



**SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ BASKILARIN HAFİFLETİLMESİ
MAKSADILYLA KONUTLARDA YAĞMUR SUYU VE GRİ SU
KULLANIMI: ANKARA ÖRNEĞİ**

Kamil AYBUĞA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2018

Kamil AYBUĞA tarafından hazırlanan “SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ BASKILARIN HAFİFLETİLMESİ MAKSADIYLA KONUTLARDA YAĞMUR SUYU VE GRİ SU KULLANIMI: ANKARA ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Çevre Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Gamze Yücel İŞILDAR

Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL

Çevre Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL

Biyoloji Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 20/12/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kamil AYBUĞA

20/12/2018

SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ BASKILARIN HAFİFLETİLMESİ MAKSADIYLA KONUTLARDA YAĞMUR SUYU VE GRİ SU KULLANIMI: ANKARA ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Kamil AYBUĞA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2018

ÖZET

Küresel iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki en önemli etkisi kaynakların yenilenebilirliğinin giderek azalmasıdır. Türkiye'nin su potansiyelinin yakın gelecekte önemli miktarda azalacağı tahmin edilmektedir. Böyle bir durumda içme suyu temin edilen kaynakların büyük ölçüde kaybedilmesi anlamına gelmektedir. Ancak çeşitli tedbirlerle bu kaynaklar üzerindeki baskıların hafifletilmesi mümkündür. İçme suyu kaynakları açısından, yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı bu konudaki en yaygın yöntemlerdendir. Bu tez çalışmasında Ankara kent merkezi için “yağmur suyu hasadı” ve “gri su kullanımı” yöntemlerinin uygunluğu araştırılmıştır. Bu kapsamda her iki yöntem birlikte uygulandığında Ankara ortalama hane halkı su ihtiyacının ne kadarının karşılanabileceği tetkik edilmiştir. Bu konuda karar verilebilmesi için potansiyel gri su miktarının hesaplanması gerekmektedir. Gri su kullanım olanaklarının tespiti maksadıyla istatistiksel model yardımıyla literatür verisi üzerinden Ankara için tahmini evsel su kullanım detayları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda çamaşır makinası, banyo ve duşta oluşan sular gri su kaynağı olarak kabul edilerek, bu suların tuvalet rezervuarında kullanılması esas alınmıştır. Yağmur suyunun toplam ihtiyacın ortalama %11,44 ile %13,32'lik kısmını karşılamaya yeterli olduğu tespit edilmiştir. Hane halkı düzeyinde 2 veya 5 ton hacimli rezervuarlarla yağmur suyunun ortalama %61 ile %73 civarındaki bölümünün hasat edilebileceği hesaplanmıştır. Ankara iklim koşullarında yağmur suyu hasadı ve evsel gri su yeniden kullanımı yoluyla sağlanabilecek tasarrufun oranının ortalama %36 ile %38 civarında olduğu hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 90318

Anahtar Kelimeler : Sürdürülebilir bina, su tasarrufu, su kullanım modeli, evsel su kullanımı, yağmur suyu hasadı, gri su kullanımı.

Sayfa Adedi : 93

Danışman : Doç. Dr. A. Gamze YÜCEL İŞILDAR

RAIN WATER HARVESTING AND GREY WATER REUSE IN THE RESIDENTIAL
BUILDINGS FOR THE MITIGATION OF RELEVANT PRESSURES ON WATER
RESOURCES: ANKARA CASE STUDY

(M. Sc. Thesis)

Kamil AYBUĞA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2018

ABSTRACT

The most important impact of global climate change on water resources is the decrease on the renewability of resources. It is estimated that, Turkey's renewable water resources potential might decrease significantly. Such a reduction possibility means great loss on the resources for the drinking water supply. However, it is possible to mitigate the pressure on these resources via various measures. In terms of drinking water resources, rainwater harvesting and the use of gray water are the most common methods. In this study, applicability of "rainwater harvesting" and "gray water reuse" methods were investigated for Ankara city center. In this context, it was examined how much of the average household water requirement could be met when both methods were applied together. To make a conclusion, it is necessary to know the potential amount of gray water. In order to determine the possibility for gray water reuse, conducting a literature survey about domestic water end use case studies, an estimation of domestic water end use has been made for Ankara city. Effluents of washing machine, bath and shower was considered as the source of gray water and the calculations were made assuming the use of those effluents in toilet reservoir. Rain water was found to be enough to cover up 11.44% to 13.32% of the total domestic requirement. It has been calculated that rain water can be harvested by 61% ile 73% using 2- or 5-ton volume reservoirs at household level. It has been determined that the rate of savings that can be achieved through rainwater harvesting and domestic gray water reuse in Ankara climatic conditions is between 36% and 38%.

Science Code : 90318

Key Words : Sustainable building, water saving, water end use model, domestic water end use, rainwater harvesting, grey water reuse.

Page Number : 93

Supervisor : Assoc. Prof. A. Gamze YÜCEL İŞILDAR

TEŐEKKÖR

Bu arařtırmanın yűrűtűlmesi konusunda deęerli yardım ve katkılarıyla beni yűnlendiren Doç. Dr. Sn. Gamze Yűcel IŐILDAR'a teŐekkűrű borç bilirim.

Ayrıca bu arařtırmanın gerçekleŐtirilmesinde vermiŐ oldukları destek nedeniyle Prof. Dr. Sn. Cumali KINACI'ya, "Su Yűnetimi Genel Műdűrű" Sn. Bilal DİK MEN'e ve kıymetli mesai arkadaŐlarıma teŐekkűr ederim.

Bu tezin tamamlanmasındaki manevi katkıları ve verdikleri destek nedeniyle annem, babam, kardeŐlerim, eŐim ile minik kızlarım baŐta olmak űzere tűm aileme teŐekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	7
2.1. Küresel İklim Değişikliği ve Su Kıtlığı	9
2.2. Su Kaynaklarının Akılcı Kullanımı ve Sürdürülebilirlik Kavramı	15
2.3. Sürdürülebilir Binalar ve Su Yönetimi Uygulamaları.....	17
2.3.1. Yağmur suyu hasadı.....	21
2.3.2. Gri su kullanımı	24
2.3.3. Eysel su kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesi	26
2.4. Ankara Bölgesi İklimsel ve Su Temin Sistemi Özellikleri	31
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	37
3.1. Eysel Su Kullanım Detayları ile İlgili Araştırmalar.....	37
3.2. Yağmur Suyu ve Gri Su Kullanımı ile İlgili Araştırmalar	43
4. YÖNTEM.....	49
4.1. Kabuller ve Su Kullanım Alternatifleri.....	50
4.2. Türkiye’de Kentsel Su Kullanımı ve Ankara Eysel Su Kullanımı Öngörüsü.....	52

Sayfa

4.3. Yağış Analizi ve Yağmur Suyu Hasadı	59
4.3.1. Hasat edilebilen yağış miktarının hesaplanması	61
4.3.2. Ankara haftalık su tüketim miktarının hesaplanması.....	61
4.3.3. Yağmur suyu rezervuar hacminin hesaplanması.....	62
4.4. Gri Su Yeniden Kullanımı	64
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	65
5.1. Tahmini Evsel Su Kullanımı ve Gri Su Miktarı.....	65
5.1.1. Literatür verilerinin istatistiksel olarak yorumlanması	65
5.1.2. Konutlarda günlük su tüketim miktarı ve su kullanım detayları.....	67
5.1.3. Tahmini gri su potansiyeli ve gri su miktarı	72
5.2. Hasat Edilebilen Yağış Miktarı ve Rezervuar Hacmi	73
5.3. Yağmur Suyu ve Gri Suların Birlikte Kullanımı	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
6.1. Yağmur Suyu Hasadına İlişkin Sonuçlar	79
6.2. Gri Su Kullanımına İlişkin Sonuçlar	80
6.3. Öneriler	82
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Binaların çevresel etkileri	18
Çizelge 2.2. Sürdürülebilir konut prensipleri ve stratejileri.....	20
Çizelge 2.3. Yağmur suyu arıtma yöntemleri	24
Çizelge 2.4. ASKİ barajlar günlük toplam kapasite	32
Çizelge 4.1. Evsel su kullanım detaylarına ilişkin araştırmalar.....	53
Çizelge 4.2. İlgili araştırmalar ve evsel su kullanım detayları.....	54
Çizelge 4.3. AWWA evsel su kullanımı modeli.....	57
Çizelge 4.4. AWWA model parametreleri.....	58
Çizelge 4.5. Model uygulama alternatifleri	59
Çizelge 4.6. Rerzarvuvar hacmi hesaplaması	63
Çizelge 5.1. Literatür evsel su kullanımlarının istatistiksel görünümü	66
Çizelge 5.2. AWWA modeliyle literatür verisi tahmin sonuçları.....	69
Çizelge 5.3. AWWA modeli ortalama tahmin doğruluk düzeyleri	70
Çizelge 5.4. AWWA modeli ankara evsel su kullanımı öngörüsü	71
Çizelge 5.5. Gri su yeniden kullanım senaryosu.....	73
Çizelge 5.6. Yağmur suyu hasadı senaryoları.....	73
Çizelge 5.7. Yağmur suyu hasat miktarı.....	75
Çizelge 5.8. Alternatif su kullanım modelleri.....	77

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yeryüzündeki su dağılımı	8
Şekil 2.2. İklim değişikliğinin etkileri	11
Şekil 2.3. Küresel fiziksel ve ekonomik su kıtlığı	12
Şekil 2.4. 2050 yılında su kıtlığı projeksiyonu	13
Şekil 2.5. Türkiye su kaynakları potansiyeli	14
Şekil 2.6. Türkiye'nin su potansiyeli projeksiyonları	14
Şekil 2.7. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri	15
Şekil 2.8. Su tasarruf uygulamaları ve tasarruf oranları	21
Şekil 2.9. Evsel yağmur suyu hasat sistemi	22
Şekil 2.10. Konutlarda gri su kullanımı	26
Şekil 2.11. Evlerde su kullanımı	27
Şekil 2.12. Yağmur suyu kullanım alternatifi	28
Şekil 2.13. Yüksek düzey yağmur suyu kullanım alternatifi	29
Şekil 2.14. Gri sular ve kullanım alternatifleri	30
Şekil 2.15. Ankara içme suyu sistemi	33
Şekil 2.16. Ankara barajlara gelen su miktarı	34
Şekil 2.17. Ankara iklim özellikleri	35
Şekil 2.18. Ankara yıllık alansal yağış ortalaması	36
Şekil 2.19. 17130 numaralı istasyon en uzun yağışsız gün sayıları	36
Şekil 3.1. Türkiye için evsel su kullanım detayları	43
Şekil 4.1. Araştırma yöntemi	49
Şekil 4.2. Yağmur suyu ve gri su kullanım alternatifleri	52
Şekil 4.3. Meteorolojik gözlem istasyonları	60

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Evsel su kullanımlarının istatistiksel dağılımı.....	67
Şekil 5.2. Ankara evsel su kullanım tahmini	71
Şekil 5.3. Evsel su kullanım oranlarının karşılaştırması.....	72
Şekil 5.4. Toplam yağışın kümülatif dağılımı	74
Şekil 5.5. Önerilen su kullanım modeli	82



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
lt/gün	Litre bazından günlük su tüketim miktarı
m²	Metrekare, alan birimi
m³	Metreküp, hacim birimi
mg/lt	Litre hacimdeki miligram kütle miktarı
Kısaltmalar	Açıklamalar
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASKİ	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
AWWA	American Water Works Association
BOD	Biological Oxygen Demand
CFU	Colony forming unit
CNRM-CM	Circulation Model-Centre National de Recherches Météorologiques
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
E. Coli	Escherichia coli
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu
HadGEM2-ES	Hadley Global Environment Model 2- Earth System
KOİ: N:P	Kimyasal Oksijen İhtiyacı, Azot, Fosfor Oranı
M.Ö.	Milattan Önce
MPI	Max Planck Institute
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RCP	Representative Concentration Pathway
SAR	Sodyum Adsorbsiyon Oranı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WELS	Water Efficiency Labelling and Standards

1. GİRİŞ

Günümüzde zaten sınırlı olan su kaynaklarının hızla tüketilmesi ve kirlenmesi, “temiz suya erişim” olanaklarının iyice azalmasına neden olmaktadır. İnsan nüfusunun büyük bir bölümünü barındıran ve coğrafi bakımdan sınırlarından taşan pek çok kent için bu kaynağın temini daha da zor bir hale gelmiştir; içme suyu sağlanan kaynakların varlığı küresel boyutta tehdit altındadır. Oysa insan yerleşimlerinin devamlılığı bakımından, yeterli miktarda nitelikli içme suyunun temin edilmesi hayati önem arz etmektedir. Bu kaynakların varlığının teminat altına alınması bakımından suyun akılcı kullanımı, su tasarrufu ve alternatif su temini konularında yürütülen çalışmalar giderek önem kazanmaktadır.

İçme suyu temini, dağıtım ve iletim hatlarının inşası gibi süreçler nedeniyle doğal kaynaklar üzerinde pek çok baskıya neden olmaktadır. Kent nüfusunun sürekli artması sonucunda daha fazla kaynaktan daha fazla su çekilmesinin yanı sıra coğrafi anlamda kentsel bölgelerin genişlemesinin de etkisiyle içme suyu şebekeleri sürekli genişlemektedir. Bu durum kayıp ve kaçakların daha da artmasına neden olmaktadır. Resmi verilere göre Türkiye’de içme suyu şebekelerine verilen suyun %36 gibi önemli bir kısmı iletim hatlarında meydana gelen sızıntılar yoluyla kaybolmaktadır [1]. Ayrıca, içme suyu temin ve iletim sistemlerinin işletimi için gerekli enerjinin üretimi ve kullanımı yoluyla ortaya çıkan sera gazı salımı da çevresel açıdan kayda değer bir başka olumsuzluktur.

İçme suyu kaynaklarının varlığına yönelik tehditlerin ortadan kaldırılması için çeşitli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu tedbirler içme suyu altyapılarının sistematik sıkıntılarının giderilmesinden su kullanımına ilişkin teknik ve idari düzenlemeler yapılmasına kadar çok çeşitli uygulamaları kapsamaktadır. Ancak içme suyu altyapılarına ilişkin sorunlar çeşitli kısıtlamaları bünyesinde barındıran, yüksek yatırım ve işletme maliyetlerini beraberinde getiren karmaşık problemlerdir. Sürekli artan talep bu sistemlerin sınırlarını zorlayan en temel baskı unsurudur. Bu baskı nedeniyle her içme suyu kaynağı için talep artışını dengeleyecek özgün tedbirler alınması zorunlu hale gelmektedir. Günümüzde her kaynağın kendi yapısı ve bulunduğu coğrafi bölgeye uygun özel koruma tedbirlerinin üretilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Türkiye’de son yıllarda Atatürk Barajı, Porsuk Barajı, Kartalkaya Barajı gibi pek çok içme suyu kaynağı için özel hüküm belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir [2].

Kentsel ölçekte artan talebin merkezi şebekelerden karşılanmasının mümkün olmadığı durumlarda su arzının merkezi olmayan sistemler veya ikincil kaynaklar yoluyla sağlanması giderek önem kazanmaktadır. Mevcut kaynakların yetersiz kaldığı durumlarda su arzının kesintisiz olarak sağlanabilmesi için kamusal binalar, evler ve işyerlerinde suların kullanım şeklinin yeniden düzenlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle içme suyu ihtiyacının öncelikli olduğu durumlarda kaynağın başka maksatlarla kullanımının kısıtlanması bir zaruret haline gelmektedir. Bu türden tedbirlerle eldeki su kaynağına yönelik olarak ortaya çıkabilecek sıkıntıların en düşük seviyeye indirilmesi veya ötelenmesini mümkün olmaktadır. Ancak bu tarz kısıtlayıcı tedbirlerin gündelik hayatı etkilemeyecek veya olumsuz anlamda en az düzeyde etkileyecek yöntemlerle hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Evsel ölçekte su tasarrufu için takip edilebilecek iki temel yaklaşım, su tüketiminin azaltılması veya suyun alternatif kaynaklardan temin edilmesidir. Özellikle içme suyu kalitesinde su kullanımının zorunlu olmadığı durumlarda ikincil kaynakların kullanılması önemli bir tasarruf potansiyeli sunmaktadır. Bütün evsel ihtiyaçlar için doğrudan içme suyunun kullanılması, sınırlı ve pahalı bir kaynak olan içme suyunun israfına yol açmaktadır. Bu durum kaynakların devamlılığını ve bu kaynaklara bağımlı ekosistemlerin varlığını da tehlikeye atmaktadır. Dünya nüfusunun yarısından fazlasının (%54,5) şehirlerde yaşadığı ve 2030 yılına kadar bu oranın %60 seviyesine ulaşabileceği [3] düşünülürse bu konudaki tedbirlerin aciliyeti açık biçimde ortaya çıkmaktadır.

Evsel su kullanımında tasarruf sağlayan çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. “Yağmur suyu hasadı” ve “gri su kullanımı” bu konuda yaygın uygulamalardandır. Yağmur suyu hasadı, yağmur sularının hasat edilip bir rezervuarda toplanarak gerekli olduğunda kullanılmasını ifade etmektedir. Gri su ise binalarda oluşan atık suların kara su olarak adlandırılan fekal ve urinal fraksiyonlarının dışında kalan kısmıdır. Gri sular kuvvetli ve zayıf karakterde olmak üzere iki kısımda ele alınmaktadır. Zayıf gri su genel olarak musluk ve banyo suyunu, güçlü gri su ise çamaşır, bulaşık makinası ve mutfak lavabosundan oluşan atık suları ifade etmektedir. Gri su kullanımı ile evsel su kullanımında %38 civarında tasarruf sağlanabildiği tespit edilmiştir [4].

Ancak, özellikle yağmur suyu hasadına ilişkin sonuçların yağış miktarı ve yerel iklim koşullarından etkilenmesi nedeniyle, uygulama alanına özgü çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. Genel olarak yağmur suyu hasadına yönelik çalışmaların literatürde yüksek

yağış alan bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak özellikle yarı kurak iklim bölgeleri için yağmur suyu ve gri suyun bir arada kullanımı hedeflendiğinde, planlanan sistemin yatırıma elverişli olup olmadığının tespiti bakımından, yağmur suyu hasadının ne ölçüde elverişli olduğu da önem arz etmektedir.

Buradan hareketle bu çalışmada, başkent olması nedeniyle nüfusu sürekli artan kentlerden, Türkiye Cumhuriyeti'nin başkenti Ankara ili özelinde, yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımının uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu doğrultuda Ankara kent merkezinde yer alan, içme suyu şebekesi ve kanalizasyon hattına bağlı olan, ortalama büyüklükteki (3,1 kişi [5]) hane halkı için su ihtiyacının, yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımıyla ne ölçüde karşılanabileceği araştırılmıştır.

Ankara İli için evsel su kullanım detaylarını gösteren spesifik veriler bulunmadığından ihtiyaç duyulan bilginin literatürde yer alan bilgiler ışığında tahmin edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu maksatla kentsel su kullanımına ilişkin TÜİK verilerinden Ankara ortalama hane halkı büyüklüğü ve Ankara ili ortalama kişi başı günlük su tüketimi (248,0 lt/gün, [6]) esas alınarak ortalama hane halkı su tüketimi hesaplanmıştır. Bu bilgiden hareketle istatistiksel model kullanılarak her evsel uygulama için haftalık su kullanımı oranı tahmin edilmiştir. Bu bilgi kullanılarak da tahmini gri su miktarı tespit edilmiştir. Hasat edilen yağmur suyu ve toplanan gri suların tuvalet rezervuarı, çamaşır veya bulaşık makinasında kullanımı tetkik edilmiştir. Alternatifler sistem karmaşıklığı, halk sağlığı riskleri ve ekonomik bakımdan değerlendirildiğinde toplanan gri suların tuvalet rezervuarında, yağmur suyunun da çamaşır makinası ve bulaşık makinasında kullanılmasına karar verilmiştir.

Yağış miktarı ve yağış dağılımı yerel ölçekte değişiklik gösteren parametrelerdir. Yağmur suyu hasadının ne ölçüde uygun olduğunun tespit edilmesi için meteorolojik gözlem verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gri su miktarının tespiti için de benzer biçimde evsel su kullanım detaylarının (musluklar, çamaşır makinası, bulaşık makinası, tuvalet rezervuarı vb. cihazların su kullanım oranı) bilinmesi gerekmektedir. Evsel su kullanım detayları konutun büyüklüğü, bahçesinin olup olmaması, müstakil bina veya apartman dairesi olması, evde yaşayan kişi sayısı, çalışan kişi sayısı, çocuk sayısı, evdeki insanların yaş dağılımı gibi pek çok unsurun etkisiyle değişkenlik göstermektedir. Bu araştırmanın amacı kentsel ölçekte sağlanabilecek ortalama tasarruf miktarının tespiti olduğundan, evden eve değişkenliğe neden olan faktörlerin etkisi göz ardı edilmiştir.

Ayrıca evsel su kullanımı konusunda her kent için farklı parametreler belirleyici olmaktadır. Her kentin kendine özgü yapısıyla birlikte zaman içerisinde kentlerin değişip dönüşmesi nedeniyle de karşılaştırma olanağı zayıflamaktadır. Üstelik evsel su kullanım detaylarının belirlenmesi konusundaki araştırmalar yüksek bütçeli, ileri teknoloji ürünü cihazlara gereksinim duyulan ve üretilen büyük verilerden anlamlı bilgilerin üretilmesi konusunda yoğun çaba gerektiren çalışmalardır. Böyle bir araştırmanın planlanması ve finansmanı da oldukça zahmetlidir.

Bu türden araştırmalar sonucunda su kaynaklarının planlanmasında yüksek önem arz eden bilgilere ulaşılmaktadır. Bu bilgiler kentsel su tasarrufuna yönelik olarak planlanan (yağmur suyu hasadı, gri su geri kazanım sistemi gibi) sistemler için alınacak bir yatırım kararı öncesinde, planlanan projenin sağlayacağı avantajın bilinmesi açısından gereklidir.

Ankara ili üzerinden yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı ile sağlanabilecek tasarruf miktarının tespit edilmesi, yapılacak yatırımlarda elde edilecek faydanın tespit edilmesi bakımından katkı sağlayacaktır.

Bu tez çalışması ile literatürde yer verilen istatistiksel modeller kullanılarak hane halkı büyüklüğü üzerinden evsel su kullanım oranlarının değişim aralığı belirlenmiştir.

Bu kapsamda çalışmanın 2. bölümünde yeryüzündeki su varlığı ve su kaynaklarının genel durumuna ilişkin bilgiler özetlenerek, küresel iklim değişikliği ile su kıtlığının ilişkisi açıklanmıştır. Su kaynaklarının akılcı kullanımına ilişkin çevresel, sosyal ve ekonomik anlamda etkin tedbirler alınması için gerekli olan sürdürülebilirlik kavramına değinilmiştir. Ayrıca sürdürülebilir bina kavramının genel çerçevesi ve bu kapsamda yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımının uygulamaya alınmasında takip edilebilecek alternatifler değerlendirilmiştir.

3. bölümde yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı ile ilgili araştırmalar ile her iki yöntemin bir arada değerlendirildiği literatür bilgileri araştırılarak konunun genel hatlarıyla birlikte araştırmanın kapsamına giren hususlardaki önemli bulgulara yer verilmiştir.

4. bölümde araştırmada uygulanan yöntemlerin detayları, Ankara ili yerel iklimsel özellikleri ve su temin sisteminin genel özellikleriyle birlikte araştırmada esas alınan varsayımlara yer verilmiştir. Yağmur suyu ve gri suların kullanımı konusundaki alternatifler tetkik edilerek bu alternatiflerin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Ayrıca araştırma hedefleri arasında

yer alan hasat edilebilir yağmur suyu miktarı, evsel su kullanımının detayları (ev içinde hangi noktada ne kadar su kullanıldığı) ve buna bağlı olarak oluşan gri su miktarı ve yeniden kullanılabilir gri su miktarı ve içme suyundan sağlanabilecek tasarruf miktarının hesaplanmasında takip edilen yöntemin detayları verilmiştir.

