Binası”, <http://www.eseryesilbina.com/assets/brosur.pdf> (2019).
61. İnternet: Eser Holding Genel Merkezi, “LEED BD + C: Yeni İnşaatv3 - LEED 2009”, [www.usgbc.org/projects/eser-holding-headquarters](http://www.usgbc.org/projects/eser-holding-headquarters) (2011).

62. İnternet: Ekolojik Bina, “Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Ekolojik Bina”, [www.gastroantep.com.tr/files/ekolojik-bina-projesi.pdf](http://www.gastroantep.com.tr/files/ekolojik-bina-projesi.pdf), 1-8 (2011).
63. İnternet: LEED, “Unilever Türkiye Merkez Ofisi (Türkiye’nin ilk LEED sertifikalı projesi)”, [www.altensis.com/proje/unilever-turkiye-merkez-ofisi-turkiyenin-ilk-leed-sertifikali-projesi/](http://www.altensis.com/proje/unilever-turkiye-merkez-ofisi-turkiyenin-ilk-leed-sertifikali-projesi/) (2015).
64. İnternet: Piri Reis Üniversitesi Kampüsü, “Türkiye’nin İlk ve Tek BREEAM Sertifikalı Yeşil Kampüsü”, <https://www.pirireis.edu.tr/yesil-kampus> (2019).
65. İnternet: Piri Reis Üniversitesi, “Kreatif Mimarlık, Yapımı 2014 Yılında Biten Üniversite Projesini Anlatıyor”, <https://www.arkiv.com.tr/proje/piri-reis-universitesi/2167>, (2020).
66. İnternet: BREEAAM, “Green Buildings Pay, Investors and Developers are Using Sustainability to Drive Value”, <https://tools.breeam.com/filelibrary/Briefing%20Papers/Green-Buildings-Pay--Property-EU-supplement---Expo-Real-2014.pdf> (2014).
67. İnternet: LEED, “LEED Professional Credentials”, <http://www.usgbc.org/credentials>, (2020).
68. İnternet: LEED, “LEED Rating System”, <https://www.usgbc.org/leed> (2020).
69. İnternet: Çedbik, “Çevre Dostu Yeşil Binalar-BEST”, <https://cedbik.org/> (2017).
70. Rüksan T., “Bina Sertifika Sistemleri”, *Ege Mimarlık Dergisi*, (83), 20-23 (2013).
71. Oke, T. R., “The energetic basis of the urban heat island”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24 (1982).
72. Streutker, D. R., “A study of the urban heat island of Houston”, Doctoral Dissertation, *Diss., Rice University*. Texas (2003).
73. Ferguson, B., Fisher, K., Golden, J., Hair, L., Haselbach, L., Hitchcock, D., Kaloush, K., Pomerantz, M., Tran, N., Waye, D., “Reducing urban heat islands: compendium of strategies: Cool Pavements”, *Environmental Protection Agency*, 1-39 (2008).
74. Akbari, H., “Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants”, *Environmental pollution*, 116, 119-126 (2002).
75. Gallo, K. P., McNab, A. L., Karl, T. R., Brown, J. F., Hood, J. J. and Tarpley, J. D., “The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect”, *Journal of Applied Meteorology*, 32(5), 899-908 (1993).
76. Barış, E., M., “Kent planlaması, kent ekosistemi ve ağaçlar”, *Planlama, TMMOB Şehir Palancıları Odası Yayını*, 2005/4 (34) (2005).