5. bölümde evsel su kullanım detayları, yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı olanakları ve elde edilebilecek tasarruf miktarına ilişkin bulgular özetlenerek bulguların anlamlılık ve sınırlılıkları tartışılmaktadır.

Son bölümde yağmur suyu hasadı, gri su kullanımı ve elde edilebilecek tasarruf miktarına ilişkin sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçların önceki araştırmalar ve genel beklentiler bakımından değerlendirmesiyle birlikte uygulamaya yönelik önerilere yer verilmiştir.



2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

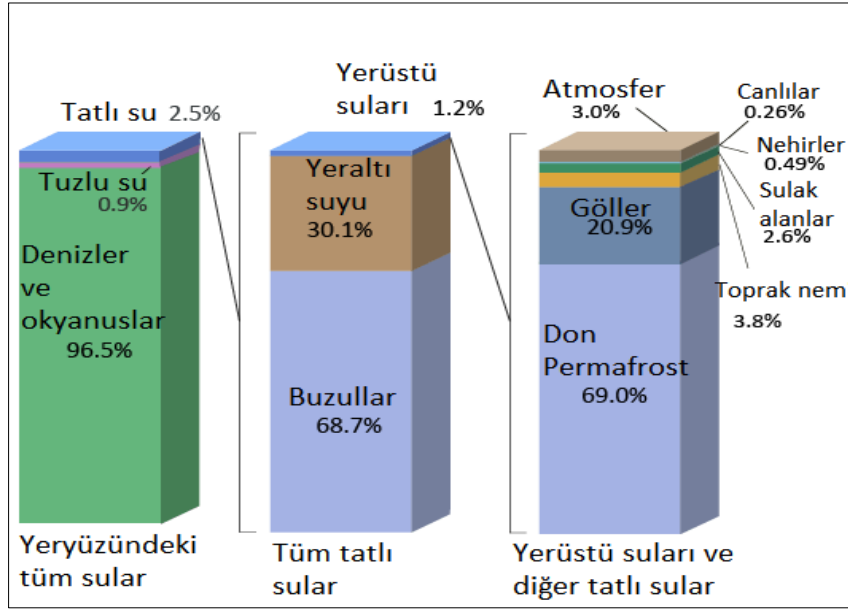
Yeryüzündeki hayat suyun varlığına bağlıdır. Yerküredeki toplam miktarının sabit olduğu kabul edilen su, hidrosferde sürekli bir döngü halindedir. Su, sınırları atmosferden yerkabuğunun derinliklerine kadar uzanan bir bölgede katı, sıvı ve gaz halde bulunmaktadır. Bu döngünün her aşamasında bulut oluşumu, yağmur, kar, atmosferik taşınım gibi gezegeni şekillendiren pek çok olay gerçekleşmektedir.

Günümüzde (tektonik hareketler ve magma hareketi gibi) yerkürenin bizzat kendisini şekillendiren süreçlerde suyun rolü yoğun biçimde tartışılmaktadır [7]. Su yerküredeki canlıların yaşamsal tercihlerinin şekillenmesi ve ortam koşullarına adaptasyonunda belirleyici unsurdur. Pek çok canlı türü yaşadığı ortamdaki suyun (bolluğu veya kalitesi gibi) özelliklerine uyum sağlamıştır. Uyum sağlayamayanlar ise daha uygun ortamlara kalıcı veya geçici (mevsimsel) olarak göç etmek gibi daha farklı stratejiler geliştirmişlerdir.

Her canlı yaşamsal fonksiyonlarını sürdürebilmek için düzenli olarak su tüketmek durumundadır. Karada yaşayan canlıların büyük bölümü için canlı bünyesine alınan bu suyun tatlı su niteliğinde olması gerekmektedir. Besin maddelerinin ve enerjinin temini, metabolik artıkların uzaklaştırılması gibi fizyolojik süreçlerin tamamında suya ihtiyaç duyulmaktadır. Suyun miktarı veya sıcaklık, çözülmüş oksijen miktarı gibi özelliklerindeki en ufak değişimler bile ortamdaki canlı grupları üzerinde çeşitli baskılara neden olmaktadır. Yeryüzündeki tatlı su miktarı ise yeryüzündeki toplam su miktarının (Şekil 2.1) çok küçük bir kısmına denk düşmektedir. Bu bakımdan karasal ekosistemler için yerüstü su kaynaklarının durumu daha da önemli hale gelmektedir.

Karasal ekosistemlerin devamlılığı için çok önemli olan tatlı su kaynaklarının yeryüzündeki dağılımı insan nüfusunun dağılımı ile orantılı değildir. Bu durum insan yerleşimlerinin dağılımıyla birlikte yeryüzündeki canlıların yaşamsal döngülerini de etkilemektedir. Suya erişimin yetersiz olması tüm canlıları olumsuz yönde etkilemektedir. Pek çok canlı grubu bu durumu telafi edecek biçimde tepkiler geliştirmişlerdir. Suyun mevsimsel değişimlerine uyarlanmış göçler, yeraltına çekilme, uyku ve benzeri yöntemlerle su kıtlığının üstesinden gelinmektedir.

Su kaynakları üzerindeki çeşitli yapısal müdahaleler nedeniyle ortaya çıkan habitat kaybı biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır. Bu durum bitki örtüsünün ve diğer yaşamı destekleyen unsurların da geri döndürülemez biçimde yok olmasına yol açmaktadır. Suyun azaldığı veya kaybolduğu bölgelerde ise hayatın devamlılığı tehlikeye girmektedir. Bu nedenle günümüzde yerüstü tatlı su kaynaklarının durumu ekosistem hizmetleri bakımından her zamankinden daha çok önem arz etmektedir.



Şekil 2.1. Yeryüzündeki su dağılımı [8]

Yerküredeki canlılığın devamına ilişkin kaygıların giderek arttığı bir dönemde, tatlı su kaynaklarının akıbetine ilişkin en yaygın kaygı bu su kaynaklarının gelecek birkaç on yıl sonunda insan nüfusunun ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamayacağıdır. Mevcut durum itibariyle, artan sanayileşme ve tüketime dayalı ekonomik model nedeniyle gezegenin sınırları zorlanmaktadır. Yeryüzündeki yenilenebilir kaynaklar her geçen yıl bir önceki yıla göre daha erken tüketilmektedir [9].

2050 yılı itibariyle yaklaşık 9 milyar olması beklenen insan nüfusunun beslenme ihtiyacı daha fazla arazinin tarımsal üretim için kullanılmasını, yeterli olmadığında ise daha çok tarım alanı açılmasını gerektirecektir. FAO 2050 yılına kadar insan nüfusunu besleyebilmek için %70 daha fazla gıdaya ihtiyaç duyulacağını tahmin etmektedir [10]. Aynı dönem için sulanan arazilerin %11 oranında artarak 32 milyon hektara yükselmesi beklenmektedir [11].

Doğal su kaynaklarından çekilen suların %70'i tarımsal sulama, %20'lik kısmı sanayi, %10'luk kısmı ise kentsel su tüketimine harcanmaktadır [12]. Su tüketiminin tarımsal sulamayla birlikte sanayi kullanımı ve kentsel kullanım düzeyinde de azaltılması gerekmektedir. Bu kapsamda uygulamaya alınabilecek verimlilik ve tasarruf esaslı çalışmaların önemi giderek artmaktadır. Ancak iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde hali hazırda görülen ve giderek artacağı öngörülen etkilerinin hafifletilmesi için hızlı hareket edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde tarımsal sulama amaçlı kullanılan su miktarının toplam tüketimin %70'i kadar olduğu düşünüldüğünde [12] yakın gelecekte karasal su kaynakları üzerindeki baskılar daha da artacaktır. Aral Gölü ve Urumiye Gölü örneklerinde tecrübe edilen olumsuzlukların yaşanabileceği gibi tedbir alınmadığında pek çok yerüstü su kaynağı geri döndürülemez biçimde yok olacaktır.

2.1. Küresel İklim Değişikliği ve Su Kıtlığı

Yeryüzündeki hayatın devamlılığı bakımından karasal alanlar ile denizlerin oranı kritik öneme sahiptir. Suyun karalar ve denizler arasındaki döngüsel hareketi yerel iklimsel özelliklerin ve atmosferik mekanizmaların yaşamı destekleyen bir aralıkta değişim göstermesini sağlamaktadır. Kar ve buzul oluşumu ile beslenen akarsular sayesinde denizlerden uzak iç bölgelerdeki koşullar yaşamsal bakımdan daha elverişli hale gelmektedir. Bu akarsularla beslenen bitki örtüsü daha fazla yağmur yağmasını ve iç bölgelerde kalıcı habitatların oluşumunu sağlamaktadır. Suyun bu düzenli hareketi yerel ölçekte farklı iklimsel bölgelerin oluşmasını sağlamakta, böylelikle küresel anlamda iklim stabil ve yaşama elverişli bir özellik sergilemektedir. Ancak son 200 yıllık süreçte atmosferde oluşan insan kaynaklı kirlilik nedeniyle ekstrem hava olaylarının küresel iklimi daha fazla etkileyeceği bir döneme girilmiştir. Bu dönemin en belirgin özelliği kurak ve yarı kurak bölgelerde daha sık kuraklık yaşanacak olması ve yağışlı bölgeler için ise taşkın olaylarının daha sık görülecek olmasıdır. Bu durumun diğer tüm canlılarla birlikte insan hayatını da olumsuz biçimde etkilemesi kaçınılmazdır.

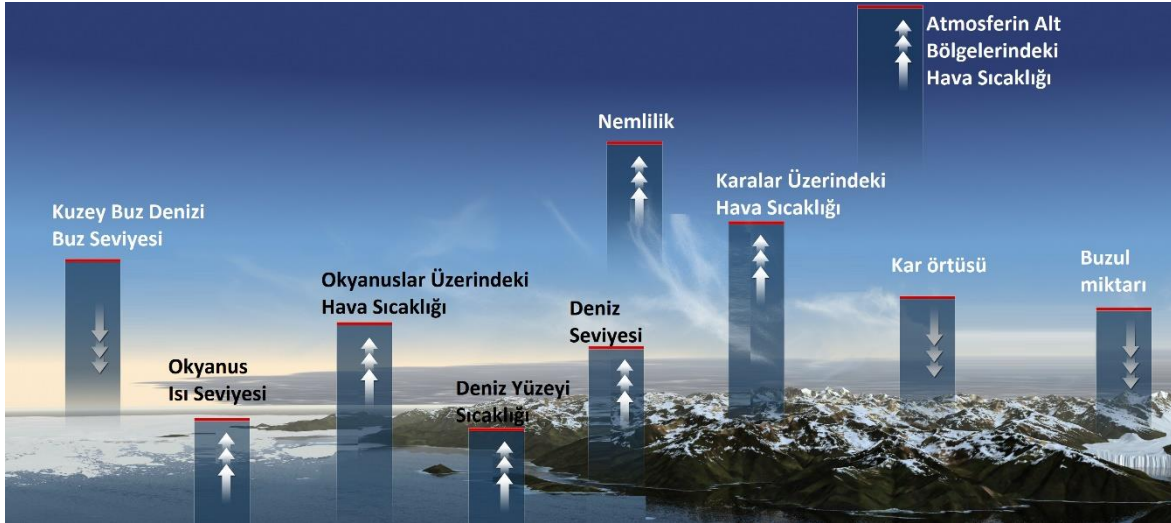
Yerkürede hava olaylarının seyri tüm canlı gruplarının adaptasyonuna imkân tanıyan bir zamansal periyotta değişim göstermektedir. Günümüzde bu değişimlerin ani ve şiddetli biçimde gerçekleşmesi küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır [13]. Küresel iklim

değişikliğinin nedeni insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazlarının miktarındaki artış ve atmosfere ulaşan güneş radyasyonunun yayılımına bağlı olarak sıcaklıkların yükselmesidir. Sıcaklık artışı buzul miktarı, atmosferik nem, kar örtüsü, yağış dağılımı, deniz suyu seviyesi, deniz suyu tuzluluk miktarı gibi atmosferik parametreleri etkilemektedir. Atmosferik mekanizmaların bozulması neticesinde ekstrem hava olaylarıyla daha sık karşılaşmaktadır.

İklimsel mekanizmaların işleyişi güneşten gelen radyasyon ve hidrolojik çevrimin durumuyla ilişkilidir. Güneşten gelen radyasyon dönemsel olarak artış veya azalış göstermektedir. Bununla birlikte Dünya'nın manyetik alanı nedeniyle ekstrem salınımlardan uzak bir seyir izlemektedir. Atmosferin bileşimindeki bir dizi molekülün (su buharı, CO₂, CH₄, N₂O vb.) miktarına bağlı olarak yeryüzüne gelen radyasyonun yansıma ve tutulma oranları değişmektedir. Tutulan radyasyon miktarındaki artış nedeniyle denizler üzerindeki sıcaklık, okyanus ve denizlerin sıcaklık seviyeleri, karalar üzerindeki sıcaklıklar ve atmosferdeki nem miktarı artmaktadır (Şekil 2.2). Buna bağlı olarak denizler ve karalar üzerinde buzul ve kar örtüsü olarak depolanan tatlı su miktarı her geçen gün daha da azalmaktadır. Son 30 yılda Kuzey Buz Denizi'ndeki buzla kaplı alanın giderek daha da küçüldüğü ve 2016 yılında en düşük seviyeye geldiği anlaşılmıştır [14].

Buzul erimesi nedeniyle okyanuslardaki tuzluluk oranının artması, okyanus akıntıları ve bu akıntılara bağlı olarak değişim gösteren mekanizmaları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum okyanus akıntılarının geleceği konusunda endişelere neden olmaktadır. Kuzey Avrupa'da hüküm süren ılıman iklimin devamlılığı bakımından önemli olan Gulf Stream akıntısının akıbeti kaygıyla takip edilmektedir.

Sıcaklık artışıyla birlikte buharlaşma miktarı ve atmosferdeki nemlilik de artmaktadır. Hem deniz yüzeyinden atmosfere geçen su buharı hem de karalar üzerindeki su buharının yüksek miktarda olması ekstrem hava olaylarının (kasırgalar, sağanak yağışlar ve taşkınlar) daha geç sönmelenmesine neden olmaktadır.



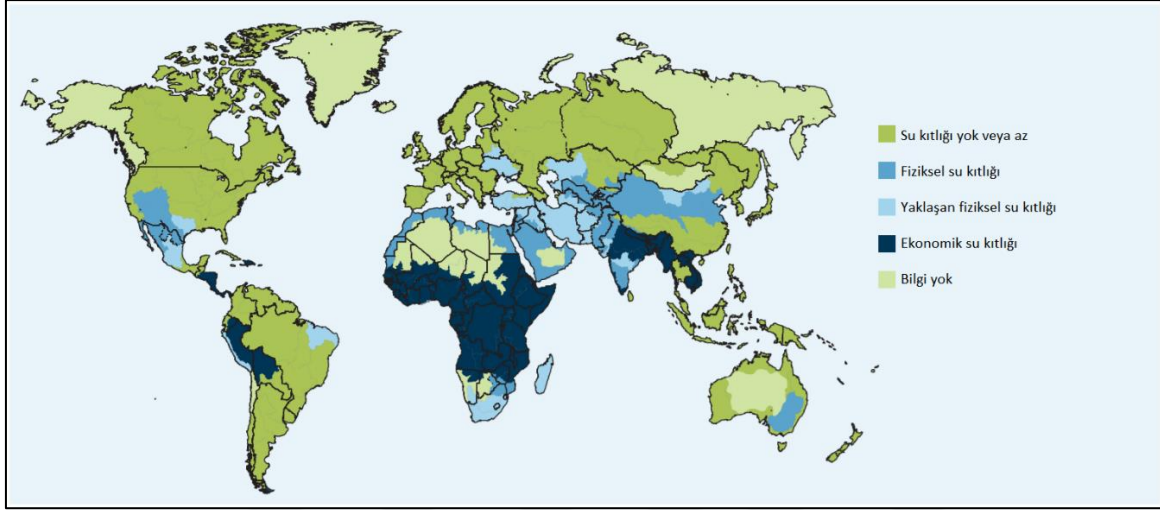
Şekil 2.2. İklim değişikliğinin etkileri (NOAA sitesinden alınarak sadeleştirilmiştir) [15]

Sıcak hava dalgalarının yoğunluğunun artması ve atmosferik sistemlerde denge durumuna ulaşamaması ekstrem hava olaylarının birbirinin ardı sıra gerçekleşmesine neden olmaktadır. Atmosferik belirsizlikler su kaynakları üzerindeki insan kaynaklı baskıların etkisini daha da kuvvetlendirmektedir. İçme suyu temini için kullanılan yerüstü su kaynakları, buharlaşma ve su tüketiminin artmasıyla yaz aylarında kuruma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Diğer taraftan yağışların dağılımındaki değişkenlik nedeniyle su toplama havzasına her zaman yeterli yağış düşmemektedir. Buna karşın bu kaynaklardan çekilen suların miktarı ya sabit kalmakta ya da artış göstermektedir. Sonuç olarak kaynaklar her geçen yıl bir öncekine göre daha da erken kurumaktadır.

Günümüzde nüfus ve su kaynaklarının dağılımındaki orantısızlık nedeniyle yaygın biçimde su kıtlığına maruz kalan bölgeler bulunmaktadır. FAO tarafından 2007 yılında 1,2 milyar insanın fiziksel su kıtlığı görülen bölgelerde yaşadığı ve 500 milyon insanın da bu sınıra yaklaştığı, 1,6 milyar insanın ise ekonomik nedenlerle su kaynaklarına erişiminin bulunmadığı ifade edilmektedir [16]. Diğer taraftan 2025 yılı itibariyle hali hazırda düşük gelire sahip bölgelerdeki su çekimlerinin %50 oranında artacağı ve dünya nüfusunun üçte ikisinin su kıtlığından zarar görme tehlikesiyle karşı karşıya kalacağı [17], çölleşme ve kuraklık nedeniyle 2030 yılında 50 milyon insanın göç etmek zorunda kalacağı [18] öngörülmektedir.

Yerküre üzerinde su kıtlığına maruz kalan bölgeler (Şekil 2.3) genel olarak ekvatorial kuşakta yer almaktadır. Bu bölgede yer alan ve çöl koşullarının hüküm sürdüğü (veya çölleşme

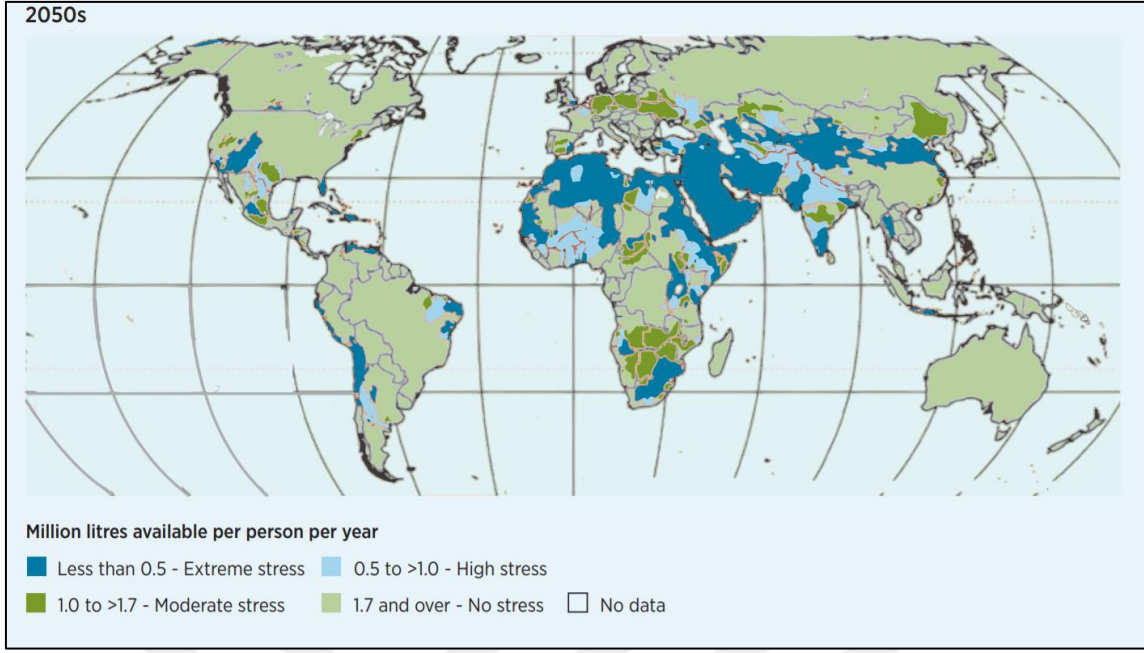
tehdidi altındaki) bölgelerde ise su kıtlığı yoğun biçimde yaşanmaktadır. Coğrafi anlamda Akdeniz'in güneyinde yer alan ülkelerde ve Asya kıtasının nüfus yoğunluğu yüksek iç bölgelerinde de su kıtlığı yaşanmaktadır. Bununla birlikte Afrika ve Asya kıtalarının güneyinde yer alan bölgelerde ise altyapı veya yatırım eksikliği gibi ekonomik nedenlerle su kaynaklarına erişimin kısıtlı olduğu görülmektedir.



Şekil 2.3. Küresel fiziksel ve ekonomik su kıtlığı [19]

İnsan nüfusunun yaklaşık olarak 10 milyar sınırına dayanacağı tahmin edilen 2050 yılı için yapılan projeksiyonlara göre, nüfusa bağlı baskılara ilaveten iklim değişikliği nedeniyle su kıtlığı yaşanan bölgelerin genişleyeceği tahmin edilmektedir (Şekil 2.4).

Buna göre Türkiye'nin de içinde yer aldığı bölgede yoğun biçimde su kıtlığı yaşanacağı öngörülmektedir. Bölgenin coğrafi özellikleriyle birlikte siyasi ve demografik yapısı da önem arz etmektedir. Bölgenin toplam nüfusu 2015 yılı itibariyle yaklaşık 300 milyon civarındadır [20]. Bölgede yaşanan işgaller, siyasi istikrarsızlık ve iç savaflara ilerleyen yıllarda su kıtlığının da eklenmesi daha vahim sonuçlara yol açabilecektir. Bu bakımdan su kıtlığının dikkatli biçimde ele alınması ve çözümler geliştirilmesi gereken bir husus olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.4. 2050 yılında su kıtlığı projeksiyonu [91]

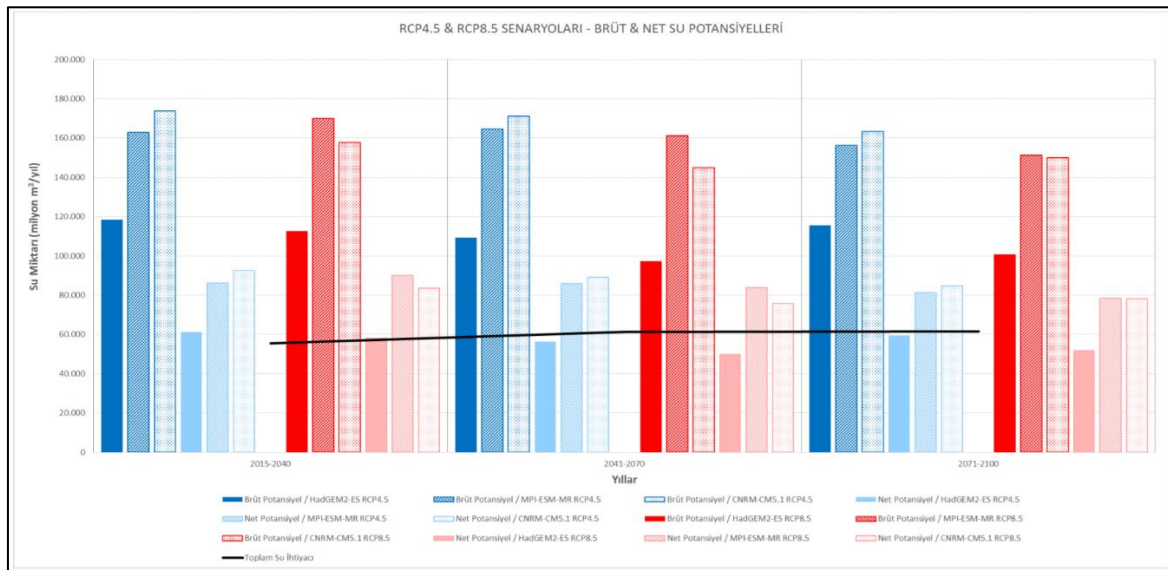
İklim değişikliğinin (yaz sıcaklıklarının artması, kar yağışlarının azalması, yüzey sularının kaybı, kuraklıkların sıklaşması, toprağın bozulması, kıyılarda erozyon, taşkın ve su baskınları gibi) olumsuz etkileri Türkiye'deki su kaynaklarının varlığını tehdit etmektedir [13]. Türkiye'nin su potansiyeli, Mülga Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi kapsamında yaklaşık 108,5 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından mevcut potansiyelin 112 milyar m³ olduğu (Şekil 2.5) ve bunun 44 milyar m³ civarında bir kısmının kullanıldığı değerlendirilmektedir [13]. Türkiye 2023 yılına kadar toplam kullanılabilir su potansiyelinin (112 km³) tamamını kullanmayı hedeflemektedir [21].

İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi kapsamında Türkiye'nin 2015-2100 yılları arasındaki su potansiyelinin projeksiyonu yapılmıştır. Proje kapsamında 3 farklı model (HadGEM2-ES, MPI-MSM-MR, CNRM-CM5.1) ve 2 farklı senaryo (RCP4.5 ve RCP8.5) ile üretilen projeksiyonlar referans dönem su potansiyeli ile karşılaştırılmıştır.

SU KAYNAKLARI POTANSİYELİ		
Yıllık ortalama yağış	643	mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783.577	km ²
Yıllık yağış miktarı	501	milyar m ³
Buharlaşma	274	milyar m ³
Yer altına sızma	41	milyar m ³
Yüzey Suyu		
Yıllık yüzey akışı	186	milyar m ³
Kullanılabilir yüzey suyu	98	milyar m ³
Yer Altı Suyu		
Yıllık çekilebilir su miktarı	14	milyar m ³
Toplam Kullanılabilir Su (net)	112	milyar m ³
Gelişme Durumu		
DSİ Sulamalarında Kullanılan	32	milyar m ³
İçmesuyunda Kullanılan	7	milyar m ³
Sanayide Kullanılan	5	milyar m ³
Toplam Kullanılan Su	44	milyar m ³

Şekil 2.5. Türkiye su kaynakları potansiyeli [21]

Projeksiyonlara göre Türkiye'nin su potansiyelinin 2015-2100 yılları arasında azalacağı öngörülmektedir (Şekil 2.6). HadGEM2-ES iklim modeli çıktılarına dayalı hidrolojik modelleme ile 2015-2100 dönemindeki 3 alt dönem için medyan brüt su potansiyellerinin, referans dönemi medyan değerine göre %40-45 azalacağını tahmin edilmektedir. Aynı şartlarda MPI-MSM-MR iklim modeli çıktılarıyla gerçekleştirilen hidrolojik model projeksiyonlarından elde edilen medyan brüt su potansiyeli azalma oranının %15-20 aralığında kalacağı tahmin edilmektedir [13].



Şekil 2.6. Türkiye'nin su potansiyeli projeksiyonları [13]

2.2. Su Kaynaklarının Akılcı Kullanımı ve Sürdürülebilirlik Kavramı

Geçtiğimiz yüzyılda özellikle 1970’li yıllardan itibaren ortaya çıkan çevre sorunlarının çözüm odaklı bakış açısıyla ele alınması neticesinde bir dizi uluslararası konferans gerçekleştirilmiştir. 2012 yılına gelindiğinde sağlanan gelişmeler ve durum değerlendirildiğinde, eksiklikler ve aksaklıkların giderilmesi için yeni taahhütlerin sağlanması gerektiği düşünülmüştür. Bu maksatla Rio Zirvesi’nin 20. yılında Rio’da Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı gerçekleştirilmiştir.

Birleşmiş Milletler Genel Merkezinde 25-27 Eylül 2015 tarihlerinde gerçekleştirilen Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesinde, 2030 yılına kadar yoksulluğu sona erdirmek, eşitsizlik ve adaletsizlikle mücadele etmek ve iklim değişikliğinin üstesinden gelmek için belirlenen 17 adet Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 193 ülkenin imzasıyla kabul edilmiştir. Zirvede sürdürülebilir üretim ve tüketim modelleri, sürdürülebilir şehirler, sürdürülebilir enerji kaynakları görüşülmüş ve bu konularda gerçekleştirilecek faaliyetlere ilişkin taahhütler de sonuç bildirgesine (İstedığımız Gelecek Dokümanı) yansıtılmıştır. Bu zirve ile sürdürülebilirlik bir tartışma konusundan ziyade bir uygulama planı haline gelmiştir. Yeşil ekonomiye geçiş, sürdürülebilir kalkınma için kurumsal çerçeve ve yürütme araçları gibi pek çok hususa sonuç bildirgesinde yer verilmiştir [22]. Zirve bildirgesinde 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi yer almaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri [22]

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 1972 Stockholm Konferansı'ndan bu yana tartışılan bütün meselelerin birbiriyle ilişkilendirilmiş bir sentezini ifade etmektedir. Buna göre yoksulluk ve açlığın sonlandırılması, eşitsizliklerin azaltılması gibi temel insani hedefler ile ekosistem kaynaklarının korunmasını önceliklendiren hedefler (sudaki yaşam, karasal yaşam, iklim eylemi) aynı çerçevede ele alınmaktadır. Bu yaklaşımın hareket noktası (özellikle son yüzyılda) Dünyamızda süregelen olayların tüm yeryüzünü etkileyecek boyuta ulaşmış olmasıdır.

Sürdürülebilir kalkınma perspektifinde çevresel hedeflere ulaşılması diğer bir dizi sosyal ve ekonomik hedefe ulaşılmasına bağlıdır. Bir sorunun çözümüyle ilişkili olarak uygulamaya alınan tedbirlerin başka bir sorunla sebep, sonuç veya birliktelik ilişkisi bulunmaktadır. Bu yaklaşıma göre ortaya çıkan problemler aslında pek çok başka problemin sonucu olduğundan, her bir sorunu münferit olarak ortadan kaldıracak basit çözümlere ulaşılmasının mümkün olmadığı kabul edilmektedir. Çevresel sorunlar bakımından değerlendirildiğinde birbiriyle yakından ilişkili olan hedefler şunlardır:

- İklim Eylemi (13)
- Sudaki Yaşam (14)
- Karasal Yaşam (15)
- Sürdürülebilir Şehir ve Yaşam (11)
- Temiz Su, Hijyen ve Halk Sağlığı (6)
- Sorumlu Tüketim ve Üretim (12)

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri yeryüzünde yaşanan her türlü sıkıntının çözümüne ilişkin temel perspektifin sürdürülebilirlik kavramına dayandığını ifade etmektedir. Buna göre ekosistem kaynaklarının iyileştirilebilmesi için yoksulluk, ayrımcılık gibi diğer birtakım sıkıntıların da üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Örneğin orman kaynaklarının korunabilmesi için orman ürünlerinin kullanımının düzenlenmesi ve dengelenmesi ile birlikte fakirlik nedeniyle orman kaynaklarının yok edilmesinin de önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu durumda sorunun çözülebilmesi için işsizlik, gelir dağılımındaki dengesizlik gibi sıkıntılara çözüm bulunması gerekmektedir. Benzer şekilde su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi de kentsel alanlardaki su tüketiminin düzenlenmesi ve ıslah edilmesine yönelik sosyal ve ekonomik tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir.

Bu yeni perspektifte tedbirler, her bir hedefin diğer hedeflerle olan ilişkisi gözetilerek planlanmaktadır. İstihdam ve toplumsal hizmetlerin planlanmasında yalnızca insanların refahı ve mutluluğu için değil aynı zamanda “çevre için çaba sarf etme” anlayışına giderek daha fazla yer verilmektedir. Bu konuda temel çerçeveyi oluşturan “yeşil ekonomi” kavramının uygulamaya konulması “doğal kaynaklar” bakımından son derece önemlidir. Üretim ve tüketim modellerinin yeniden ele alınarak, sosyal ve ekonomik hayatta yerellik ve yöreselliğin, gıda ve tüketim maddelerinde doğal büyüme koşullarının önceliklendirilmesi gibi pek çok ilke temellerini yeşil ekonomi ve sürdürülebilirlik kavramından almaktadır.

Çevresel anlamda sürdürülebilirlik, çevresel sorunların sosyal ve ekonomik boyutları ihmal edilmeden ekosistem varlıklarının insani faaliyetlerden etkilenim düzeyinin kontrol altına alınması ve yıkıcı sonuçların önlenmesini ifade etmektedir. Dolayısıyla çevresel bakımdan gerekli görülen tedbirlerin, ortaya çıkabilecek toplumsal olumsuzlukların giderilmesini hedef alırken diğer taraftan ekonomik anlamda iyileşme ve gelişme imkânı da sunması gerekmektedir.

Bu ilkelerden hareketle su kaynaklarının korunması konusunda alınabilecek “sürdürülebilir” tedbirler; yağmur suyu ve gri su kullanımı gibi uygulamaların mevzuat ve mali desteklerle teşvik edilmesi, kurumsal altyapılarının oluşturularak ekonomik sektörlere ve hizmet altyapılarına dönüştürülmesi ve yöresel düzeyde istihdam imkânı sunulmasını da sağlamalıdır.

2.3. Sürdürülebilir Binalar ve Su Yönetimi Uygulamaları

Yaşadığımız dünyada kentler, nüfusun yarısından fazlasına ev sahipliği yapmakta [3] ve enerji tüketiminin %60 ila 80’i, karbon salımlarının ise %75’i kentsel alanlardan gerçekleşmektedir [22]. Kentsel alanların doğal kaynaklar üzerinde oluşturduğu baskıların yıkıcı etkilerine karşın, iyileştirici tedbirler yoluyla sağlanabilecek ekolojik fayda potansiyeli de oldukça yüksektir. Binalar tüm dünyadaki enerji tüketiminin %40’ı ve içme suyu tüketiminin yüzde 12’sinden sorumlu durumdadır. Binaların doğal kaynak kullanımının azaltılması konusundaki potansiyeli %30 ila %70 arasında değişmektedir (Çizelge 2.1). Bu potansiyelin değerlendirilerek içme suyu kaynakları üzerindeki baskıların hafifletilmesi için son derece önemlidir.

Çizelge 2.1. Binaların çevresel etkileri [23]

Etki Kategorisi	Binaların payı	Azaltım Potansiyeli
Enerji kullanımı	%40	% 30 ~50
Sera gazı emisyonları	%38	%35
İçme suyu tüketimi	%12	%40
Katı atık üretimi	%40	%70

Sürdürülebilir bina kavramı, enerji ve su kullanımında verimlilik ve atık oluşumunun önlenmesi temelinde şekillenmiştir. Bununla birlikte bina kullanımının tasarruf odaklı düzenlenmesi, bakım giderlerinin ve işletme maliyetinin azaltılması, bina sakinlerinin sağlığı ve konforunun temini gibi hedefleri de kapsamaktadır. Bu hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için tasarım safhasında çeşitli öngörüler ve varsayımlar yapılmalıdır [24].

Sürdürülebilir konut tasarımı konusunda takip edilmesi önerilen temel prensipler; kaynakların korunması, fiyat etkinliği ve insan adaptasyonuna uygun tasarımıdır [25]. Bu temelden hareketle oluşturulan kavramsal çerçeve; doğal kaynak ve enerji kullanımında verimlilik, sera gazı salımlarının azaltılması, çevresel kirliliğin önlenmesi, konut içi hava kirliliğinin önlenmesi ve gürültü kirliliğinin azaltılması ve çevreyle uyumlu konutların inşa edilmesini kapsamaktadır. Ayrıca ideal bir konut inşaatının pahalı olmaması istenir. Konutun uygun bakım ve işletim şartlarında sonsuza kadar ayakta kalması, bununla birlikte kendi haline bırakıldığında kolayca doğaya karışabilmesi de beklenmektedir (Çizelge 2.2).

Günümüzde bu hedeflere ulaşmak için takip edilebilecek çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bunlardan bazıları bina kullanım programına odaklı biçimde inşa ve işletim verimliliği sağlarken diğer bazı yaklaşımlarda ise ileri teknoloji uygulamalarından faydalanılmaktadır. Bazı modellerle inşa teknikleri ve kullanılan malzemeler bakımından sürdürülebilirlik hedeflenirken diğer bazılarında ise sera gazı salımı azaltılması veya sıfırlanması hedeflenmektedir.

Bu yaklaşımlardan bazıları şunlardır:

- Akıllı bina (smart building)
- Nötr enerji- Enerji pozitif bina (net zero/ energy plus building)
- Küçük ev (tiny house)

- Kapalı cephe pasif bina (earth sheltered/bermed house)
- Yeşil bina (green building)

Bütün yaklaşımların temel hareket noktası insan ihtiyaçlarının doğal hayata en az seviyede etki yapacak biçimde ele alınmasıdır. Sosyal anlamda kabul edilebilir ve ekonomik gelişimi de destekleyecek tedbirlerin planlanmasıyla çevresel sürdürülebilirlik garanti altına alınabilmektedir. Bu kavramsal çerçevede özetle su kullanımına ilişkin olarak uygulanabilecek yöntemler şunlardır [25]:

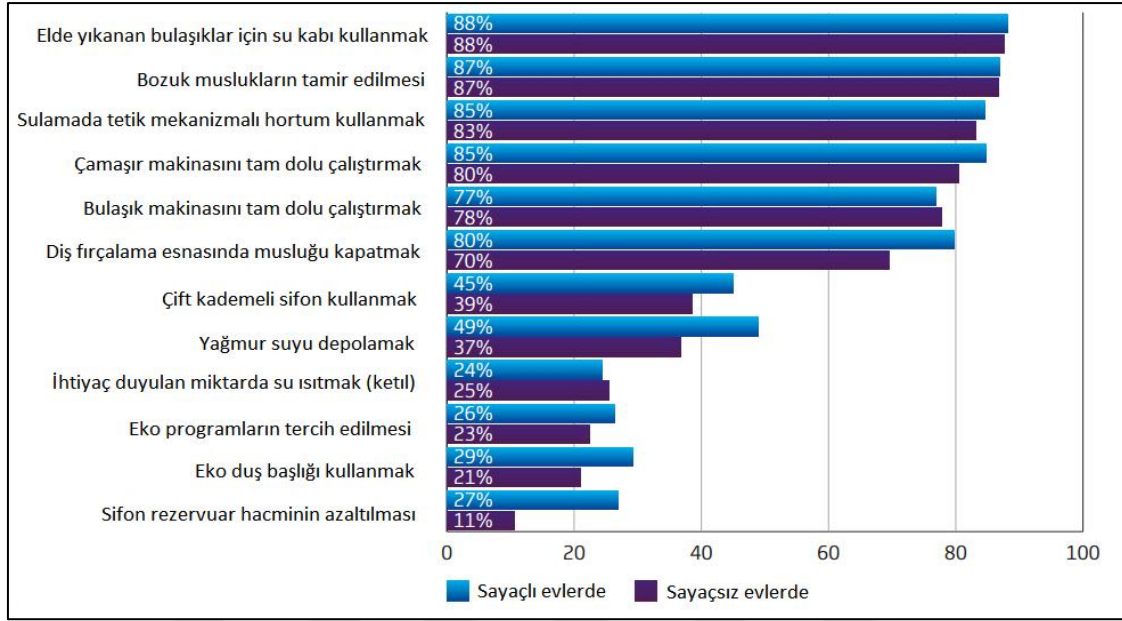
- Tasarruflu teçhizat kullanımı,
- Bina içi tesisatın geri kazanıma uygun tasarlanması,
- Yağmur suyu hasadı,
- Yeniden kullanım,
- Düşük tüketimli sulama.

Tasarruf uygulamaları su kullanan cihazların su tüketim performanslarının artırılmasına yönelik bir dizi tedbiri kapsamaktadır. Bu uygulamalardan bazıları teçhizatın su tüketiminin azaltılmasını sağlarken bazıları ise suyun kullanılma biçimini değiştirerek verimlilik sağlamaktadır. Perlatörlü ve sensörlü musluklar, çift kademeli sifon tertibatı ve benzeri cihazlar ile evlerde kullanılan suyun %21 ila %45 kadar tasarruf sağlanabilmektedir [26]. Diğer taraftan bozuk muslukların onarılması, çamaşır makinasının veya bulaşık makinasının tam dolu olarak çalıştırılması, bahçe sulamasında tabancalı hortum kullanılması ve sıcak su kullanan cihazların düşük ısı tüketen programlarda kullanılması gibi yöntemlerle de %88'e varan seviyede tasarruf sağlanabilmektedir (Şekil 2.8).

Çizelge 2.2. Sürdürülebilir konut prensipleri ve stratejileri [25]

Sürdürülebilirlik Prensipleri	Stratejiler	Uygulamalar
Doğal Kaynakların Korunması	Enerji tasarrufu	Malzeme ve uygulamaların seçimi, Bina karkasının yalıtımı, Enerji efektif dekonstrüksiyon ve geri dönüşüm, Düşük nakliye gereksinimi, Enerji efektif proseslerin seçimi, Pasif enerji tasarımı
	Malzeme tasarrufu	Atık yönetimi, Dayanıklı malzeme seçimi, Doğal ve yerel olarak temin edilebilen malzeme seçimi, Kirlilik kontrolü, Zehirli olmayan malzeme seçimi
	Su tasarrufu	Tasarruflu teçhizat kullanımı, Bina içi tesisatın geri kazanıma uygun tasarlanması, Yağmur suyu hasadı, Yeniden kullanım, Düşük tüketimli sulama, Basınç yönetimi
	Arazi tasarrufu	Mevcut binanın adaptif kullanımı, İnşaatin mevcut altyapıya yakın olması, Tarıma elverişsiz arazilerin kullanımı
Fiyat Etkinliği	Yatırım maliyeti	Yerel imkanlarla temin edilebilen malzemelerin kullanımı, Yerel olarak yönetilebilecek maliyet yönetimi, Modüler ve standart bileşenlerin kullanılması, Uygun fiyatlı yapı bileşenlerinin kullanımı ve sahada birleştirme için daha az masraf yapılması, Hazır malzeme kullanımı, Geri dönüştürülmüş veya geri kazanılmış malzeme kullanımı
	İşletme maliyeti	Düzenli bakım, tamir ve temizliğe uygun tasarım, Gerekli iş gücü ve uzmanlık seviyesinin temini, En az bakım ihtiyaçlarına göre tasarım, Yapı malzemeleri ve bileşenlerinin kullanım ömrüne uygun koşulların temini, Bina karkasının güneş, rüzgar, yağmur gibi dış etkenlerin yıkıcı etkilerine karşı korunaklı olması, Hane halkının kullanımına uygun erişimin temini
	Geri dönüşüm maliyeti	Yıkım kolaylığı ve geri dönüşüm potansiyeli, Mevcut binanın adaptif kullanım olanağı, Yapı malzemelerinin ve bileşenlerinin yeniden kullanımı
İnsan adaptasyonuna uygun tasarım	İnsan sağlığı ve konforunun korunması	Termal konfor, Akustik konfor, Gün ışığından yararlanma, Doğal havalandırma, Fonksiyonellik, Estetik
	Fiziksel kaynakların korunması	Yangın korumaya uygun tasarım, Doğal afetlere karşı koruma, Bina güvenliğinin sağlanması,

Son yıllarda (çamaşır makinası, bulaşık makinası ve benzeri su tüketen ürünlerin üretildiği) beyaz eşya sektöründeki teknolojik gelişmeler ile su tüketimi önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu konuda farklı ülkeler tarafından geliştirilen çeşitli etiketleme standartlarının (Amerika Watersense, Avrupa Waterlabel, Avustralya WELS) önemli rolü bulunmaktadır. Üreticiler takip ettikleri standartlar uyarınca ürünlerinin su kullanım performanslarını sürekli artırmaktadır. Etiketleme banyo teçhizatları, musluklar, klozet takımları ve duş başlıkları, mutfak bataryaları, sulama teçhizatı gibi geniş bir ürün yelpazesini kapsamaktadır.



Şekil 2.8. Su tasarruf uygulamaları ve tasarruf oranları [26]

Su tasarrufunda en temel yaklaşım, fazla su tüketen uygulamalardan vazgeçilmesidir. Ancak bu yaklaşımın başarıyla uygulanması, yüksek su tüketimine sahip cihazların değiştirilmesi iradesi de dahil olmak üzere insan davranışıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle istenilen tasarruf düzeyine ulaşılabilmesi ancak kişisel inisiyatifle mümkün olmaktadır. Evsel ölçekte su tasarrufunun sağlanması için insan davranışına bağımlı tedbirlerden ziyade sistematik tedbirlere gereksinim duyulmaktadır. Bu tedbirler en basit anlamda tasarruflu teçhizat kullanımını [27] ve daha ileri tekniklerin tesisata uygulanmasını gerektirmektedir. Gri su kullanımı ve birden fazla uygulamanın (yağmur suyu ve gri su) birbiriyle entegrasyonu ile kişisel tercihlerin ötesinde tutarlı bir tasarruf mümkün olabilmektedir. Ancak bu anlamda uygulanabilecek tedbirler evsel su kullanım detaylarının bilinmesini gerektirmektedir.

2.3.1. Yağmur suyu hasadı

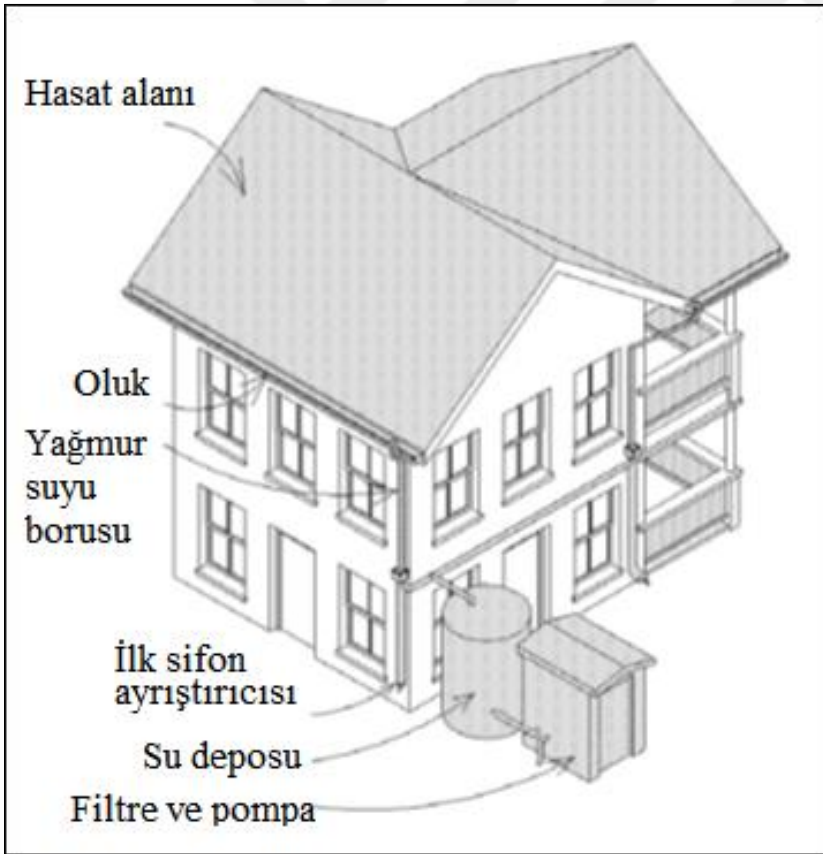
Yağmur suyu hasadı antik çağlardan beri pek çok tarihi kente içme suyu sağlayan bir su temini yöntemidir. Arkeolojik bulgular yağmur suyu hasadının geçmişinin Çin’de M.Ö. 6000 yıllarına kadar uzandığını göstermektedir [28].