77. İnternet: NASA. “Climate Variability, Hydrology, and Flooding GEO”, Latin American & Caribbean Water Cycle Capacity Building Workshop Cartagena, Colombia.[https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/users/S1\\_P3\\_ClimateSystem\\_final.pdf](https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/users/S1_P3_ClimateSystem_final.pdf) (2005).
78. Heyer, W., “Witterung und Klima”, **Bauverlag GMBH**, Stuttgart. s.274 (1992).
79. Streutker, D. R., “Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas”, **Remote Sensing of Environment**, 85(3), 282-289 (2003).
80. P. Und M. Krusche, P., Althaus, D. and Gabriel, I., “Ökologisches Bauen”, **Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH**, Wiesbaden und Berlin, 1-359 (1982).
81. Parker, J. H., “Landscaping to reduce the energy used in cooling buildings”, **Journal of Forestry**, 81(2), 82-105 (1983).
82. Asaeda, T., Ca, V. T. and Wake, A., “Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere”, **Atmospheric Environment**, 30(3), 413-427 (1996).
83. Santamouris, M., “Energy and Climate in the Urban Built Environment”, **Routledge** , 145-159 (2001).
84. Akbari, H., Bretz, S., Kurn, D. M. and Hanford, J., “Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs”, **Energy and Buildings**, 25(2), 117-126 (1997).
85. Backenstow, Don E. and Richard J. Gillenwater., “High wind resistant membrane roof system”, **U.S. Patent**, No. 4,649,686, Mar. 17 (1987).
86. Taha, H., Sailor, D. J. and Akbari, H., “High-albedo materials for reducing building cooling energy use”, **Lawrence Berkeley National Laboratory Recent Work Energy and Environment Division Lawrence Berkeley Laboratory University of California Berkeley, CA 94720** (1992).
87. Albers, R. A. W., Bosch, P. R., Blocken, B. J. E., Dobbelsteen, A. A. J. F., Hove, van, L. W. A., Spit, T. J. M., Ven, van de, F., van Hooff, T. and Rovers, V., “Overview of challenges and achievements in the climate adaptation of cities and in the Climate Proof Cities program”, **Building and Environment**, 83, 1-10. (2015).
88. Akbari, H., Bell, R., Brazel, T., Cole, D., Estes, M., Heisler, G.,... ve Oke, T., “Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics”, **Environmental Protection Agency**, Washington, DC, USA, 1-22, (2008).
89. Erell, E., Pearlmutter, D. and Williamson, T., “Urban Microclimate: Designing The Spaces Between Buildings”. **Routledge** (2012).



90. Oke, T. R., "Boundary Layer Climates 2nd.", *Methuen and Co. Ltd.*, New York, (1987).
91. Oke, T. R., "The urban energy balance", *Progress in Physical Geography*, 12(4), 471-508 (1988).
92. Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G. and Watson, I. D., "Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night Part 2: Diagnosis of causation", *Boundary-Layer Meteorology*, 56(4), 339-358 (1991).
93. Yılmaz, E. Y., "Ankara şehrinde ısı adası oluşumu", Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi SBE Coğrafya (Fiziki Coğrafya) Anabilim Dalı*, 1-282 (2013).
94. Chen, L. ve Ng, E. "Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade", *Cities*, 29(2), 118-125 (2012).
95. Lin, T. P., Matzarakis, A. ve Hwang, R. L., "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort", *Building and Environment*, 45(1), 213-221 (2010).
96. Mahmoud, A. H. A., "Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions", *Building and Environment*, 46(12), 2641-2656 (2011).
97. Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M. ve van den Dobbelen, A., "Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands", *Building and Environment*, 83, 65-78 (2015).
98. Göçer, Ö., Torun, A. O. ve Bakoviç, M., "Kent dışı bir üniversite kampüsünün dış mekânlarında ısıl konfor, kullanım ve mekân dizim analizi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3), 853-873. (2018).
99. İnternet: Haberler, Mimarlık, "Bursa Uzun Çarşı üst Örtü Tasarım Mantığı", <https://v3.arkitera.com/h12725-bursa-uzun-carsi-ust-ortu-tasarim-mantigi.html> (2006).
100. İnternet: Bilgiç B., "2016 Olimpiyat Oyunları için Suyu Geri Dönüşüme Sokan Golf Tesisi", <https://www.arkitera.com/haber/2016-olimpiyat-oyunlari-icin-suyu-geri-donusume-sokan-golf-tesisi/> (2016).
101. İnternet: Yılmaz E. M., Arkiete.com Haber, "Kurak İklimlerde İçbükey Çatı", <https://www.konuttrend.com/mimari/kurak-iklimlere-icbukey-cati-h1242.html> (2017).
102. İnternet: Yarışma Projeleri 2008, "İzmir Büyükşehir Belediyesi Kemeraltı Çarşısı Üst Örtü ve Kent Mobilyaları Ulusal Fikir Yarışması", <https://v3.arkitera.com/yp263-izmir-buyuksehir-belediyesi-kemeralti-carsisi-ust-ortu-ve-kent-mobilyalari-ulusal-fikir-yarismasi.html?year=&aID=1986> (2008).