Günümüzde yağmur suyu hasadı ileri teknoloji gereksinimi olmaması ve kolayca uygulanabilmesi nedeniyle ekonomik bakımdan yetersiz düzeydeki pek çok bölgede

tarımsal sulama ve içme suyu temini maksadıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Kentsel alanlarda yağmur suyu uygulamalarının faydaları şunlardır [29]:

- Kısıtlı su imkanına sahip konutlar için ilave su kaynağı,
- Kurak dönemler veya içme suyu şebekelerinde meydana gelebilecek kesintiler için yedek su kaynağı,
- Hastalık ve salgın durumlarında güvenli su temin imkânı,
- Kentsel bölgelerdeki sağanak yağışlar için taşkın ve sel kontrol mekanizması [30].

Tarımsal maksatlı yağmur suyu hasadında yağış kanalları vasıtasıyla geniş havuzlar veya kuyular içerisinde depolanmaktadır. Eysel uygulamalarda ise konutların çatılarından toplanan yağmur suyu bir biriktirme haznesinde bekletilerek veya arıtma uygulanarak kullanılmaktadır (Şekil 2.9). Sistem bileşenleri yağmur toplama alanı (çatı), çatı olukları, toplama borusu, filtreler, ilk sifon aparatı ve depodan oluşmaktadır.



Şekil 2.9. Eysel yağmur suyu hasat sistemi [31]

Çatı ve depo dahil tüm bileşenler metal, plastik, kil ve benzeri malzemelerden yapılabilmektedir. Yaygın olan konstrüksiyon çatıların metal veya kiremitten, diğer

bileşenlerin metal veya plastikten yapılmasıdır. Yağmur suyu hasadında çatılardan kaynaklanan organik kirlilik nedeniyle toplanan yağmur suyu kirlenmektedir. Bu nedenle yağışın belli bir bölümünün ilk sifon (first flush) ile hazneye alınmadan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bununla birlikte uzaklaştırılan yağış miktarı yağışın süresi ve şiddetine bağlı olarak değiştiğinden su hasadının gerçekleşmediği durumlar söz konusu olmaktadır.

Sistemden uzaklaştırılan yağış fraksiyonu ve depolama tankındaki su kalitesi fiziko-kimyasal parametreler (pH, Çözünmüş oksijen, Sıcaklık, Elektriksel iletkenlik, NO_x-N, Organik madde ve Toplam Fosfor) açısından tetkik edildiğinde depolama tankındaki su kalitesinin NH₄-N dışında standartları sağlayabildiği görülmektedir. Buna karşın depolama tankındaki suyun kalitesi mikrobiyolojik parametreler açısından standartları sağlayamamaktadır [32]. Bu nedenle ilk yağış fraksiyonu ayrıştıran sistemin farklı yağış karakteristiklerine uygun biçimde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca yağmur suyunun analiz edilerek kullanım amacına göre arıtıma tabi tutulması gerekebilir (Çizelge 2.3).

Yağmur suyunun kalitesi bölgeden bölgeye farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca hasat edilen yağmur suyunun kalitesi ve depolamadaki suyun kalitesi de mevsimsel ve dönemsel olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Yaz ve sonbahar dönemlerinde hasat edilen yağmur suyunun kalitesi Toplam Koliform ve E. Coli parametreleri için yüksek değerlerde seyretmekte ve yüksek değişkenlik göstermektedir (Toplam Koliform 50~300 CFU/100 ml, E. Coli 10~80 CFU/100ml). Hasat edilen suyun kalitesine bağlı olarak depolama haznesindeki mikrobiyolojik kirlilik daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır [33].

Yağmur suyunun uygun biçimde hasat edilebilmesi yağışın miktarı ve sürekliliğine bağlıdır. Bölgesel ve topoğrafik farklılıklar nedeniyle yağışın dağılımı farklılaşmaktadır. Yağış dağılımı ve yağış şiddeti sistem performansını ve boyutlandırmasını etkileyen faktörlerdir. Yağmur suyu hasadı sisteminin boyutlandırılması için toplama yüzey alanının ve rezervuar hacminin belirlenmesi gerekmektedir. Evsel uygulamalarda çoğu durumda (ilave yatırım olmaksızın) toplama yüzey alanının sabit kaldığı kabul edilirse sistemin tasarlanması aşamasında rezervuar hacminin belirlenmesi yeterli olmaktadır. Sistemden uzaklaştırılacak ilk yağış miktarının belirlenmesi konusunda başlangıç kabulleri yapılabilmektedir. Bununla birlikte bu parametrenin iyileştirilmesi yağışın durumu ve işletim koşullarına bağlıdır.

Çizelge 2.3. Yağmur suyu arıtma yöntemleri [31]

Yöntem	Uygulama Yeri	Faydası
Izgara (perdeleme)	Çatı oluğu ve toplama oluğu	Yapraklar ve diğer maddelerin girişini engeller.
Çökeltme (sedimentasyon veya aktif karbon)	Depolama tankı ve musluk girişi	Partikül madde ve klor giderimi
Filtreleme (Çatı yıkama, kartuşlu, aktif karbon veya yavaş kum filtresi)	Depolama tankı girişi Pompa çıkışı Sediman filtresinden sonra Ayrıştırma tankı	Askıda katı madde giderimi Sedimanın süzülmesi Klor giderimi, tat giderimi Partikül madde tutulması
Mikrobiyolojik giderim, dezenfeksiyon (Kaynatma, distilasyon) Kimyasal arıtım Ultraviyole Ozon Nano filtrasyon Ters ozmos	Kullanım öncesi Depolama tankı veya pompa içi (sıvı, tablet veya granül) Aktif karbon filtresi öncesi ve sonrası Musluk öncesi Kullanım öncesi (membran polimer)	Mikro organizma giderimi, İnorganik kirlilik giderimi,

2.3.2. Gri su kullanımı

Evsel düzeyde su tasarrufu sağlayan yöntemlerin başında üretilen atık suların yeniden kullanılması gelmektedir. Bu yöntemin uygulamaya konulabilmesi için evsel ölçekte oluşan atıksuların niteliğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilginin elde edilmesi için de evlerde gerçekleşen faaliyetler ve bu faaliyetlerde kullanılan maddelerin mahiyetinin bilinmesi gerekir. Evlerde gerçekleşen ve suyla ilişkilendirilebilecek faaliyetler şunlardır:

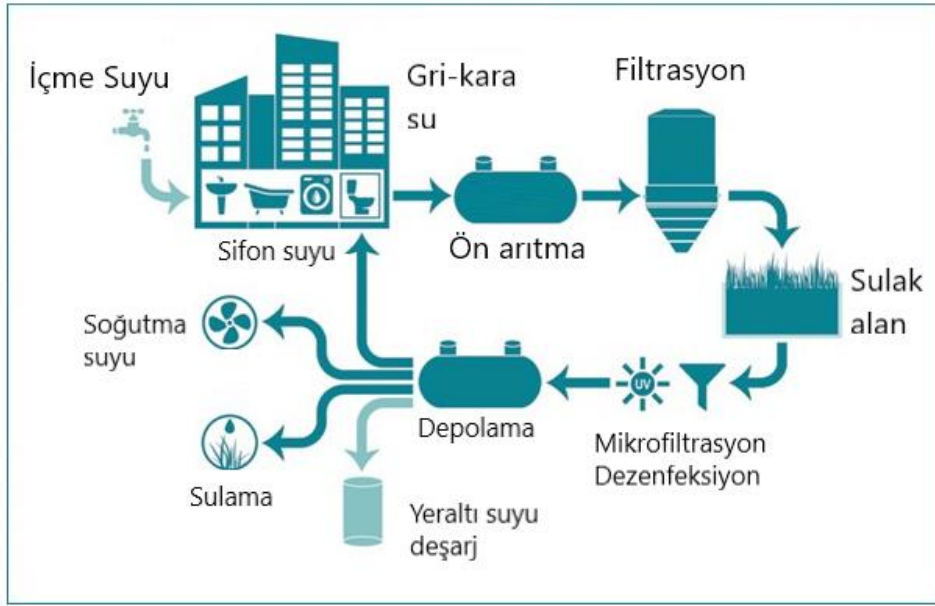
- Yemek pişirme,
- Gıda temizliği,
- Kişisel temizlik,
- Duş ve banyo,
- Tuvalet kullanımı,
- Bitki sulama,
- Ev temizliği,
- Isıtma,
- Soğutma,
- Bulaşık yıkama,
- Çamaşır yıkama.

Burada ifade edilen faaliyetlerin birbiriyle ilişkisi değerlendirildiğinde duş-banyo kullanımlarıyla kişisel temizlik kullanımları arasında önemli bir ayrım ortaya çıkmakta ve bu durum oluşan gri suyun kullanılabilirlik durumunu etkilemektedir. Suyun kullanıldığı kaynak, kullanım miktarı ve toplandığı bölge göz önüne alındığında, traş olmak veya el-yüz yıkamak gibi kişisel temizlik olarak ifade edilebilecek faaliyetlerle duş-banyo arasındaki fark anlaşılmaktadır. Zira kişisel temizlik ihtiyacının evdeki muhtelif musluklardan karşılanabileceği, buna karşın duş-banyo için özel olarak ayrılmış bir alanda suyun kullanılmasına bağlı olarak suyun toplanabilme imkânı ve suyun niteliği değişkenlik göstermektedir. Bu bakımdan değerlendirildiğinde kişisel temizlik için kullanılan su ile duş-banyo suları birbirinden ayrılmaktadır. Ayrıca üretilen atık suların niteliği de farklılık arz etmektedir.

Evlerde üretilen atık suların muhteviyatı ve fiziksel özellikleri kullanıldığı bölgeye göre farklılık göstermektedir. Örneğin bulaşık ve çamaşır makinası gibi cihazlar suyu çeşitli kimyasalların ilavesiyle ve belli bir sıcaklığa kadar ısıtarak kullanırken bitki sulaması, ısıtma veya soğutma için kullanılan sular genelde kaynağından alındığı haliyle kullanılmaktadır.

Üretilen atık suların niteliği bakımından gıda yıkama sularıyla, çamaşır ve bulaşık makinası, duş-banyo, ısıtma-soğutma suları veya ev temizliği suyunun fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik özellikleri farklılık göstermektedir. Organik yük bakımından yoğun içerikli fraksiyon (kara su) ile kimyasal maddeler bakımından zengin fraksiyon (duş-banyo, çamaşır ve bulaşık makinası suları) arasındaki farklılıklar bu suların yeniden kullanım potansiyelini de etkilemektedir. Bu bakımdan, evsel su kullanımında tasarruf odaklı bir düzenleme yapılması yeniden kullanılabilir fraksiyonun (gri suların) miktarının tespit edilmesini ve buna uygun düzenlemelerin yapılmasını gerektirmektedir. Gri suların yeniden kullanımı konusunda ihtiyaç doğrultusunda hem konut içerisinde hem de konut dışında uygulanabilecek çeşitli alternatifler bulunmaktadır (Şekil 2.10).

Bu konuda üzerinde durulabilecek alternatifler; kara su-gri suların birlikte arıtılarak veya gri suların ayrı toplanarak konut içi ve konut dışında kullanılmasıdır. Ancak hedeflenen tasarruf düzeyi ve yatırım büyüklüğüne bağlı olarak gri suların arıtılmadan kullanılması potansiyeli de mevcuttur.



Şekil 2.10. Konutlarda gri su kullanımı [34]

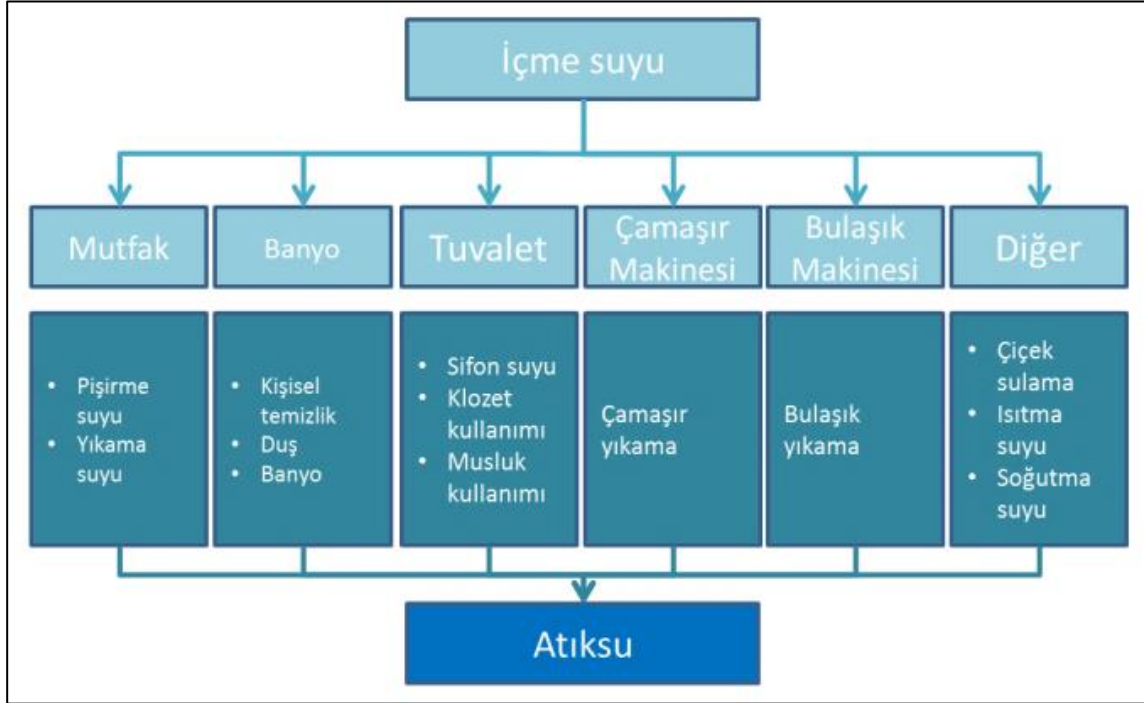
2.3.3. Evsel su kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesi

Evlerde kullanılan su genel olarak içme suyu şebekelerinden veya sondajla yeraltı suyu kaynaklarından alınmaktadır. Herhangi bir tasarruf tedbiri uygulanmadığı durumda alınan sular kullanıldıktan sonra bina içi atıksu toplama hattına ve nihai olarak kanalizasyona verilmektedir (Şekil 2.11).

Bütün evsel ihtiyaçlar için içme suyunun kullanılması hem ekonomik bakımdan hem de ekosistem açısından pahalı bir yaklaşımdır. Bu kullanım şekli içme suyunun israfına neden olmaktadır. Bu israfı azaltmak amacıyla uygulanabilecek çeşitli alternatifler bulunmaktadır. Bu bölümde uygulamaya alınabilecek farklı alternatifler değerlendirilmiştir.

Evsel ölçekte su tasarrufu konusunda en temel sorun, gıda maddelerinin yanı sıra insan vücuduna temas nedeniyle çamaşır ve bulaşıkların yıkanması için kullanılan suyun da içme suyu kalitesinde olması beklentisidir. Literatürde yer alan araştırmalar ışığında, yağmur sularının düzgün bir hasat sistemi ile toplanması ve gerekliyse arıtım uygulanması durumunda bulaşık makinası veya çamaşır makinası gibi cihazlarda kullanımının halk sağlığı açısından risk oluşturmayacağı öngörülmektedir [30, 32]. Ayrıca evsel su tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturan tuvalet rezervuarlarında kullanılan suyun kalitesi konusunda koku ve benzeri estetik kirliliğe yol açmaması haricinde bir kalite gereksinimi

bulunmamaktadır. Buna karşın tuvalet rezervuarı da dahil olmak üzere tüm evsel ihtiyaçlar için içme suyu kullanılmaktadır.

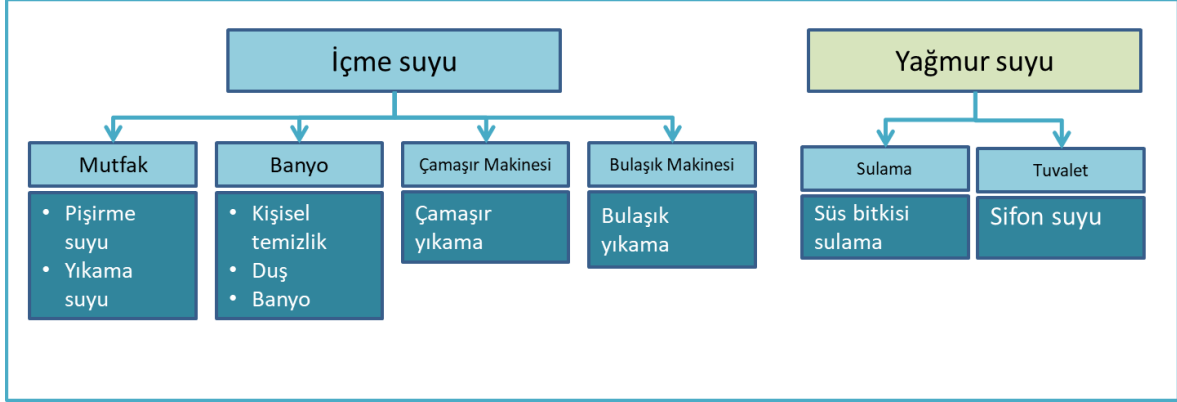


Şekil 2.11. Evlerde su kullanımı

Yağmur suyu hasadı düşük teknoloji gereksinimi ve kolay uygulama özellikleri nedeniyle, pişirme suyu ve gıda maddelerinin yıkanması gibi ihtiyaçlar dışarıda tutulduğunda, kalan evsel kullanımlar için içme suyu yerine kullanılabilir alternatif kaynaklar arasında en yaygın olarak başvurulan yöntemlerden biridir.

Yağmur suyu antik çağlardan itibaren içme suyu ve tarımsal sulama amacıyla yaygın biçimde kullanılmıştır. Günümüzde sanayi suyu, kentsel rekreasyon (yağmur bahçeleri) ile taşkın koruma amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Yağmur suyunun kalitesi çoğu durumda içme suyu için belirlenen standartları sağlamasına karşın hasat sisteminin yapısı ve işletim koşulları nedeniyle kalite kaybı yaşanabilmektedir. Bazı psikolojik çekinceler nedeniyle bu suların insanla doğrudan teması olan noktalarda (banyo, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve sebze-meyve sulama) kullanımı her durumda mümkün olmamaktadır. Bu durumda, bu çalışmada ilk alternatif olarak, yağmur suyu kullanımının kalite gereksinimi en düşük seviyede olan evsel ihtiyaçlar için değerlendirilmesi ele alınmıştır. Bu tarz bir senaryo için öngörülen kullanım alanları süs bitkilerinin sulanması ve tuvalet rezervuarlarında

kullanımdır (Şekil 2.12). Bu alternatif ile uygun iklimsel koşullara (yeterli yağış ve uygun yağış rejimi) sahip bölgelerde büyük bahçeli veya yüksek katlı binalar için su tasarrufu sağlanması mümkündür.



Şekil 2.12. Yağmur suyu kullanım alternatifi

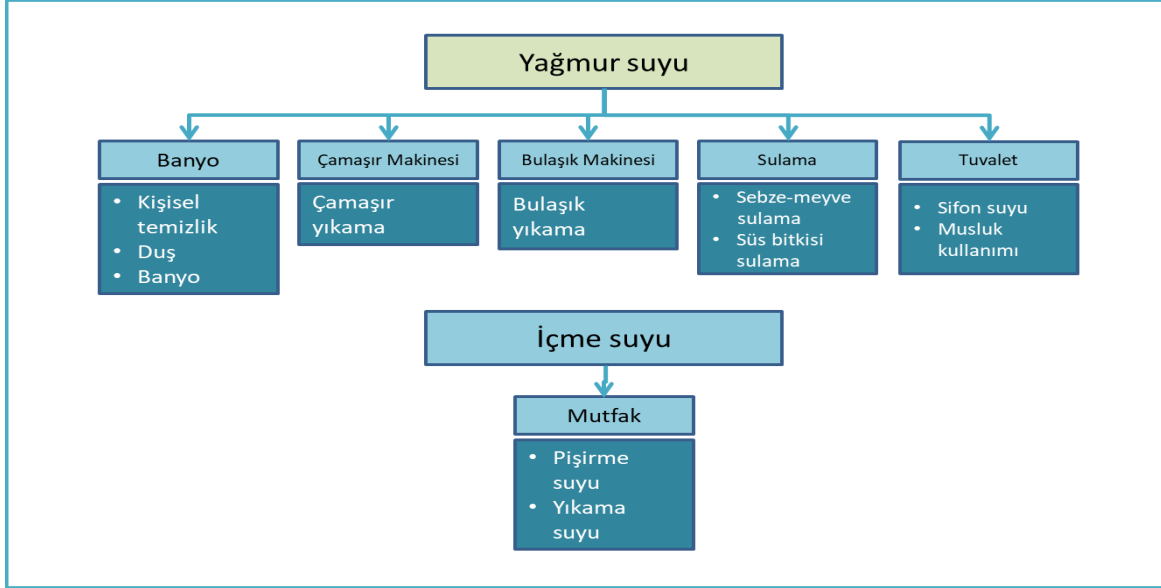
Yağmur suyunun insan vücuduna temasının kabul gördüğü durumlarda ise mutfak, çamaşır makinası ve bulaşık makinası ile birlikte banyoda kullanılan su için yüksek seviyede hijyen gereksinimi bulunmaktadır. Yağmur suyunun arıtma uygulanmaksızın içme ve yemek pişirme suyu olarak kullanımı ile çeşitli sağlık sorunlarına neden olması muhtemeldir.

Çamaşır makinası, bulaşık makinası ve yıkanma suyu için suyun mineral dengesinin içme suyu kadar önemi bulunmamaktadır. Bu ihtiyaçlar için yağmur suyu kaynatma gibi basit yöntemlerle elverişli hale getirilebilmektedir. Ayrıca çamaşır makinası ve bulaşık makinası gibi saf su kullanımının önem arz etmeyeceği durumlarda kullanılacak çeşitli distilasyon cihazlarıyla yağmur suyu kullanıma elverişli hale getirilebilmektedir [35].

Tuvalet rezervuarında kullanılan suyun düşük kalitede olmasının da hijyenik koşullar uygun olduğu sürece önemi bulunmamaktadır. Benzer biçimde süs bitkilerinin sulanması için de mikrobiyolojik bakımdan uygun olması kaydıyla yağmur suyu kullanılabilir.

Isıtma ve soğutma sistemleri her ne kadar evsel kullanım başlıkları arasında yer alsada genel olarak kapalı ya da görece az su tüketen sistemler olduklarından bu araştırmanın kapsamında yer verilmemiştir. Bu çerçevede değerlendirilen diğer bir alternatif yaklaşım da yağmur suyunun belirlenen tüketim noktalarına (banyo, çamaşır makinası, bulaşık makinası veya

tuvalet) taşınarak ikincil kaynak olarak kullanıma sunulmasıdır (Şekil 2.13). Bu durumda mevcut şebekeye ikinci bir taşıma hattı eklenmesi gerekmektedir.

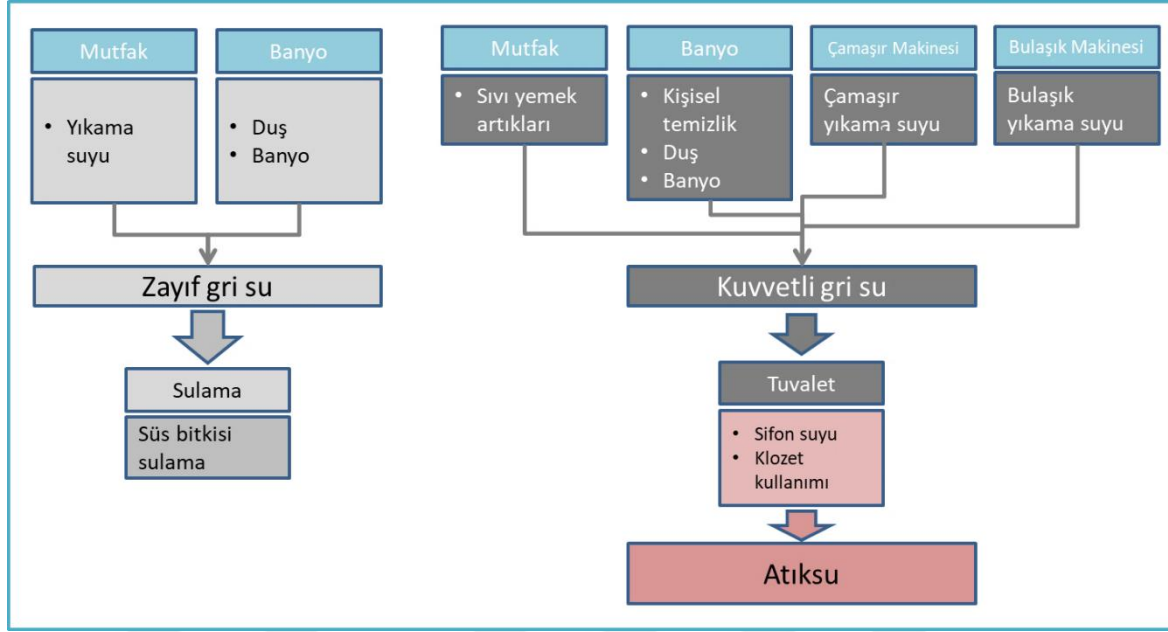


Şekil 2.13. Yüksek düzey yağmur suyu kullanım alternatifi

Yağmur suyuyla insan temasının kabullenilmesi nedeniyle tuvalet (taharet musluğu) kullanımını da tüketim birimine ilave edilmiştir. Buna karşın bu kullanımın oranının tespiti oldukça zor olduğundan, hesaplamalarda herhangi bir etkisinin olmadığı kabul edilmiştir.

Yağmur suyuyla karşılaştırıldığında gri suyun kullanım imkanları hem daha kısıtlı hem de altyapı gereksinimi daha fazladır. Ayrıca gri suyun konut içerisinde taşınması ve kullanıma sunulması çeşitli riskleri barındırmaktadır. Bu nedenle gri su kullanımını konusundaki alternatifler arasında en ihtiyatlı yaklaşımlar göz önünde bulundurulmuştur. Konutlarda üretilen gri suların kaynakları Şekil 2.14.'te gösterilmiştir.

Gri suların kompozisyonları ve alternatif kullanım alanları bir arada değerlendirildiğinde, en az sağlık riski teşkil eden seçeneğin sadece tuvalet rezervuarlarında kullanımı olduğu görülmektedir. Yeniden kullanım oranını artırabilecek bir diğer seçenek de süs bitkilerinin sulanmasıdır. Ancak konut dışı su tüketimi araştırma kapsamı dışında tutulmuştur ve bu senaryoda sulamada gri su kullanımına yer verilmemiştir.



Şekil 2.14. Gri sular ve kullanım alternatifleri

Zayıf karakterli gri suların toplanması hem ilave toplama hattı tesis edilmesini hem de bu suların üretildiği noktalarda özel kullanım koşullarına riayet edilmesini gerektirmektedir. Örneğin mutfaktaki gıda yıkama sularının toplanması gıda yıkama işi için ayrılmış lavaboların tesis edilmesini gerektirmektedir. Toplanan suyun kullanılabilirliği gıda maddelerinin düzenli olarak bu özel lavabolarda yıkanmasına bağlıdır. Benzer biçimde banyo ve duş sularının da fekal, ürinal fraksiyonlar ya da kişisel temizlik artıklarından arınmış biçimde toplanması gerekmektedir. Bitki sulaması öngörüldüğünde ise kullanılan sabun ve şampuanların da bitkileri olumsuz biçimde etkilemeyecek ürünler olması gerekmektedir. Araştırma kapsamında kurgulanan sistemde toplanan suların arıtılmadan kullanımı önceliklendirilmiştir. Zayıf gri suların tuvalet rezervuarı dışında kullanımı sistemin karmaşıklığını ve maliyetini yükselteceğinden bu türden alternatifler göz ardı edilmiştir.

Kuvvetli gri sular, gıda yıkaması ve banyo ile duşlardan oluşan sular haricinde kalan kısmı ifade etmektedir (Bkz Şekil 2.14). Kuvvetli gri sular yoğun biçimde organik kirlilik ihtiva etmektedir. Bu nedenle kanalizasyon hattına verilmeden önce kullanılabilen yegâne birim tuvalet rezervuarlarıdır. Bu birimdeki kullanımın da yine hijyen ve estetik problemlere neden olmayacak biçimde ele alınması gerekmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, tüm gri suların insan temasının olmadığı kapalı bir rezervuarda toplanarak sağlık açısından risk oluşturmayacak biçimde kullanıma sunulması öngörülmüştür.

2.4. Ankara Bölgesi İklimsel ve Su Temin Sistemi Özellikleri

Cumhuriyet'in ilanından sonra daha yeni ve farklı bir görünüme kavuşan Ankara'da başkent olmanın getirmiş olduğu nedenlerle pek çok örnek proje hayata geçirilmiştir. Çubuk 1 Barajı da bu projeler arasında içme suyu temin sisteminin hayati bir aşamasını temsil etmektedir [36].

Başkent olduğunda nüfusu 30bin civarında olan Ankara'nın nüfusunun hızla artması hem mevcut su kaynaklarının çeşitlendirilmesi hem de altyapının yenilenmesi ihtiyacını doğurmuştur. 1925 yılında mevcut su kaynaklarının yetmemesi üzerine Belediye, şebeke ve depo kurma çalışmalarını gerçekleştirmiştir. 1937 yılında işletmeye alındığında Türkiye'nin ilk barajlarından biri olan Çubuk I Barajı Ankara'nın su sıkıntısına çözüm olmuştur. Bununla birlikte su sıkıntısının 1940-1959 yılları arasında tekrar baş göstermesi üzerine 1949'da kurulan Ankara Sular İdaresi tarafından açılan 95 kuyu ile günde 120.000 m³ su temini sağlanmıştır. Daha sonra 1964 yılında Çubuk 2, 1965 yılında Bayındır, 1967 yılında da Kurtboğazi Barajı DSİ Genel Müdürlüğü tarafından tesis edilerek kullanıma girmiştir. 1964 yılında Çubuk 2 Barajı, 1967 yılında Kurtboğazi Barajı, 1984 yılında İvedik Arıtma Tesislerinin 1. Ünitesi işletmeye alınmıştır. Ankara'nın en büyük içme suyu kaynağı olan Çamlıdere Barajı 1968-1969 yıllarında hazırlanan "Ankara Şehri Su ve Kanalizasyon Master Planı kapsamında 1985'te faaliyete geçmiştir [37].

Günümüzde Ankara'nın günlük su ihtiyacı (yaklaşık 1,3 milyar m³), Çamlıdere, Eğrekkaya, Kurtboğazi, Kavşakkaya, Akyar, Çubuk-2 ve Elmadağ yeraltı Barajı'ndan karşılanmaktadır. Bu barajların toplam su tutma kapasitesi 1,6 milyar m³ civarındadır (Çizelge 2.4).

Dağıtım sistemi tesisleri bazında Ankara'da 5 İçme Suyu Arıtma Tesisi, 12 Atıksu Arıtma Tesisi, 50 Paket İçme Suyu Arıtma Tesisi, 6 Paket Atıksu Arıtma Tesisi, 1 Laboratuvar Hizmet Binası, 80 Pompa İstasyonu, 113 Su Deposu ve Mahalle statüsüne geçen köylerde 432 Su Deposu, 284 Kuyu ve Pompa İstasyonu bulunmaktadır [37].

Kente su sağlayan sistem çeşitli kaynaklardan oluşmaktadır. İki farklı koldan gelen sular arıtma tesislerinden geçtikten sonra farklı noktalardan kente verilmektedir (Şekil 2.15).

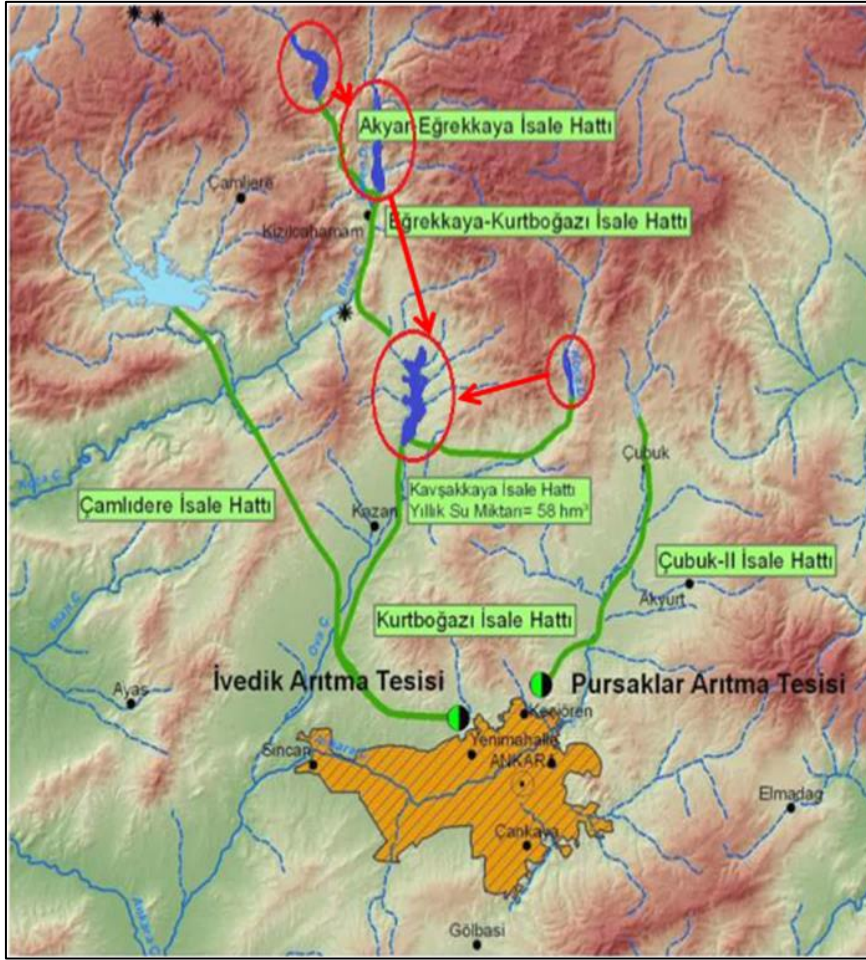
Çizelge 2.4. ASKİ barajlar günlük toplam kapasite [6]

Barajların Toplam Hacmi (m ³): 1.584.555.000 m ³		
Tarih	21.10.2017	21.10.2018
Barajlarımızdaki Su Miktarı	358.002.750 m ³	353.391.000 m ³
İvedik Su Arıtma Tesisinden Verilen Su Miktarı	1.111.000 m ³	1.232.000 m ³
Pursaklar Su Arıtma Tesisinden Verilen Su Miktarı	21.300 m ³	35.300 m ³
Çubuk Su Arıtma Tesisinden Verilen Su Miktarı	19.200 m ³	24.000 m ³
Şehre Verilen Toplam Su Miktarı	1.185.200 m ³	1.328.079 m ³
Barajlara Gelen Su Miktarı	564.200 m ³	224.279 m ³
Yüzde	%22,57	%22,30

Akyar, Eğrekkaya ve Kavşakkaya Barajları Kurtboğazı Barajını beslemekte olup, Kurtboğazı ve Çamlıdere Barajlarından alınan su, İvedik İçme Suyu Arıtma Tesislerinde arıtılarak şehre verilmektedir. Çubuk-2 Barajından alınan su, Çubuk ve Pursaklar İçme Suyu Arıtma Tesislerinde arıtılarak, Çubuk ve Pursaklar ilçesine verilmektedir. Kurtboğazı Barajı'ndan alınan su, Kazan İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde arıtılarak, Kazan ilçesine verilmektedir. Kesikköprü Barajı, yedek su kaynağı olarak kullanılmaktadır. Elmadağ Yeraltı Barajı, Elmadağ ilçesinin su ihtiyacını karşılamaktadır [37] .

İçme suyu temin sisteminin temel özelliği kentin kuzeyinde kalan ve nüfus ve sanayi gibi baskı faktörleri açısından risk arz etmeyen kaynaklardan oluşmasıdır. Bununla birlikte özellikle son yıllarda yağış rejiminde ortaya çıkan değişiklikler nedeniyle mevcut kaynaklarda toplanan sulara azalma gözlemlenmektedir. Bu nedenle zaman zaman Kızılırmak suyunun içme suyu temin sistemine dahil edilmesi söz konusu olmaktadır. Kızılırmak suyunun alındığı Kesikköprü Barajı havzası ise diğer kaynaklardan farklı özellikler sergilemektedir.

Kızılırmak suyunun içme suyu temin sistemi açısından dezavantajı Kesikköprü Barajı'ndan İvedik Arıtma Tesisine dek beş kez pompa istasyonlarına uğrayan suyun, enerji kayıplarıyla birlikte toplamda 720 metre yükseltilmesi ihtiyacıdır. Gerede Projesi ile Ankara içme suyu temin sisteminin kapasitesinin artırılarak Ankara iline Ulusu çayından 226,05 hm³/yıl su Çamlıdere barajına gönderilmesi hedeflenmektedir [38].



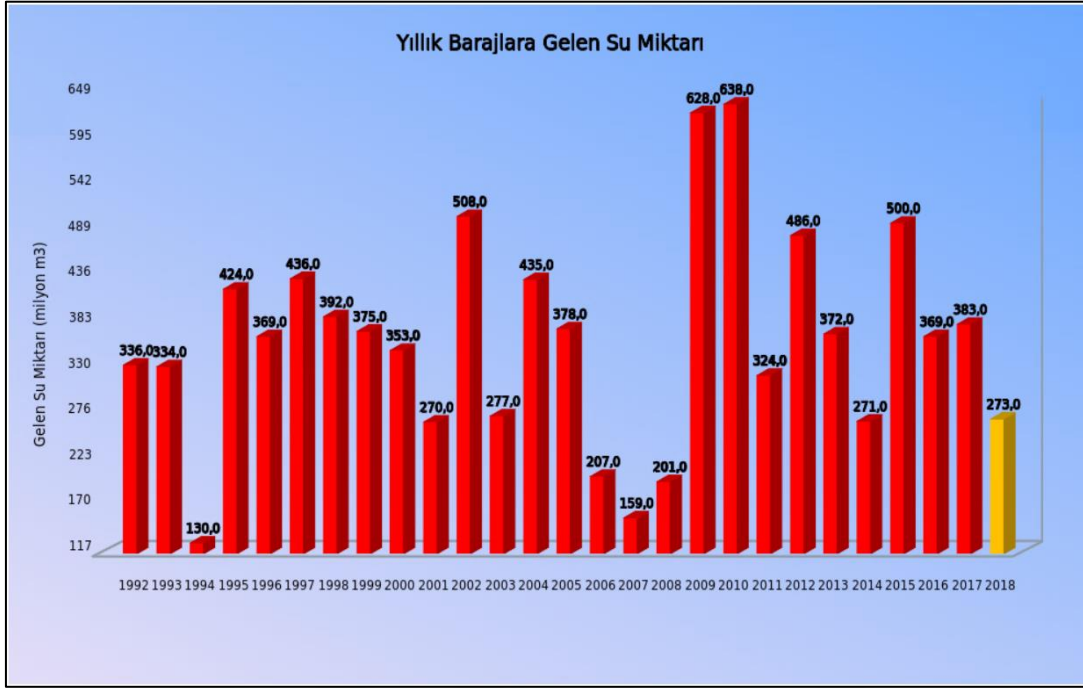
Şekil 2.15. Ankara içme suyu sistemi [38]

Ankara içme suyu temin sistemine giren toplam su miktarları değerlendirildiğinde (Şekil 2.16), barajlara gelen toplam su miktarının yıllara göre geniş bir aralıkta değişim gösterdiği görülmektedir. Bu değişkenlik yarı kurak iklim koşulları ile açıklanabilmektedir. Yarı kurak iklim bölgeleri, yıllık 500 mm'den daha az yağış alan, çöllerden sonraki en kurak bölgeler olarak değerlendirilmektedir [39]. Yarı kurak bölgeler yağışın %30 kadarı kullanıma elverişlidir [19]. Bu bakımdan, Ankara için geçerli olan iklimsel koşulların önemli ölçüde Türkiye'nin içinde bulunduğu coğrafya ve iklim kuşağıyla ilişkili olduğu görülmektedir.

İklimsel özellikler bir yerin sağlıklı bir yaşam sürdürmeye elverişlilik durumunu büyük oranda değiştirmektedir. Ayrıca yörede yürütülebilecek ekonomik faaliyetlerin türüne ve çeşitliliğine de doğrudan ve dolaylı olarak etki etmektedir. Dünya üzerindeki karasal alanların yaklaşık 1/3'ü kurak, aşırı kurak veya yarı kurak bölgelerden oluşmaktadır [41].

Türkiye ılıman ve yarı-kurak iklim kuşağındadır. Türkiye geneli için Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan değerlendirmede genel olarak Karadeniz Bölgesi'nin nemli,

İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Iğdır ve Trakya civarının kurak, diğer yerlerin ise yarı kurak veya yarı nemli iklim karakterine sahip olduğu belirlenmiştir [42]. Ankara İli genel olarak kurak, yarı kurak ve yarı nemli kategoride değerlendirilmektedir (Şekil 2.17).



Şekil 2.16. Ankara barajlara gelen su miktarı [40]

Türkiye’de ortalama yıllık yağış miktarı 574 mm’dir [43]. Bu değer dünya ortalamasının (800 mm) altındadır [44]. Ankara bölgesi için yıllık ortalama yağış dağılımına bakıldığında Türkiye ortalamasının da altında olduğu (1970-2015 yılları arasında 410,2 mm) görülmektedir (Şekil 2.18).

1981 – 2016 yılları arasında kurak dönemlerde ise bu miktarın 350 mm’nin de altına düştüğü görülmektedir (Şekil 2.18). Son yıllarda ise (özellikle 2009, 2010 ve 2014 yılları için) 500 mm. üzeri yıllık ortalama yağışların mükerrer biçimde gerçekleştiği görülmektedir. Yağış miktarının 500 mm. üzerinde kaydedilmesi iklimsel özelliklerin farklılaştığı şeklinde bir izlenime neden olsa da daha fazla yağış düşmesi bu yağışların tamamının toplanabileceği anlamına gelmemektedir. Toplam yağış miktarındaki artış çoğu durumda aşırı yağışların sayısındaki artıştan ileri gelmektedir.

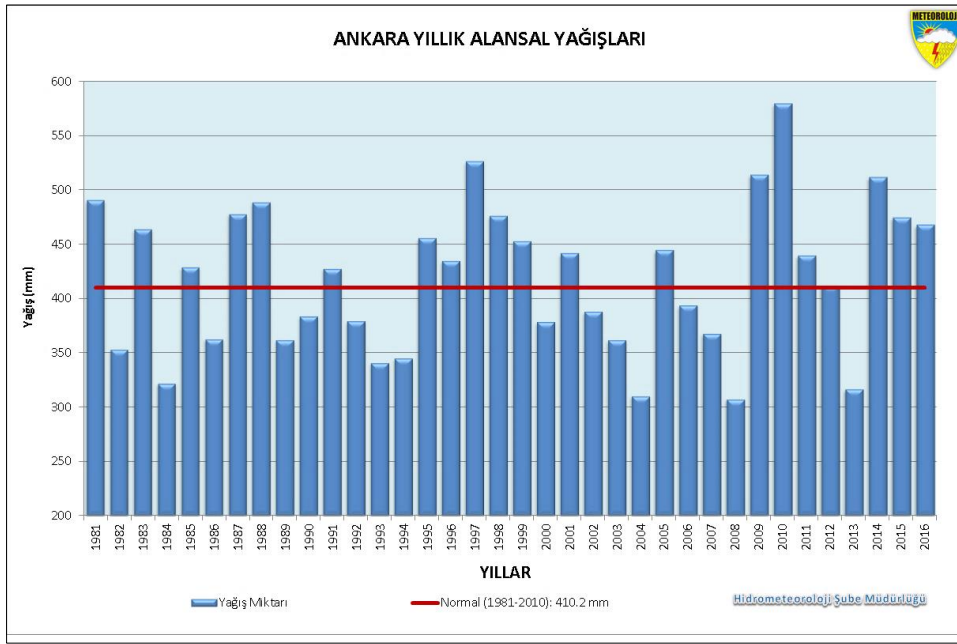


Şekil 2.17. Ankara iklim özellikleri [42]

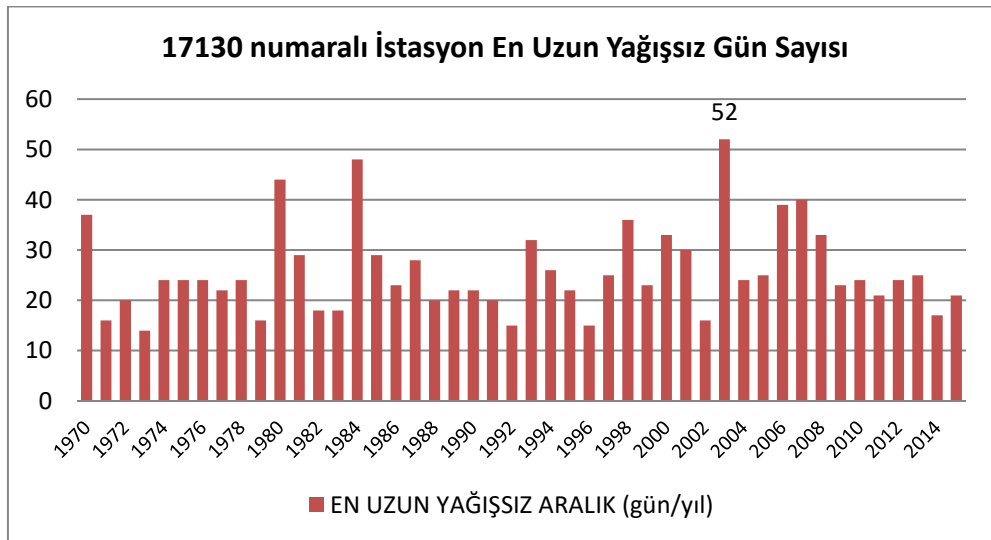
Ankara bölgesi için toplam yağışın dağılımındaki mevsimsel değişiklikler ve sıcaklıkla ilişkisi yarı kurak iklim bölgesi özelliklerini göstermektedir. Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Ankara bölgesinin topraktaki su potansiyeli bakımından “su fazlası olmayan veya pek az olan” kategorisinde sınıflandırılmış olması, yarı kurak iklimin en temel özelliği olan tarımsal faaliyetler konusunda sınırlı ve dönemsel uygunluğu ifade etmektedir. Yaz aylarındaki yüksek sıcaklıklara bağlı olarak toprak yüzeyinden gerçekleşen buharlaşma artarak bitkiler tarafından kullanılabilir suyun azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda ilave sulama ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Kış aylarında yeterli kar örtüsünün bulunmaması topraktaki doygunluğu da azaltarak yaz aylarındaki yüksek buharlaşmanın etkisini artırmaktadır.

Ankara bölgesinde yaz aylarında mevsimsel olarak kurak dönemler yaşanmaktadır. Ardışık yağışsız gün sayısı yağmur suyu hasadının faydasını azaltan faktörlerdendir. Şekil 2.19.'da Ankara bölgesinde yer alan 17130 numaralı istasyona ait en uzun yağışsız gün sayıları görülmektedir. En son 2003 yılında 52 gün olarak gerçekleşen yağışsız en uzun dönemin takip eden yıllarda azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu eğilim hasat edilen yağış sınırlı olsa dahi depolama için kullanılacak rezervuar hacminin boyutlandırılmasında belirsizlikleri azalmaktadır. Bu durum yağmur suyu hasadı ile su arzının güvenilirliğini

artırmaktadır. Uzun dönem değerlerine bakıldığında ortalama 20-30 gün aralığında seyreden yağışsız gün sayısının 1980, 1984 ve 2003 yıllarında 40 gün üzerinde gerçekleşmiş olduğu, 2006 ile 2008 yılları arasında ise mükerrer biçimde 30-40 gün aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Yağışsız gün sayısı yağmur suyu hasadı için (eğer yağış miktarı veya sınırlandırıcı başka faktörler yoksa) rezervuar hacminin hesaplamasında sınır koşul olarak kullanılabilir.