103. Wang, T. C. and Lee, H. D., “Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights”, *Expert Systems With Applications*, 36(5), 8980-8985 (2009).
104. Ishizaka, A. and Nemery, P., “Multi-criteria decision analysis: methods and software”, *John Wiley & Sons* (2013).
105. Wang, J. J. and Yang, D. L., “Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing”, *Computers & Operations Research*, 34(12), 3691-3700 (2007).
106. Genç, T., “PROMETHEE yöntemi ve GAIA düzlemi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 15(1), 133-154 (2013).
107. Balali, V., Zahraie, B., Hosseini, A. and Roozbahani, A., “Selecting appropriate structural system: Application of PROMETHEE decision making method”, *In 2010 Second International Conference on Engineering System Management and Applications* 1-6, IEEE (2010).
108. Bottero, M., D’Alpaos, C. and Oppio, A., “Multicriteria evaluation of urban regeneration processes: an application of PROMETHEE method in Northern Italy”, *Advances in Operations Research*, 9276075, 1–12 (2018).
109. Hu, J. and Jiang, Y., “PROMETHEE method applied in the evaluation of urban air environmental quality”, *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 4, 318-322 (2012).
110. Wenhao, P. A. N. and Lai, K. K., “Application of AHP-PROMETHEE Method for Supplier Selection in Strategic Sourcing”, *Surveys in Operations Research and Management Science*, 18(2), 41-46 (2009).
111. Bottero, M., Dell’Anna, F. and Nappo, M., “Evaluating tangible and intangible aspects of cultural heritage: An application of the promethee method for the reuse project of the Ceva–Ormea railway”, *In Seminar of the Italian Society of Property Evaluation and Investment Decision*, 285-295. Springer, Cham. (2016).
112. Lakićević, M. D. and Srđević, B. M., “Multiplicative version of Promethee method in assesment of parks in Novi Sad”, *Zbornik Matice Srpske Za Prirodne Nauke*, (132), 79-86 (2017).
113. Vujosevic, M. L. and Popovic, M. J., “The comparison of the energy performance of hotel buildings using PROMETHEE decision-making method”, *Thermal Science*, 20(1), 197-208 (2016).
114. Dražić, J., Dunjić, D., Mučenski, V. and Peško, I., “Multi-criteria analysis of variation solutions for the pipeline route by applying the PROMETHEE method”, *Tehnički Vjesnik*, 23(2), 599-610 (2016).

115. Yan-ming, C., “Research on Evaluation of subcontractors of water project and Model established based on PROMETHEE method”, *Jilin Water Resources*, (8), 4 (2015).
116. Dachowski, R. and Gałek, K., “Selection of the Best Method for Underpinning Foundations Using the PROMETHEE II Method”, *Sustainability*, 12(13), 5373 (2020).
117. Balali, V., Mottaghi, A., Shoghli, O. and Golabchi, M., “Selection of appropriate material, construction technique, and structural system of bridges by use of multicriteria decision-making method”, *Transportation Research Record*, 2431(1), 79-87 (2014).
118. San Cristobal, J. R., “Critical path definition using multicriteria decision making: PROMETHEE method”, *Journal of Management in Engineering*, 29(2), 158-163 (2013).
119. Dağdeviren, M. ve Erarslan, E., “PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1) (2008).
120. Genç, T., “PROMETHEE Yöntemi ve GAIA Düzlemi”, *Journal of Economics & Administrative Sciences/Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF*, 15(1) (2013).
121. Vincke, J. P. and Brans, P., “A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM”, *Management Science*, 31(6), 647-656. (1985).
122. Brans, J. P., Vincke, P. and Mareschal, B., “How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method”, *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228-238 (1986).
123. Arısoy E., “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Promethee”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi SBE İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Endüstri İşletmeciliği Programı*, İzmir, 1-85 (2019).
124. Pavi,I. and Babi, Z., “The Use of The Promethee Method in The Location Choice of A Production System”, *International Journal of Production Economics*, s.165-174 (1991).
125. İnternet: Karabük Üniversitesi, “KBÜ 2019 Yılı İdari Faaliyet Raporu”, <https://strateji.karabuk.edu.tr/yuklenen/dosyalar/12634202030256.pdf> (2019)
126. İnternet: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Karabük İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, “Karabük Hakkında”, <https://karabuk.tarimorman.gov.tr/Menu/26/Karabuk-Hakkinda> (2020).

127. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “Karabük İli Aylık-Yıllık Yağış Verileri”, *Karabük Meteoroloji İl Müdürlüğü* (2019).
128. Okutan, A. E., “Çatı kaplama malzemesi seçim kriterlerinin belirlenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
129. Genç, E., “Çatı kaplama ürünlerinin seçiminde ürün bilgilerinin düzenlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2011).
130. Wang, J. J. ve Yang, D. L. “Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing”, *Computers & Operations Research*, 34(12), 3691-3700 (2007).
131. Bektaş, İ. ve Dinçer, A. E., “Değişen İklim Koşullarında Çatı Kaplama Malzemelerinin Verimliliğinin İncelenmesi–Safranbolu Örneği”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 33(3), 35-53. (2017).