Şekil 2.18. Ankara yıllık alansal yağış ortalaması [45]



Şekil 2.19. 17130 numaralı istasyon en uzun yağışsız gün sayıları [43]

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. Evsel Su Kullanım Detayları ile İlgili Araştırmalar

Konutlarda su tasarrufunun sağlanması konusunda yapılabileceklerin tespiti için evsel su kullanımına ilişkin detayların bilinmesi gerekmektedir. Suyun konut içinde kullanıldığı yerlerde alınabilecek önlemler bu noktalardaki tüketim miktarları ile ilişkilidir. Her su kullanımı (örneğin sifon kullanımı) için tüketim miktarı belirlendiğinde bu ihtiyaçların hangi alternatif kaynaklar ile ne ölçüde karşılanabileceği tespit edilebilmektedir. Ancak hem evsel su kullanım detaylarının tespiti hem de alternatif kaynaklarla (yağmur suyu, gri su vb.) ihtiyaçların ne ölçüde karşılanabileceğinin tespit edilmesi zorlu bir süreçtir ve bu tezin en önemli sınırlılıklarından biridir.

Evsel su kullanım oranlarının belirlenmesine yönelik araştırmalarda, su tüketimi gözlemlenen evlerdeki su kullanımı değişime uğramaktadır. Hawthorne Etkisi olarak bilinen bu durumda ev sakinleri izlendikleri hissiyatının etkisiyle normalden farklı davranışlar sergilemektedirler [46]. Bu durumda elde edilen veriler ile gerçek su kullanım değerleri arasında bir fark oluşmaktadır. Ayrıca kullanılan teçhizatın ve bina içi tesisatın durumu, yöresel ve kültürel alışkanlıklar, insan psikolojisi ve farkındalık düzeyi, suyun fiyatı, hane halkının gelir durumu ve yaş aralığı, evdeki çocuk sayısı, çocukların yaşı, ebeveynlerin çalışma durumu, coğrafi bölge ve yağış rejimi gibi pek çok faktör su kullanımını etkilemektedir [47].

Tüketim miktarları haneden haneye değişkenlik gösterse de sağlıklı bir yaşam sürdürebilmek için gerekli asgari düzeyde bir su tüketim miktarından bahsetmek mümkündür. Bunun yanında ekonomik koşullar ve yaşam standartları temelinde evlerde su kullanımına ilişkin bir çerçeve oluşturulması da mümkün olmaktadır.

Gleick tarafından insan hayatının sağlıklı biçimde sürdürülebilmesi için gerekli olan asgari su miktarının o dönemki koşullarda (yaklaşık 20 yıl önce) 50 litre/kişi/gün olduğu ifade edilmektedir [48]. Ancak bu asgari miktarın günümüz koşullarında en temel halk sağlığı ihtiyaçları için bile çok daha yüksek olması gerektiği düşünülmektedir. Özellikle kentsel gelişmişlik düzeyinin yüksek ve altyapı hizmetlerine erişimin problemsiz olduğu bölgelerde bu miktarın çok ötesinde su tüketimi gerçekleştiği bilinmektedir. Ekonomik veya fiziksel

anlamda su kıtlığı yaşanan pek çok bölgede ise bu miktarın temininde dahi sıkıntılar yaşanmaktadır. Buna karşın 2000'li yılların başında ABD gibi gelişmiş ülkelerde kaynaklardan çekilen kişi başı su miktarının 500 litre/gün değerinin üzerinde olduğu bilinmektedir [49]. Ancak bu tüketim miktarı konutlarda kullanılan sudan ziyade nüfusun tamamı için kaynaklardan alınan suyun nüfusa oranını ifade etmektedir. Yeterli bilginin bulunmadığı durumlarda evsel su tüketiminin kentsel toplam tüketimin yaklaşık %50'sine karşılık geldiği [50] kabul edilmektedir.

Genel olarak kentsel alanlarda ve spesifik olarak konutlar bazında su tüketimindeki artış eğilimi nedeniyle ABD ve Avustralya gibi pek çok ülkede evsel su tüketiminin karakterizasyonuna yönelik çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Evsel su kullanım detaylarının tespitine yönelik olarak öncü nitelikteki en geniş kapsamlı araştırmalardan biri Amerikan Su İşleri Birliği (AWWA) tarafından Aquacraft firmasına yaptırılan araştırmadır. 1999 yılında AWWA tarafından yayımlanan araştırmada Kuzey Amerika kıtasındaki 12 farklı yerleşim bölgesinde yer alan 1186 konuta ait evsel su kullanım detayları araştırılmıştır. Araştırmada evsel su kullanımına yönelik olarak hane halkı bilgileri, sensörlerle (data logger) ölçülen su tüketim miktarları, su faturaları, anketler yoluyla toplanan bilgiler ışığında kestirimsel model oluşturulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre şebeke suyuna ilaveten başka bir sulama kaynağına sahip olan hanelerde şebekeden çekilen sulama suyunun %25 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Coğrafi anlamda birbirine çok yakın yerleşim yerleri dahi suyun fiyatı, uygulanan tedbirler ve arazi özellikleri bakımından farklı karakteristiklere sahiptir. Konut içi kullanım, konut dışı kullanıma (sulama vb) göre haneden haneye daha az değişim göstermektedir. Konut içi su tüketimi hane halkı büyüklüğü arttıkça artmaktadır. Ancak kişi başı tüketim miktarı yarisına kadar düşmektedir. Bu durumun hane halkına eklenen bireylerin yaşıyla ilişkili biçimde çamaşır makinası, genel temizlik, bulaşık makinası ve benzeri kullanımlardaki verimlilik artışından ileri geldiği düşünülmektedir. Araştırmada günlük sızıntı miktarları en yüksek olan bölgelerin aynı zamanda günlük su tüketimi en yüksek bölgeler olduğu görülmüştür. Araştırmada yer alan tüm evlerin yaklaşık %67'sinin günlük olarak yaklaşık 40 litre veya daha az sızıntı kaybına maruz kaldığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan örnekleme yer alan evlerden %10 kadarının tüm sızıntı kayıplarının %58'inden sorumlu olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada günlük su tüketimi en düşük olan sahaların aynı zamanda en düşük günlük ortalama kişi başı sifon suyu kullanımına sahip olduğu da tespit edilmiştir. Tuvalet, çamaşır makinası, duş ve musluk su

kullanımlarının istatistiksel anlamda önemli olduğu ve su tüketiminin azaltılmasına yönelik tedbirlere konu edilebileceği ifade edilmektedir. Araştırma sonuçlarına göre net evapotranspirasyon ile konut dışı kullanım (sulama vb.) arasında istatistiksel anlamda güçlü bir ilişki ($r^2=0,59-0,78$) bulunmaktadır. Araştırmada tuvalet (sifon) suyu kullanımında görülen farklılıkların ultra düşük su tüketimli sifonların belli sahalarda yaygınlaşmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir [51].

2007 yılında Tingyi Lu tarafından gerçekleştirilen tez çalışmasında Çin'in Harbin kenti için evsel su kullanım detayları cihaz akış hızı ölçümü ve ev sakinleri tarafından doldurulan anketler yoluyla tespit edilmiştir. Araştırma ile 40 haneden oluşan örnekleme ait su kullanım detayları tespit edilerek Çin'in Pekin, Hebei ve Shenzen kentlerinde tespit edilen evsel su kullanım detaylarıyla kıyaslama yapılmıştır [52].

Willis vd. tarafından 2008 yılında gerçekleştirilen araştırma ile Avustralya Gold Coast bölgesinde yer alan 151 konutun evsel su kullanım detayları sensörlerle toplanan veriler üzerinden tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları bölgede daha önce gerçekleştirilen araştırma sonuçlarıyla kıyaslanarak özellikle sosyo-ekonomik gelişmişlik durumuna göre su tüketiminin değişkenlik gösterdiği değerlendirilmiştir. Ayrıca bölgede gerçekleştirilen diğer çalışmalara kıyasla en düşük su tüketim değerlerinin gözlemlendiği tespit edilmiştir [53].

2008 yılında Yeni Zelanda Auckland kentinde 51 hane üzerinden gerçekleştirilen araştırmada müstakil evlerdeki su kullanım detayları incelenmiştir. Araştırmada yer alan bazı evlerde konut dışı su tüketiminin olmadığı, bazılarında ise yüzme havuzu ve sulama gibi kullanımlar nedeniyle konut dışı su tüketiminin gerçekleştiği görülmektedir. Bir evde yaz ayları boyunca yapılan örneklemede su tesisatında kırık bulunduğu ve buradan harcanan suyun evin su tüketiminin büyük kısmını (2300 lt/gün ~ %89) teşkil ettiği ifade ediliyor. Bu veri hesaplamalarda gözardı edilmiştir. Bazı su tüketim noktaları (çamaşır makinası, bulaşık makinası ve küvet gibi) her evde bulunmamaktadır. Konut dışı tüketimin hane halkı birey sayısından fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları yaz ve kış mevsimleri için ayrı şekilde verilmiştir. Diğer literatür verileriyle tutarlılık sağlanması bakımından bu değerlerin ortalaması alınarak araştırmaya dahil edilmiştir. Auckland su tüketiminin %62'si konutlarda gerçekleşmektedir. Tabloda Sulama-dış kullanım olarak alınan değer araştırmada "outdoor" olarak geçmektedir. Araştırma sonuçlarına göre duş, musluk ve konut dışı

kullanımlarda mevsimsel değişimler mevcuttur. Yazın yüksek konut dışı kullanım gözlenen konutlarda kışın da yüksek konut dışı kullanım gözlemlenmiştir [54].

Beal ve diğerleri tarafından 2009 yılında gerçekleştirilen araştırmada Avustralya'nın Güney Doğu Queensland bölgesinde yer alan Queensland, Gold Coast, Brisbane ve Ipswich ve Sun Shine Coast evsel su tüketim detayları araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre bütün örneklemlerde tespit edilen ortalama su tüketimlerinin su kullanım kısıtlamalarını sağladığı görülmüştür. Araştırmacılar bu durumu kuraklıktan bağımsız olarak tüketicide daha az su kullanma eğiliminin var olduğu şeklinde yorumlamaktadır. Ayrıca en çok su tüketen evlerde yüksek miktarda sulama yapıldığı anlaşılmıştır. Örnekleme yer alan evlerin yarısı izleme periyodu boyunca sulama yapmamıştır. Bu durum izleme döneminin kış aylarına denk gelmesi ile izah edilmektedir. Ancak düşük sulama oranlarının su kullanımına yönelik kısıtlamalardan da kaynaklanıyor olabileceği ifade edilmektedir. Araştırmada bulaşık makinası kullanılmayan ve kullanılan evlerdeki musluk kullanım oranlarının tutarlı bir seyir izlediği anlaşılmaktadır. Bu durum bulaşık makinası yerine elde yıkamayla temizlenen bulaşıkların su tüketimini artırdığı bilgisinin doğru olmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Bunun nedeninin ise bulaşık makinasında yıkama öncesi elde ön yıkama uygulamasından ileri gelebileceği öne sürülmektedir. Ayrıca diğer evsel su kullanımlarına (duş, bulaşık makinası veya sulama) oranla tuvalet su kullanımının düzenli bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir [55].

2011 yılında Amerikan Çevre Koruma Ajansı ile Salt Lake City Corporation iş birliğiyle 1999 araőtırmasının devamı niteliğindeki araştırma ile 1990'lı yılların ortalarında inşa edilen evler, 2001 yılından itibaren inşa edilen evler ve EPA tarafından uygulanan WaterSense etiketleme programına tabi olan yüksek verimlilikteki yeni binalardaki su tüketimleri karşılaştırılmıştır. Araştırmada bir kısmı daha önceki çalışmada yer alan 9 bölgenin evsel su kullanım detaylarının değişimi tetkik edilmiştir. Buna göre yüksek verimli yeni binalardaki su tüketiminin 2001 sonrasında yapılan binalardan daha düşük olduğu, 2001 sonrası binalardaki su tüketiminin de 1995 öncesi binalara göre daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre 1999 yılında yapılan araştırma sonuçlarıyla kıyaslandığında evsel su kullanımında %22 oranında azalma olduğu ifade edilmektedir. Bu azalmanın kullanılan cihazlardaki verimlilik artışı nedeniyle gerçekleştiği vurgulanmaktadır [27].

Konut dışında tüketilen su miktarı konut içinde tüketilen su miktarına göre daha fazla değişkenlik göstermektedir. Ilıman iklim bölgelerinde bahçe sulama kışın da devam ettiğinden daha yüksek konut dışı su kullanıma rastlanmaktadır. Araştırmacılar 1999 yılındaki çalışmaya göre verimlilik artışının tuvalet ve çamaşır makinasında sağlanan verimlilik artışına bağlamaktadır. Ayrıca hanede bulaşık makinasının bulunmamasının musluk suyu kullanımını artırmadığı bulgulanmıştır. 1999 yılı araştırma sonuçlarına kıyasla duş, banyo ve musluk kullanımlarının çok az değişiklik gösterdiği, hane halkında 12 yaş altı çocuk varlığının banyo kullanımını artırdığı belirtilmiştir.

Yüksek verimli cihazların kullanımıyla evsel kullanımın %35 veya daha fazla oranda, diğer bir ifade ile kişi başı günlük 150 litrenin altına düşürülebileceği öngörülmüştür [27].

Birleşik Arap Emirlikleri Abu Dabi kentinde yer alan 9 bölgede 2012-2013 yılları arasında gerçekleştirilen araştırmada 150 orta büyüklükteki villadaki su tüketimi data logger cihazlarıyla ölçülünerek su tüketim durumu tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre tesisattan gerçekleşen sızıntı miktarı çamaşır yıkama için kullanılan su miktarından fazladır. Bu duruma birkaç istisnai evden gerçekleşen yüksek sızıntı miktarının neden olduğu ifade edilmektedir. Tesisat sızıntıları için ortanca değeri 11 lt/gün olarak tespit edilmiştir. Örnekleme yer alan evlerin yarısında bulaşık makinası bulunmamaktadır, bulaşık makinası kullanımı yaygın değildir. Bazı kullanımların, bina dışı tesisat nedeniyle (müstakil su kaynağına bağlı olduğundan) ölçüm cihazları tarafından yakalanamadığı ifade edilmektedir. Evsel su kullanımında mevsimsel değişim gözlenmediği, buna karşın bahçe sulaması için mevsimsel etkilerin gözlemlendiği belirtilmektedir. Evde çalışan görevli sayısına bağlı olarak musluk suyu kullanımının arttığı belirtilmektedir. Evde araba yıkamanın su kullanımını (%13 oranında) artırdığı belirtilmektedir. Bulaşık makinası kullanımı musluk suyu kullanımını %2 oranında azaltmaktadır. Bahçe sulaması yapılan evlerin %20'sinde aşırı sulama (1200 litre/günden fazla) yapılmaktadır. Gündüz saatlerinde mükerrer biçimde sulama yapılmaktadır. Su tasarrufunda temel olarak tesisat sızıntılarının giderilmesi ve sulama suyunun kontrol edilmesi önerilmektedir. Evsel su kullanımının apartmanların yoğun olduğu bölgelerde büyük ölçüde değişebileceği düşünülmektedir. Banyo kullanımının duş kullanımıyla ilişkili olmadığı tespit edilmiştir (Genellikle banyo-küvet kullanımının duş kullanımını azaltacağı düşünülmektedir). Tesisat sızıntılarının en fazla gerçekleştiği %10'luk bölüme denk gelen hanelerin tüm sızıntıların %74'ünden sorumlu olduğu tespit edilmiştir. Bahçe sulaması için kullanılan su miktarının yüksek dönemsellik gösterdiği ifade

edilmektedir. 3 dönemlik izleme periyodunun ilk 2 (haziran-temmuz, eylül-ekim) döneminde yüksek seyreden sulama suyu kullanımı, 3'üncü dönemde (Aralık) daha düşük seyretmiştir. Konut içi kullanımda ise büyük oranda mevsimsel değişkenlik görülmemektedir. Araştırmacılar tarafından bir konutun satılması sürecinde duş başlıkları, tuvaletler ve musluklar gibi aksamaların yenilenmesine yönelik kurallar konulması önerilmektedir [56].

Yeni Zelanda Adelaide kentinde 2013 – 2014 yıllarında, 150 konutta gerçekleştirilen araştırmada data logger ve mülakat yöntemleri kullanılarak evsel su tüketim detayları araştırılmıştır. Buna göre su kullanımında mevsimsel etkilerin kuvvetli olduğu görülmüştür. Sıcak yaz günlerinde gün içinde ve öğleden sonra tüketimin arttığı tespit edilmiştir. Araştırmada tespit edilen su kullanımının Water for Good (Government of South Australia, 2010) araştırmasındaki su tüketiminden %5 daha az olduğu, en önemli farkın duş/banyo ve çamaşır makinası kullanımından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yalnızca 55 yaş üstü bireylerden oluşan konutlarda daha az duş kullanımı ve ortalamadan daha yüksek tuvalet ve çamaşır makinası kullanımı ile karşılaşıldığı belirtilmektedir. Bu yaş grubu için su tasarrufu sağlamak amacıyla yeni çamaşır makinası kullanımının etkili olabileceği öngörülmektedir. Çocuklu ve yüksek gelirli ailelerin ortalamadan yüksek duş kullanımı ve daha az tuvalet ve çamaşır makinası kullanımı sergiledikleri, ortalamadan daha düşük tuvalet kullanımı ve verimli çamaşır makinası kullanımı nedeniyle daha az hane içi su tüketimi gerçekleştiği belirtilmiştir. 2007-2009 yılları arasında gerçekleşen kuraklık nedeniyle hane halkı su tüketimi %15 oranında azalma göstermiştir. Bunun yarısının verimli cihaz kullanımı, diğer yarısının ise bahçe sulamasının azaltılmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Hane halkı su tüketiminin yaklaşık %40 civarında kısmının mevsimsel olarak gerçekleştiği ifade edilmektedir. Mevsimsel su tüketiminin geniş arazili konutlarda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [57].

Evsel su kullanımıyla ilgili olarak Türkiye’de yürütülmüş herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bununla birlikte çeşitli araştırmalarda evsel su kullanım oranları verildiği görülmektedir.

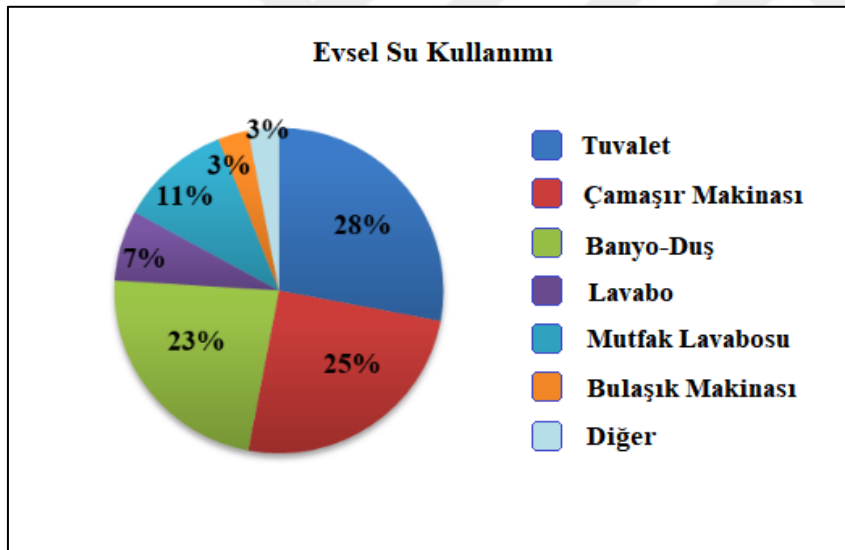
2007 yılında Beler Baykal ve Allar tarafından “Ekolojik evsel atıksu yönetimi” konusunda yapılan çalışmada evsel atıksuların sarı su, kahverengi su ve gri su olarak adlandırılabilir

fraksiyonlarının hacimsel oranıyla birlikte azot, potasyum, fosfor oranları ile KOİ dağılım verilmektedir [58].

2008 yılında Nazmiye Cemre Birben tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında, gri suların foto katalitik oksidasyon uygulamasıyla arıtılması araştırmasında, gri sular titanyum dioksit ile fotokatalitik reaksiyona maruz bırakılarak, yöntemin seçilen parametrelerin giderimi açısından en etkili sonuçları gösterdiği tespit edilmiştir [59].

Karahan tarafından hazırlanan ve gri suyun değerlendirilmesini konu alan çalışmada evsel su kullanımıyla ilgili oranlara yer verildiği görülmektedir [60].

Benzer biçimde Hilal Efe tarafından 2017 yılında gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında pek çok ülkenin evsel su kullanım oranları ve Türkiye karşılaştırmasının yapıldığı görülmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Türkiye için evsel su kullanım detayları [61]

3.2. Yağmur Suyu ve Gri Su Kullanımı ile İlgili Araştırmalar

Konutlarda oluşan gri suyun yeniden kullanımı ilgi duyulan bir konudur. Üretilen gri suyun yeniden kullanımı konusunda pek çok yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan bazıları musluk sularının üretildiği yerlerde basit anlamda yeniden kullanımını esas alırken daha karmaşık bazı sistemlerde konut içi bir toplama hattı ve depolama haznesi ile daha yüksek kapasitede yeniden kullanım sağlanabilmektedir. Bu konudaki çözümler gri suyun kompozisyonuna

göre şekillenmektedir. Gri suyun yeniden kullanım amacı doğrultusunda (organik madde içeriği ve diğer kirletici maddelerin miktarı gibi parametreler açısından) değerlendirilerek arıtma uygulanıp uygulanmayacağı konusunda karar verilmesi gerekmektedir.

Gri suyun toplandıktan sonra 24 saate kadar bekletilmesi sonucunda su kalitesinin iyileştiği, buna karşın 48 saatten fazla süren depolamanın çözülmüş oksijen seviyesinin düşüşü nedeniyle estetik problemlere neden olduğu tespit edilmiştir [62]. Bu durumda gri suyun depolanarak yeniden kullanılması durumunda bekleme süresinin dikkate alınması gerekmektedir.

Gri su, evsel atık suların kara su olarak adlandırılan fekal ve ürinal artıkların yer almadığı fraksiyonunun ifade etmektedir. Gri suyun kompozisyonu nereden alındığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte gri su organik madde içeriği normal atık suya oranla çok düşüktür [63].

Gri suyun yeniden kullanımını nedeniyle ortaya çıkabilecek sağlık sorunlarının önüne geçmek adına gri su fraksiyonlarının hem uygun tesisatla toplanması hem de kullanım amacına uygun biçimde arıtılması gerekmektedir. March vd. tarafından gri suyun hipoklorit ile muamelesi sonucunda oluşan bakiye klorun araştırılmasına yönelik çalışmada Toplam Organik Karbon içeriği 60 mg/lt üzerinde olan örneklerde klor içeriğinin birkaç gün içinde belirlenemez hale geldiği tespit edilmiş ve Toplam Organik Karbon içeriği 60 mg/lt üzerinde olan örneklerin analiz edilmeden önce seyreltilmesi gerektiği belirtilmiştir [64].

Evsel gri su içerik bakımından zayıf ve güçlü gri su olarak iki kategoride ele alınmaktadır. Zayıf gri su genel olarak musluklar ve banyo suyunu, güçlü gri su ise çamaşır, bulaşık makinası ve mutfak lavabosundan oluşan atıksuları ifade etmektedir. Avery ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada yatay ve dikey akışlı yapay sulak alanlar ile yeşil çatı uygulamasının zayıf gri suyu (BOD of $19.0 \pm 0,9$ mg/dm³) arıtma potansiyeli araştırılmış ve her üç sistemden alınan çıkış suyu kalitesinin BOD parametresi bakımından %83 ile %92 giderim verimi elde edilebileceği tespit edilmiştir [65].

Zayıf nitelikli gri su insan vücudundan kaynaklı organik maddeleri yüksek oranda içermektedir [66]. Organik maddelerle birlikte bazı indikatör bakterilerin (koliformlar, E.

Coli ve enterococci gibi) ve virüslerin de gri su içerisinde yer aldığı yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur [66].

Li vd. tarafından yapılan literatür taramasında gri sular, karakteristik özelliklerine göre yeniden kullanım alternatifleri değerlendirilerek kentsel gri su kullanım standardı önerisi getirilmiştir. Literatürde yer alan bilgilere göre bütün gri su fraksiyonlarının biyolojik bozunum oranlarının iyi seviyede olduğu, banyo ve çamaşır makinası fraksiyonlarında hem fosfor hem de nitrojen eksikliği olduğu, mutfaktan gelen gri suların dengeli KOİ:N:P oranına sahip olduğu, fiziksel arıtımın organik madde, besin elementleri ve surfaktan maddelerin arıtımında tek başına yeterli olmadığı, kimyasal proseslerle zayıf gri sulardaki askıda katı madde, organik madde ve surfaktan gideriminin etkili biçimde gerçekleştirilebildiği tespit edilmiştir. Gri suların arıtımı konusunda en ekonomik seçeneğin aerobik biyolojik arıtım, filtrasyon ve dezenfeksiyon kombinasyonu olduğu, membran biyo-reaktörlerin de binalarda çekici bir çözüm olarak görüldüğü ifade edilmektedir [67].

Al- Hamaiedeh ve Bino tarafından Ürdün'de yapılan çalışmada arıtılmış gri suyun zeytin ağaçları ve sebzeler üzerindeki etkileri tetkik edilmiş ve sulanan ağaçların kimyasal özelliklerinin etkilenmediği, topraktaki tuzluluk, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve organik madde içeriğinin zamanla arttığı tespit edilerek toprağa tatlı su takviyesi yapılması tavsiye edilmiştir [68].

Leal vd. tarafından yapılan araştırmada 32 konuttan 14 ay boyunca periyodik olarak gri su örnekleri toplanarak kimyasal içeriği tetkik edilmiştir. Alınan örneklerin anaerobik bozunabilirliğinin %65 ile %75 aralığında olduğu ve iz elementleri konsantrasyonlarının sulama için tavsiye edilen limitleri sağladığı tespit edilmiştir [69].

Yağmur suyu ve gri suların bir arada kullanımı, her iki kaynağın birbirinden farklı nitelikleri sayesinde konutlarda farklı ihtiyaçların karşılanmasına yönelik bir alternatif olarak görülmektedir. Yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı bir arada düşünüldüğünde binalarda %80'lere varan oranda su tasarrufu mümkün olmaktadır. Ancak her iki sistemin entegre biçimde çalıştırılması tasarımın karmaşıklaşmasına neden olmakta, bu durum projelendirme ve inşa maliyetlerinin artması sonucunu getirebilmektedir.

1990'lı yıllarda Arizona Tucson'da bir konutta yürütülen çalışmada su tasarrufu sağlayan tesisatla bir arada yağmur suyu hasadı ve gri su yeniden kullanımının aile bireylerinin yaşam kalitesini etkilemeksizin %66 oranında azaltılabileceği tespit edilmiştir [70].

Yağmur suyu hasadı ve gri suyun yeniden kullanımı konusunda yapılan araştırmalar bu kaynakların pek çok evsel ihtiyaç için kullanılabileceğini göstermektedir [62, 66, 71-73].

Agudelo-Vera vd. tarafından önerilen ve yağmur suyu hasadı ve zayıf gri su geri dönüşümü uygulamaları ile 4 kişilik müstakil ev ve 2'şer kişilik 28 konutlu bina üzerinden su tüketiminin tasarruflu cihazların kullanımı ile %30, yağmur suyu hasadıyla %60 ve %80 civarında azaltılabileceği ve gri su yeniden kullanımı ile de ikinci kalite su ihtiyacının tamamının karşılanabileceği ifade edilmektedir [74].

Stec ve Kordana tarafından yapılan araştırmada yağmur suyu hasadı, gri su kullanımı ve bina içi kirli su ısı geri kazanım sisteminin ekonomik anlamda elverişli olup olmadığı yaşam döngüsü analizi ile ele alınmıştır. Birden çok ailenin yaşadığı apartman dairesinde test edilen yaklaşımın yüksek yatırım tutarlarına karşın finansal anlamda uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir [75].

Yağmur suyu ve gri su kullanımı konusunda Türkiye'de çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

2011 yılında B. Begüm Karakoçak tarafından Kayseri'de bir açık hava eğlence parkına yönelik olarak gerçekleştirilen yağmur suyu hasadı araştırmasında, eğlence parkı yüzey alanından hasat edilen yağmur suyuyla 90000 ton hacimli su kayağı parkının %48'lik bir kısmının doldurulabileceği ve hasat edilen suyun AB yüzme suyu direktifi kriterlerine göre sulama ve yüzme suyu kullanımı için uygun olduğu tespit edilmiştir [76].

2012 yılında Cihan İncebel tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında yağmur suyu hasadının Ankara iklim koşullarında kullanımına yönelik projelendirme uygulaması ve bu uygulamaya yönelik bir bilgisayar programı yapılmıştır [77].

2016 yılında A.R. Dala Ali tarafından bir üniversite yurdundaki çatıdan yağmur suyunun toplanarak aynı binada kullanılmasına yönelik yüksek lisans çalışmasında, yağmur suyunun

tuvalet rezervuarında kullanımının akademisyenler ve öğrenciler tarafından kabul gördüğü tespit edilmiştir [78].

2016 yılında Giresunlu ve Beler Baykal tarafından yapılan çalışmada bir öğrenci yurdunda oluşan gri suların Membran biyo reaktör yöntemiyle tuvalet rezervuarında kullanıma uygun hale getirilme potansiyeli araştırılmış ve uygulanan yöntemin gri suyun tuvalet rezervuarında kullanıma uygun hale getirilmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir [79].

2016 yılında Tülay Feyzi Caner tarafından yüksek lisans araştırması kapsamında yağmur suyu ve atmosferik parçacıklardaki Escherichia coli ve Enterococcus bakteri türleri incelenerek, adı geçen mikro organizmaların miktarının yağışlı günlerde yağışsız günlere oranla 2 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir [80].

2017 yılında Sibel Barışçı tarafından hazırlanan doktora tezinde elektrokimyasal ferrat sentezinin gri su kullanım potansiyeli araştırılarak yöntemin gri su arıtımı için ümit verici bir teknoloji olduğu kanaatine ulaşılmıştır [81].

2017 yılında Hilal Efe tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında Kocaeli Yenikent bölgesindeki gri suların ayrıştırılarak tuvalet sifon suyu, kentsel temizlik, araç yıkama ve sulama suyu olarak kullanım alternatifleri değerlendirilmiştir. Buna göre gri suların en çok kabul gören kullanım alanlarının sırasıyla tuvalet sifon suyu, yangın söndürme suyu, sulama, araç yıkama ve endüstriyel amaçlı kullanım olduğu tespit edilmiştir [61].

2017 yılında Dilara Kütük tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında iki bloktan oluşan bir sitede gri suların yerinde ayrıştırılması ve yağmur sularının da bu sulara ilave edilmesi esasına dayalı olarak arıtma sistemi seçimi, arıtma sistemi kapasitesi ve boyutlandırılması yapılmıştır [82].

Yücel ve diğerleri tarafından yağmur suyunun Türkiye'deki iyonik kompozisyonunun değişiminin tespitine yönelik gerçekleştirilen çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından toplanan ve Türkiye'nin 10 farklı kırsal bölgesindeki yağış örneklerinin inorganik iyon analiz sonuçları değerlendirilmiş ve asit yağmuru olarak tanımlanabilecek yağışların toplam yağışların %0,68 ile %33,29'u arasında olduğu tespit edilmiştir [83].

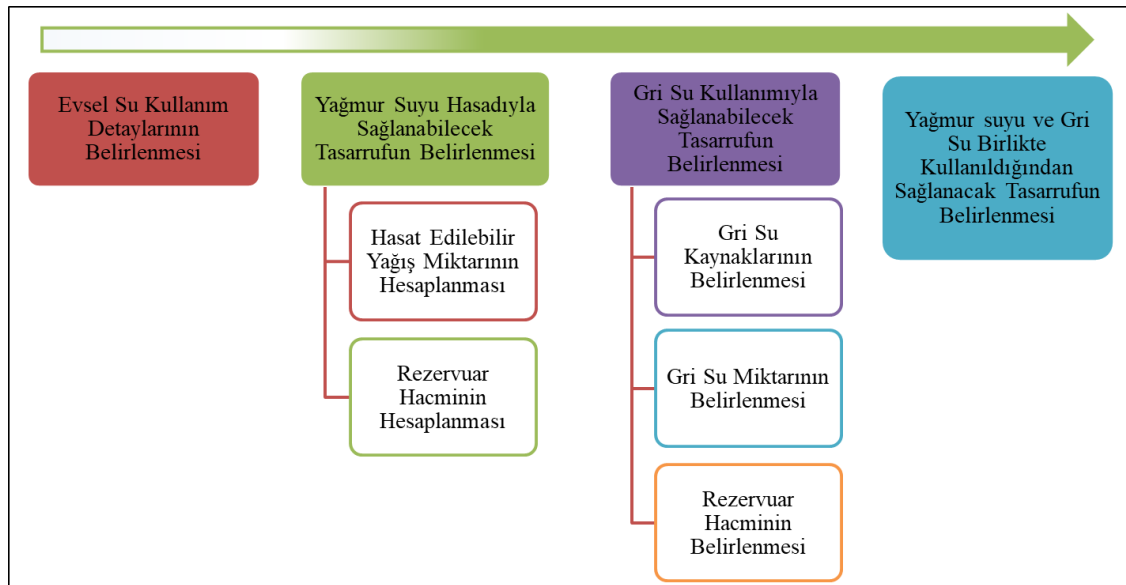


4. YÖNTEM

Yağmur suyu ve gri su kullanımı ile evsel ölçekte sağlanabilecek tasarruf miktarının tespit edilebilmesi için birtakım bilgilere ve kabullere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler ve kabuller şunlardır:

- Evsel ölçekte su kullanım proporsiyonu (musluklar, banyo, çamaşır makinası, bulaşık makinası tarafından tüketilen ve diğer kullanım miktarları)
- Yağış miktarı ve hasat edilebilir yağış miktarı
- Yağmur suyu hasat alanı
- Yağmur suyu depolama hacmi ve arıtma ihtiyacı
- Kullanılabilir gri su kaynakları
- Kullanılabilir gri su miktarı
- Gri su depolama hacmi ve arıtma ihtiyacı

Burada belirtilen bilgilerin üretilmesinde takip edilen yöntem Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak evsel su kullanımlarına ilişkin detaylar, daha sonra yağış miktarı ve hasat edilebilir yağış, gri su kaynakları ve miktarı ile rezervuar hacmi belirlenmiştir. Son olarak her iki yöntemle elde edilen tasarruf miktarı hesap edilmiştir.



Şekil 4.1. Araştırma yöntemi

Evsel su kullanım proporsiyonunun (tüketimin kullanılan cihazlar veya evin bölümlerine dağılımı) tespit edilmesi, bünyesinde teknik anlamda pek çok karmaşıklık barındıran pahalı bir süreçtir ve bu araştırmanın kapsamında yer almamaktadır. Bunun yerine bu çalışmada literatür verileri üzerinden tahmini günlük su tüketim miktarları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan tüketim aralığı hesaplanmıştır.

Hasat edilebilir yağış miktarı düşen yağış miktarına ve toplama alanına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ortalama bir su toplama yüzey alanı (hasat alanı) kabulü yapılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra tüm yağışın hasat edilmesi için gerekli rezervuar hacminin yüksek çıkması durumunda ekonomik rezervuar hacmi seçilmelidir. Bu durumda seçilen rezervuar hacmine bağlı olarak toplanabilen yağış oranı azalmaktadır.

Konuttan oluşan gri su miktarı ve gri su kaynaklarının durumu kullanım amacına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle oluşan gri suların kullanımını uygun olanlarının hangi ihtiyaçlar için yeniden kullanılacağına belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra ihtiyaç doğrultusunda gerekli gri su depolama hacminin tespit edilmesi gerekmektedir.

Hem gri su hem de yağmur suyu için arıtıma gereksinim olup olmaması, bu suların nerede kullanılacağıyla ilişkilidir. Arıtıma ihtiyaç duyulan durumlarda arıtılmış suların kullanımının sosyal bakımdan kabul edilebilir olması da ayrıca değerlendirilmesi gereken hususlardandır.

4.1. Kabuller ve Su Kullanım Alternatifleri

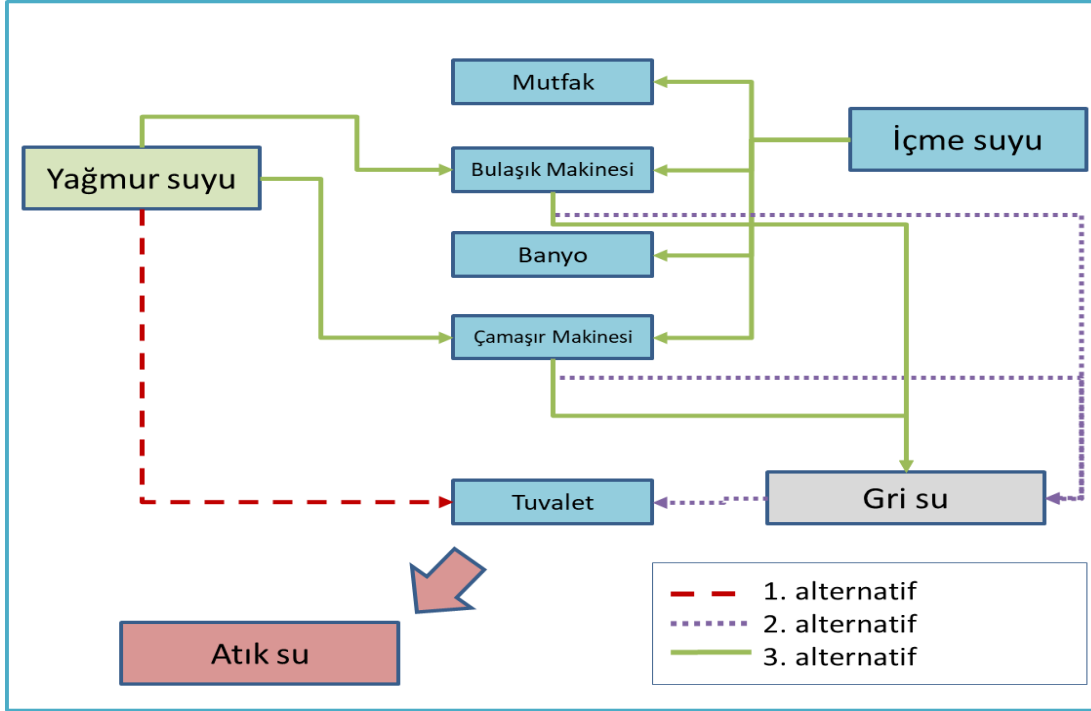
Araştırma kapsamında Ankara'da ikamet eden bir ailenin su ihtiyacının yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı ile ne ölçüde karşılanabileceği, buna bağlı olarak içme suyu şebekesinden ne kadar su tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu maksatla ilk olarak ortalama aile büyüklüğünün belirlenmesi gerekmektedir. Araştırmada 2016 yılı Ankara'daki ortalama hane halkı büyüklüğü 3,1 olarak alınmıştır [5]. Ayrıca konutta çamaşır makinası ve bulaşık makinasının kullanıldığı varsayılmıştır. Bununla birlikte su tasarrufu sağlayan cihaz veya donanımların (düşük akışlı duş başlığı, tasarruflu tuvalet rezervuarı gibi) kullanımı araştırma kapsamıyla ilişkili olmadığından bu konuda bir varsayım yapılmamıştır.

Kavramsal yaşam alanı, kanalizasyon ve içme suyu hattına bağlı apartman dairesi veya müstakil konuttan oluşmaktadır. Konutun şebekeden çektiği su miktarını azaltmak amacıyla yağmur sularının uygun bulunan evsel ihtiyaçlar için kullanımı planlanmıştır. Toplanan suyun nitelik bakımından uygun olmayan kısmı (ilk sifon) ise kanalizasyon hattına verilmektedir. Ayrıca arıtma ihtiyacı bulunmayan gri suların toplanarak sağlık açısından risk oluşturmayacak biçimde tuvalet rezervuarında kullanımı öngörülmüştür.

Konutlarda tüketilen suyun geleneksel olarak içme suyu kalitesinde olması beklenir. Ancak insan ihtiyaçlarını karşılayabilecek kalitede su kaynaklarının bulunması her zaman mümkün olmamaktadır. Suyun alındığı kaynağın kalitesi doğrultusunda, kullanım amacına uygun biçimde arıtılması gerekmektedir. Suların içme suyu kalitesinde arıtılması pahalı bir süreçtir. Buna karşın temin edilen içme suyunun çok az bir kısmı içme veya yemek hazırlama suyu olarak kullanılmaktadır. İçme suyu veya gıdalar yoluyla vücuda alınan su miktarının ılıman iklim bölgelerinde yaşayan (70 kg vücut ağırlığındaki) insanlar için kişi başı 3 lt/gün civarında olması önerilmektedir [84]. Bu durumda 3 kişilik bir aile tarafından doğrudan içilen suyun 10 lt/gün civarında olması beklenir. Bu değer evsel ihtiyaçlar için kullanılan içme suyu miktarının çok küçük bir bölümünü teşkil etmektedir. Bu nedenle su kullanım alternatifleri değerlendirilirken ve hesaplamalar yapılırken dikkate alınmamıştır. Bu ihtiyacın zaruri durumlarda şebekelerden bağımsız biçimde alternatif metotlarla karşılanmasının, yüksek kalitede su temini ihtiyacını da azaltabileceği öngörülmektedir.

Yağmur suyu ve gri suların birlikte kullanımının öngörüldüğü alternatifler Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. En basit alternatife göre (1. alternatif) yağmur hasadı ile elde edilen su sadece tuvalet rezervuarında kullanılmaktadır. Bu durumda elde edilecek su tasarruf düşük seviyede gerçekleşmektedir. Ancak bu alternatifin birden fazla binadan oluşan siteler, yüksek katlı binalar veya konaklama hizmeti verilen binalarda herhangi bir arıtma yatırımı gerektirmeksizin uygulanabileceği düşünülmektedir.

Bir diğer alternatif de (2. Alternatif) bulaşık makinesi ve çamaşır makinesinden çıkan gri suların tuvalet rezervuarında kullanılmasıdır. Her iki alternatifin bir arada ele alındığı daha yüksek tasarruf imkânı sunan bir diğer alternatif ise (3. alternatif) yağmur suyunun çamaşır makinesi ve bulaşık makinesinde, bu cihazlardan çıkan gri suların da tuvalet rezervuarında kullanılmasıdır. Bu alternatifte yağmur suyunun gri su yeniden kullanımı ile birlikte ele alındığından, tuvalet rezervuarı için yağmur suyu tahsis edilmemiştir.



Şekil 4.2. Yağmur suyu ve gri su kullanım alternatifleri

4.2. Türkiye’de Kentsel Su Kullanımı ve Ankara Evsel Su Kullanımı Öngörüsü

Yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı ile elde edilecek tasarruf miktarının hesaplanabilmesi için gri su potansiyelinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu bilginin elde edilebilmesi için de evsel su kullanımına ilişkin detayların bilinmesini gerektirmektedir. Evsel su kullanımına ilişkin detaylar, evlerde kullanılan suyun mutfak, banyo, tuvalet gibi evin bölümleri ve çamaşır makinası, bulaşık makinası gibi cihazlar tarafından kullanılan miktarını ifade etmektedir. Türkiye’de evsel su kullanım detaylarına ilişkin olarak yayımlanmış herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle bu veri literatürde yer alan araştırmalardan elde edilen veriler üzerinden istatistiksel model kullanılarak hesaplanmıştır. Bu maksatla ilk olarak evsel kullanım detaylarının belli bir örneklem üzerinden ölçümlenerek elde edildiği araştırmalara ilişkin veriler derlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Evsel su kullanım detaylarına ilişkin araştırmalar

Araştırma Adı	Tarih	Ülke	Şehir
California Single Family Home Water Use Efficiency Study	1996 1998	ABD, Kanada	12 Şehir
Residential End Uses Of Water, Version 2	2010 2013	ABD, Kanada	23 Bölge
Abu Dhabi The Residential End Use Of Water Project	2012 2013	Birleşik Arap Emirlikleri	Abu Dhabi
Understanding And Predicting Household Water Use For Adelaide	2013 2014	Avustralya	Adelaide
Auckland Water Use Study 2008	2008	Yeni Zelanda	Auckland
Research Of Domestic Water Consumption: A Field Study In Harbin, China		Çin	3 Şehir
Socioeconomic Analysis Of Domestic Water End-Use Consumption in The Federal District, Brazil		Brezilya	Brasilia
Gold Coast Domestic Water End Use Study 2008	2008 2009	Avustralya	Gold Coast
Domestic water uses: Characterization of daily cycles in the North region of Portugal		Portekiz	
South East Queensland Residential End Use Study: Baseline Results -Winter 2010	2010 2011	Avustralya	5 Şehir
Waterwise Renew: Development Of Concept And Offering	2007	İngiltere	
Domestic Water Use Study, Perth Australia	1998 2001	Avustralya	Perth
Reums, Melbourne, Australia	2004	Avustralya	Melbourne
Investigation Of Domestic End Use, Toowoomba	2008	Avustralya	Toowoomba
International Comparisons Of Domestic Per Capita Consumption, England And Wales		7 Ülke	

Bu veriler evsel su kullanım oranları (Çizelge 4.2) ile birlikte örneklem büyüklüğü, hane halkı büyüklüğü, konut türü, ortalama hanehalkı günlük su tüketimi, ortalama kişi başı günlük su tüketimi, kişi başı gelir miktarı, ortalama yıllık sıcaklığın dağılım ve yıllık yağış dağılımı gibi bilgileri içermektedir.

Derlenen veriler coğrafi anlamda ABD, Avustralya, Birleşik Arap Emirlikleri, Brezilya, Çin, Kanada ve Yeni Zelanda gibi farklı ülkelerde gerçekleştirilen araştırmalardan alınmıştır. Araştırmaya dahil edilen verilerin seçilmesinde doğrudan ölçüm ile birlikte örneklem genişliğı, su faturalarının incelenmesi ve mülakat gibi doğrulama yöntemlerinin kullanılması da göz önünde bulundurulmuştur. Metodolojik (ölçüm yerine tahmin gibi yöntemler izlenen) veya sonuçların gösterimi bakımından (ülke düzeyinde ortalama değerler verilmesi gibi) uygun olmayan veriler araştırmaya dahil edilmemiştir.