**EK AÇIKLAMALAR A.**

**ANKET SORULARI**

## MALZEME SEÇİMİNDE UZMAN GÖRÜŞÜ

Sayın Uzman, kentsel ısı adası özelliği yüksek olan bir meydana yağmur suyu toplama sistemi ve buna bağlı olarak bir örtü sistemi önerilecektir. Bu örtüde kullanılacak malzemenin belirlenmesinde bazı kriterler bulunmaktadır. Örtü konstrüksiyonunda kullanılacak malzeme seçiminde etkili olan kriterlerin önem derecelerine göre sıralanması, çok ölçütlü karar verme metodunda gereklidir. Bu nedenle aşağıda size bu kriterlere yönelik sorular yöneltilecektir. İlginiz için çok teşekkür ederiz. (Bu anketten elde edilen bilgiler tamamen Karabük Üniversitesi Mimarlık Yüksek Lisans programında yürütülen tez çalışması kapsamında bilimsel amaçlı olarak kullanılacaktır)

Yüksek Lisans Öğrencisi: Mimar Sibel TEMİZKAN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Merve TUNA KAYILI

\* Gerekli

Size göre önemli olduğunu düşündüğünüz kriterler için 9'a yakın, önemsiz olduğunu düşündüğünüz kriterler için ise 1'e yakın puanlar veriniz.

1-Kentsel ısı adasını ortadan kaldırmak ve yağmur suyunu toplamak için kurgulanacak örtü sisteminde seçilecek malzemeyi belirlemede "Fiyat" malzeme seçiminde ne kadar önemlidir? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Hiç önemli değil

Son derece önemli

2-Kentsel ısı adasını ortadan kaldırmak ve yağmur suyunu toplamak için kurgulanacak örtü sisteminde seçilecek malzemeyi belirlemede "Çatı etkinlik katsayısı" (Çatıya düşen yağmur suyunun ne kadarının toplanabileceğini ifade eder) malzeme seçiminde ne kadar önemlidir? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
Hiç önemli değil          Son derece önemli

3-Kentsel ısı adasını ortadan kaldırmak ve yağmur suyunu toplamak için kurgulanacak örtü sisteminde seçilecek malzemeyi belirlemede "Malzemenin Albedo değeri" (güneş ışığı yansıtma kapasitesi/yüzeylerin yansıtma gücü) malzeme seçiminde ne kadar önemlidir? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
Hiç önemli değil          Son derece önemli

4-Kentsel ısı adasını ortadan kaldırmak ve yağmur suyunu toplamak için kurgulanacak örtü sisteminde seçilecek malzemeyi belirlemede "Emisivite" (bir objenin ışıma veya ısı yayılımının verimini tanımlayan özelliği/termal radyasyon değeri) malzeme seçiminde ne kadar önemlidir? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
Hiç önemli değil          Son derece önemli

5-Kentsel ısı adasını ortadan kaldırmak ve yağmur suyunu toplamak için kurgulanacak örtü sisteminde seçilecek malzemeyi belirlemede "Öz ısı" (maddenin sıcaklığını arttırmak için verilmesi gereken ısı miktarı) malzeme seçiminde ne kadar önemlidir? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
Hiç önemli değil          Son derece önemli

6-Kentsel ısı adasını ortadan kaldırmak ve yağmur suyunu toplamak için kurgulanacak örtü sisteminde seçilecek malzemeyi belirlemede "Termal iletkenlik" (ısı iletkenliği) malzeme seçiminde ne kadar önemlidir? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
Hiç önemli değil          Son derece önemli

7-Mesleğiniz? \*

- Özel sektörde mimar  
 Özel sektörde mühendis  
 Akademisyen  
 Yapı ve malzeme sektöründe çalışan

Şekil Ek A.1. Uzman görüşüne ilişkin anket soruları



## ÖZGEÇMİŞ

Sibel Temizkan Bulgaristan'da doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini Sakarya'da tamamladı. Sakarya Şehit Üsteğmen Selçuk Esedoğlu Anadolu lisesinden mezun olduktan sonra 1 yıl eğitim hayatına Bulgaristan'da dil eğitimi alarak devam etti.Ardından Karabük Üniversitesi Fethi Toker Güzel Sanatlar Mimarlık Bölümüne girdi.Mezun olduktan sonra Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansına devam ettiği sırada Mimarlık Fakültesinde ücretli öğretim elemanı olarak çalıştı.Halen; Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda yüksek öğrenimini sürdürmektedir.