Çizelge 4.2. İlgili araştırmalar ve evsel su kullanım detayları [27, 46, 49, 52-54, 85,88]

ŞEHİR	Duş	ÇM	Tuvalet	Musluk	BM	Banyo	Sızıntı	Diğer
Seattle	20,0	21,0	29,9	15,2	1,8	1,9	10,3	0,0
San Diego	15,4	28,0	27,1	18,5	1,5	0,9	7,9	0,5
Boulder	20,2	21,6	30,6	17,9	2,2	2,2	5,3	0,3
Lompoc	16,9	23,3	25,2	15,0	1,2	1,8	15,3	1,4
Tampa	15,5	21,6	25,4	18,2	0,9	1,7	16,4	0,5
Walnut Valley WD	17,3	20,8	26,5	18,1	1,2	1,5	11,2	3,4
Denver	18,6	22,5	30,4	15,2	1,7	2,3	8,4	0,7
Las Virgenes MWD	16,4	24,1	22,6	16,1	1,3	1,9	16,1	1,6
Waterloo & Cambridge	11,8	19,4	28,8	16,1	1,1	2,7	11,6	8,5
Phoenix	16,1	21,8	25,3	12,4	1,0	1,5	19,1	2,8
Scottsdale & Tempe	15,5	17,8	22,6	13,8	1,4	1,1	21,6	6,1
Eugene	18,1	20,5	27,4	14,3	1,7	1,8	16,3	0,1
Abu Dhabi	21,1	11,0	19,4	34,3	0,3	1,4	12,4	0,2
Adelaide	35,9	18,4	20,7	21,4	1,2	2,2		
Auckland	30,7	27,1	21,0	15,3	1,5	1,6	2,2	0,5
Harbin	27,0	4,0	17,0	52,0				
Brasilia	23,2	17,3	17,2	37,5	0,8		4,1	
Gold Coast	29,0	20,0	15,0	24,0	1,0	1,0	3,0	
Brisbane	26,9	24,9	15,3	15,8	1,6	1,2	9,3	
Ipswich	33,0	22,0	19,0	21,0	1,0		3,0	
Sunshine Coast	30,0	20,0	18,0	16,0	3,0	2,0	8,0	
Perth	33,0	28,0	22,0	15,0			2,0	
Melbourne	31,0	26,0	18,0	17,0			8,0	
Toowoomba	43,8	22,3	12,5	15,2				

Tüm oranlar (%) cinsinden verilmiştir. ÇM: Çamaşır Makinesi, BM: Bulaşık Makinesi

Derlenen literatür verilerinden Ankara evsel su kullanımının tahmin edilmesi için bu konuda daha önce gerçekleştirilmiş olan araştırmalarda üretilen istatistiksel modellerden yararlanılmıştır. Evsel su kullanımlarının istatistiksel modellerle tahmin edilmesinde her bir su kullanımının ayrı ayrı ele alınarak bunları etkileyen faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu faktörlerden bir kısmı söz konusu kentsel alanın coğrafı, sosyal, kültürel veya yönetimsel özellikleriyle bazıları da doğrudan bina tipi ve altyapı ile ilişkilidir. Bazı faktörler ise hane halkı demografisi ve benzeri en küçük ölçekteki özellikleri ortaya koymaktadır. Linkola vd. tarafından önerilen yaklaşımla bu faktörler farklı düzeylerde ele alınmaktadır [89]. Buna göre evsel su kullanımını etkileyen faktörleri şu 3 seviyede ele almak mümkündür:

❖ Dış faktörler (Kentsel, bölgesel, yönetimsel)

- Su yönetimi stratejileri
- İçme suyu üretim altyapısı
- Yasal Düzenlemeler
- Su fiyatlandırması
- Temizlik ürünlerinin satış miktarları
- Temizlik ve hijyen anlayışı
- Kültürel özellikler
- Çevreci bakış açısı
- Eğitim düzeyi ve farkındalık
- İçme suyu arzı
- Yerel hidrolojik sistem

❖ Bina tipiyle ilgili faktörler

- Apartman dairesi, müstakil ev, villa vb.
- Konut büyüklüğü
- Bahçeli /bahçesiz
- Gri su kullanımı veya atıksu ayırma mevcudiyeti

❖ Hanehalkı veya kullanımla ilgili faktörler

- Kullanılan cihazların durumu (çamaşır/bulaşık makinası vb.)
- Su tasarruflu ekipman kullanımı (tasarruflu musluk başlıkları, duş başlıkları vb.)
- Evdeki yetişkinlerin, yaşlıların, çocukların ve hizmetlilerin sayısı
- Ev dışında çalışan birey sayısı
- Kişisel su kullanım tarzı ve çevresel hassasiyet
- İleri teknoloji kullanımı (akıllı ev vb.)

Bütün bu faktörlerin etkisiyle ortaya çıkan su kullanım deseninin çeşitli parametrelerle (hanehalkı büyüklüğü, gelir, suyun fiyatı, kiracıların oranı, havuz sayısı ve sulama alanı gibi) yaklaşık olarak kestiriminin mümkün olduğu görülmektedir. Ancak özellikle hanehalkı düzeyinde konuttan konuta değişkenlik artmaktadır. Bu araştırma kapsamında evsel su kullanımına ilişkin olarak, değişkenliklerden en az seviyeden etkilenen bir genel çerçeve çizilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu maksatla literatürde yer alan kestirimsel modellerdeki [27, 49];

- 1) Tuvalet sifon suyu
- 2) Duş ve banyo
- 3) Musluk suyu
- 4) Bulaşık makinası
- 5) Çamaşır makinası
- 6) Sızıntılar
- 7) Diğer kullanımlarına ilişkin formüller bu bakış açısıyla tetkik edilmiştir.

Literatürde yer alan tüm araştırmaların kendine özgü kapsamı ve araştırma hedefleri bulunduğundan, üretilen modellerin kullandığı yöntemler ve veri ihtiyacı da farklılaşmaktadır. Genel olarak bütün eşitliklerin bireysel anlamda her bir konutun kendine özgü su tüketimini tahmin etmeye yönelik detaylı formüller olduğu görülmektedir.

Bu araştırma kapsamında ihtiyaç duyulan bilginin üretilmesine elverişli olduğu görülen model, AWWA (American Water Works Association) uhdesinde Aquacraft firması tarafından gerçekleştirilen araştırmada üretilen AWWA modelidir. Bu model 1999 yılında American Water Works Association tarafından gerçekleştirilen geniş kapsamlı araştırmada üretilmiştir. Araştırmada ABD ve Kanada'da yer alan alan 12 farklı kentsel bölgedeki 1188 konuttaki evsel su kullanım detayları kış ve yaz mevsimlerinde 2 haftalık dönemlerde data logger cihazları ile izlenerek elde edilen veriler istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Bu modelin esas alınmasındaki en temel neden bütün evsel su kullanım detaylarına ilişkin tahmin denklemlerine araştırma sonuçlarında yer verilmiş olmasıdır. Ayrıca araştırmanın coğrafi kapsamının geniş olması, seçilen kentlerin dağılımı, tespit edilen örneklem büyüklüğünün istatistiksel anlamda yeterli olması ve araştırma metodolojisi bakımından güvenilir olması da istatistiksel modelin uygunluk düzeyini artırmaktadır. Data logger cihazlarıyla elde edilen veriler mülakat ve su faturalarından kontrol edilerek doğrulama yapılmıştır [49].

Bu model bünyesinde yer alan denklemler veri ihtiyacı bakımından değerlendirilmiştir. İlgili denklemler Çizelge 4.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. AWWA evsel su kullanımı modeli

Evsel Su Kullanımı	Formül
Tuvalet (Sifon Suyu) Kullanımı	$tsk = 14,483 \times [MPW]^{(-0,225)} \times [HS]^{0,509} \times [HSQFT]^{0,117} \times e^{(-0,91 \times PRE60S - 0,164 \times POST80S - 0,076 \times ULTRATIO - 0,539 \times ULTONLY)}$
Banyo/Duş Kullanımı	$bdk = 3,251 \times [MPW]^{(-0,514)} \times [HS]^{0,885} \times [INC]^{0,171} \times e^{(0,349 \times RENT - 0,160 \times ULSRATIO)}$
Musluk Suyu Kullanımı	$msk = 7,972 \times [HS]^{0,498} \times [HSQFT]^{0,077} \times e^{(-0,254 \times RENT + 0,238 \times TRTMENT)}$
Bulaşık Makinesi Kullanımı	$bmk = 0,409 \times [MPW]^{(-0,5171)} \times [HS]^{0,345} \times [INC]^{0,162}$
Çamaşır Makinesi Kullanımı	$\text{çmk} = 2,293 \times [HS]^{0,852} \times [INC]^{0,162}$
Sızıntı Suyu	$ss = 1,459 \times [MPW]^{(-0,485)} \times [MPS]^{(-0,160)} \times [HS]^{0,392} \times [HSQFT]^{0,217} \times e^{(-0,264 \times RENT + 0,712 \times POOL)}$
Diğer Su Kullanımları	$dsk = 1,024 \times [tsk]^{0,117} \times [msk]^{0,253} \times [\text{çmk}]^{(-0,054)} \times [ss]^{0,083} \times [HS]^{0,162} \times [INC]^{(-0,058)} \times e^{(0,507 \times HOTTUB + 0,263 \times COOLER)}$

Denklemlerde tsk; tuvalet sifon suyu kullanımını, bdk; banyo ve duş kullanımını, msk; musluk suyu kullanımını, bmk; bulaşık makinesi su kullanımını, çmk; çamaşır makinesi su kullanımını, ss; bina tesisatından gerçekleşen sızıntılarla kaybedilen suları, dsk ise diğer su kullanımlarını ifade etmektedir. Tahmin parametrelerine ilişkin tanımlamalar ise Çizelge 4.4.'de verilmektedir.

Bu modele göre ortalama günlük su kullanımı evdeki kişi sayısı ile üssel orantılı şekilde değişmektedir. Ayrıca hane halkı büyüklüğüne ilaveten her bir evsel su kullanımı için formüllere evin büyüklüğü, hane halkı geliri, suyun marjinal fiyatı, evin kiralık olup olmadığı, arıtma cihazı kullanım durumu, tasarruflu cihazların kullanım durumu, evde havuz veya küvet olması gibi çeşitli parametreler eklenmektedir [49].

Çizelge 4.4. AWWA model parametreleri

Parametre	Açıklama
COOLER	Evaporatif soğutucuya sahip hanelerin oranı
e	2.718282
HOTTUB	Küvete sahip hanelerin oranı
HS	Ortalama hane halkı birey sayısı
HSQFT	Ortalama konut büyüklüğü (metrekare)
INC	Hanehalkı geliri (\$, ortalama)
LOTSIZE	Ortalama sulama alanı büyüklüğü (metrekare)
MPS	Kanalizasyon birim fiyatı (\$/lt.)
MPW	Suyun birim fiyatı (\$/lt.)
POOL	Yüzme havuzuna sahip konutların oranı
POST80s	1980 yılından sonra inşa edilen konutların oranı
PRE60s	1960 yılından önce inşa edilen konutların oranı
RENT	Kiralık konutların oranı
SPRINKLER	Sprinkler sulama sistemine sahip konutların oranı
TRTMENT	Su arıtma cihazına sahip konutların oranı
ULSRATIO	Düşük akışlı duş başlığına sahip konutların oranı
ULTONLY	ULF (ultra düşük sifon) tertibatlı tuvalete sahip konutların oranı
ULTRATIO	Ultra düşük sifon tertibatlı tuvaletlerin oranı

Modelin sunduğu denklemler (Bkz. Çizelge 4.3) veri ihtiyacı bakımından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda veri ihtiyacının en az olduğu durumdan an yüksek olduğu duruma farklı alternatifler üretilmiştir (Çizelge 4.5). Yapılan değerlendirmeye göre belirlenen alternatiflerin veri ihtiyacı muhtelif düzeyde karşılanmaktadır. Literatürde yer alan araştırmalarda hanehalkı büyüklüğü ile ilgili bilgiler yer almakta, buna karşın hane halkı geliri, ortalama konut büyüklüğü, suyun marjinal fiyatı ya da tasarruflu cihaz kullanım durumu gibi bilgiler yeterli düzeyde bulunmamaktadır. Bu nedenle 1 numaralı alternatif haricinde (Bkz. Çizelge 4.5) veri ihtiyacının karşılanamadığı görülmektedir. Bu doğrultuda evsel su kullanımlarının tahmininde 1 numaralı alternatifin kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.5. Model uygulama alternatifleri

Evsel Su Kullanımı	1	2	3	4
Tuvalet (Sifon Suyu) Kullanımı: (tsk)	HS	HS, HSQFT	MPW, HS, HSQFT	MPW, HS, HSQFT, PRE60s, POST80s, ULTRATIO, ULTONLY,
Banyo/Duş Kullanımı: (bdk)	HS	HS, INC	HS, INC, MPW	HS, INC, MPW, RENT, ULSRATIO
Musluk Suyu Kullanımı: (msk)	HS	HS, HSQFT	HS, HSQFT, RENT, TRTMENT	
Bulaşık Makinesi Kullanımı: (bmk)	HS	HS, INC	HS, INC, MPW	
Çamaşır Makinesi Kullanımı: (çmk)	HS	HS, INC		
Sızıntı Suyu: (ss)	HS	HS, HSQFT	HS, HSQFT, MPW,	HS, HSQFT, MPW, MPS, RENT, POOL
Diğer Su Kullanımları: (dsk)	HS, tsk, msk, çmk, dsk	HS, INC, tsk, msk, çmk, dsk	HS, INC, tsk, msk, çmk, dsk, HOTTUB, COOLER	

İstatistiksel modelin uygulanmasında şu adımlar takip edilmiştir:

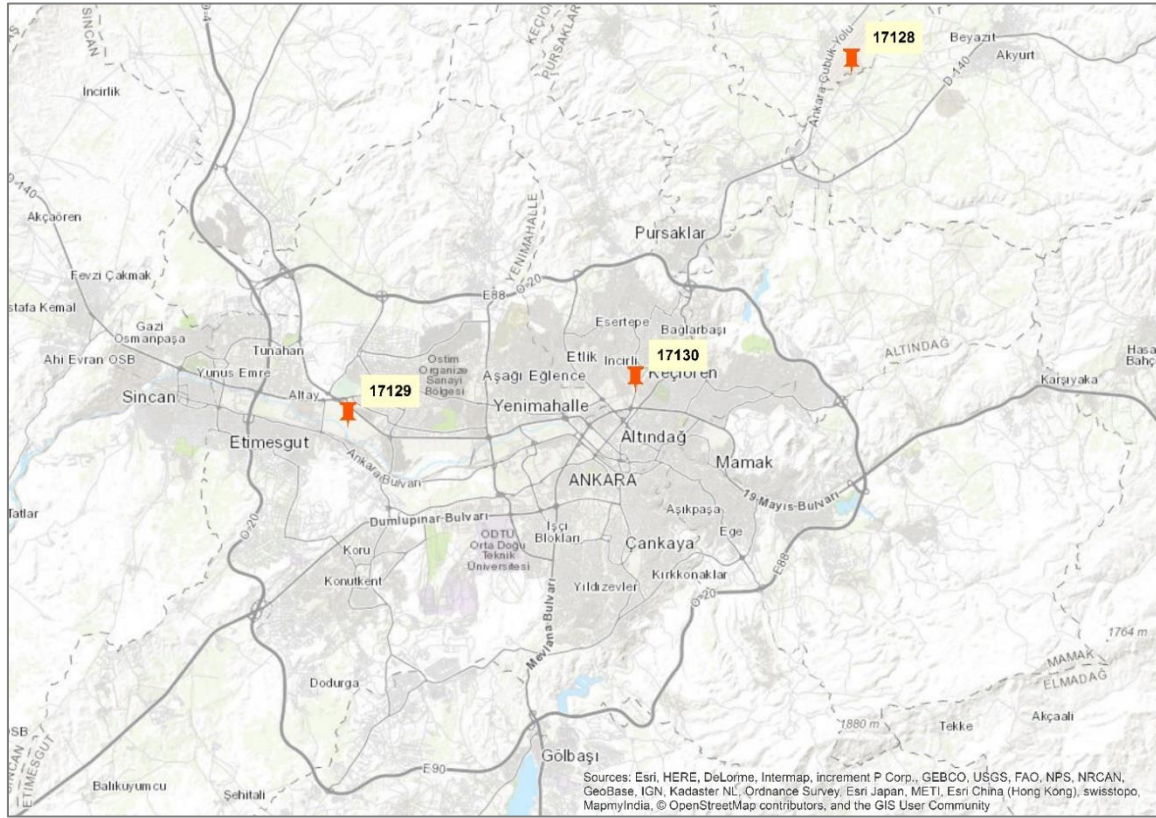
- İlk olarak yeterli veri bulunmadığından hane halkı büyüklüğü dışında kalan tahmin parametreleri (hane halkı geliri, konut büyüklüğü, suyun marjinal fiyatı gibi) ve bunlara bağlı katsayılar formüllerden çıkarılmıştır.
- Her bir evsel su kullanımı için kalan parametreler ve katsayıların literatür verilerini tahmin oranları tespit edilmiştir. Bu oranlar katsayıların güncellenmesinde başlangıç noktası olarak esas alınmıştır.
- Başlangıçta elde edilen tahmin düzeylerini iyileştirmek amacıyla katsayılar değiştirilerek en düşük tahmin hata oranı elde edilmiştir.
- Literatürde yer alan her araştırmanın kendi içinde ve diğer araştırmalarla birlikte ortaya çıkan hata oranları tespit edilmiştir.
- Ankara için hane halkı büyüklüğü üzerinden tahmini hane halkı günlük su kullanım miktarı ile tahmini evsel su kullanım oranları hesaplanmıştır.

Üretilen tahmin sonuçlarıyla birlikte hata oranları (Bkz. Bölüm 5.1 Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir.

4.3. Yağış Analizi ve Yağmur Suyu Hasadı

Yağmur suyu hasadıyla ilgili hesaplamalarda kullanılmak üzere Ankara bölgesinde yer alan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait 17128,17129 ve 17130 numaralı meteorolojik gözlem

istasyonlarının verileri tetkik edilmiştir. Veriler değerlendirilirken eksik veri oranları göz önünde bulundurulmuştur. Seçilen istasyonlar Ankara kent merkezini temsil edebilecek ve zamansal boyutu en geniş olan istasyonlardır. 17128 ve 17129 numaralı istasyonlar Etimesgut ve Pursaklar'daki havaalanlarında yer almaktadır (Şekil 4.3). Bu istasyonlardan Keçiören İlçesinde yer alan 17130 numaralı istasyon hem kentsel alanı temsil edici özellikleri hem de veri yoğunluğu ve bütünlüğü bakımından diğer istasyonlardan daha iyi durumdadır.



Şekil 4.3. Meteorolojik gözlem istasyonları

17130 numaralı istasyon (Ankara Bölge) için veri aralığı 1926 ile 2014 yıllarını kapsamaktadır. 17128 (Esenboğa Havaalanı) ve 17129 (Etimesgut Havaalanı) numaralı istasyonlar için veriler 1956 ve 1957 yıllarından itibaren başlamaktadır. Bu istasyonlarda veri bulunmayan zaman dilimleri mevcuttur. 17130 numaralı istasyon Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu ölçümleri, sinoptik gözlem ve günlük klima bilgilerini kapsamaktadır. 17130 numaralı istasyon Ankara kentsel alanının tamamına yakın bir kısmını diğer istasyonlardan daha iyi biçimde temsil etmektedir.

Araştırma kapsamında tespit edilen muhtemel tasarruf miktarı, iklimsel özellikler bakımından temel olarak Ankara İli merkezinde yer alan 17130 numaralı meteorolojik gözlem istasyonunun yağış verilerinin ve literatürden alınan evsel su kullanım detaylarının bir yansımasını temsil etmektedir. Bu bakımdan özellikle yağış verileri ile elde edilen hasat miktarları Ankara il merkezi için temsil edici niteliktedir.

4.3.1. Hasat edilebilen yağış miktarının hesaplanması

Yağış hesabı istasyonda geçmiş yıllarda kaydedilen yağış değerleri üzerinden yapılmıştır. İklimsel araştırmalarda yaygın biçimde referans dönem olarak 1975 yılı ve sonrasında alınmaktadır. Bu araştırma kapsamında istasyona ait 1975-2015 yılları arasında ölçümlenen veriler esas alınmıştır. Hesaplama günlük yağış miktarları toplanarak haftalık yağış miktarı elde edilmiştir. Daha sonra 1 numaralı formül ile hasat sisteminden toplanabilecek yağış miktarı hesaplanmıştır.

$$V_w = c \times P \times A \times \mu \quad (1)$$

Buna göre haftalık toplam hasat miktarı (V_w), haftalık toplam yağış (P , mm) ve hasat alanı (A , m²) üzerinden hesaplanmaktadır. Burada “c” yüzey akış katsayısını ve “μ” hidrolik filtrasyon verimliliğini ifade etmektedir. Hidrolik filtrasyon verimliliği filtrelerin bakım ve temizliğinin sürekli olarak yapıldığı durumlarda 0,95 olarak alınabilmektedir. Yüzey akış katsayısı ise çatı yüzeyinde kullanılan malzemeye bağlı olarak 0,80 ile 0,95 arasında değişmektedir [73]. Bu çalışmada μ 0,90 olarak alınmıştır. Haftalık bazda düşen yağış miktarından sonra haftalık su tüketim miktarının hesaplanması gerekmektedir.

Hesaplamalarda rezervuar hacminin belirlenmesinde haftalık tüketim ve hasat alanı ilişkisinin ortaya konulabilmesi amacıyla ikişer farklı hasat alanı (200 ve 250 m²) ve iki farklı haftalık su tüketimi (ASKİ temelli su tüketimi ve AWWA modeli) temelinde 4 farklı alternatif değerlendirilmiştir.

4.3.2. Ankara haftalık su tüketim miktarının hesaplanması

Hasat edilen yağmur suyunun ihtiyacı karşılama düzeyinin hesaplanması, haftalık su tüketim miktarının hesaplanmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda ASKİ internet sitesinde yer alan

[6] kişi başı günlük su tüketim miktarı üzerinden ortalama hane halkı büyüklüğü için ortalama günlük su tüketimi hesaplanmıştır. Burada önemli bir husus kentsel toplam tüketim değerinin şebekeye verilen günlük su miktarının kişi sayısına orantılanarak elde edilmiş olmasıdır. Bu durumda bu değer konutlarla birlikte sanayi, kamusal alanlar ve benzeri kullanımları da kapsamaktadır. Genel olarak konutlarda tüketilen suyun kentsel toplam tüketim miktarının yaklaşık olarak yarısına denk düştüğü kabul edilmektedir [50]. Bu kabulden hareketle konutlarda günlük kişi başı tüketiminin yarısı olduğu varsayılmıştır.

ASKİ verilerinden hareketle tahmini günlük kişi başı tüketim miktarı hesaplanabilmektedir, ancak bu suyun evdeki cihazlar tarafından ne oranda kullanıldığına ilişkin bilgi bulunmadığından, bu bilgi istatistiksel model ile hesaplanmıştır. Bu durumda evsel su kullanımı için ikinci bir değer daha elde edilmektedir (model tarafından üretilen toplam su tüketimi). İstatistiksel model yardımıyla hem su kullanım miktarı hem de evsel su kullanım oranları tahmini yapılmıştır. Evsel su kullanımına ilişkin bilgilerin (toplam tüketim ve evsel su kullanım oranları) bu iki değer arasında yer alması beklenmektedir. Bu nedenle bulgular ve sonuçlar her iki değer için ayrı ayrı hesaplanarak verilmiştir.

Yağmur suyunun çamaşır makinası ve bulaşık makinasında kullanımı öngörülmüştür. Bu iki cihaz için günlük su tüketimi miktarları hesaplandığından bu miktarlar haftalık tüketim değerlerine dönüştürülmüştür. Sonraki aşamada toplanan yağışın haftalık düzeyde nasıl tüketildiğine bağlı olarak gerekli yağmur suyu rezervuarının hacminin hesaplanması gerekmektedir.

4.3.3. Yağmur suyu rezervuar hacminin hesaplanması

Rezervuar hacminin hesaplanmasında Ripple metodunun uyarlanmış versiyonu kullanılmıştır. Ripple metodu büyük miktarda su depolanması planlanan rezervuar hacimlerinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır [73] . Bu metotla uzun yıllar boyunca toplama havzasına düşen tüm yağışlar ve su talepleri proses edilerek ortaya çıkacak maksimum su hacmi, dolayısıyla gerekli en büyük rezervuar hacmi tespit edilmektedir. Ancak bu yöntemle küçük rezervuar hacimlerinin hesaplanabilmesi için bir dizi uyarlama yapılması gerekmektedir.

Öncelikle yağmur suyu hasat sistemi havza su toplama sistemine kıyasla küçük ölçekli bir sistem olduğundan, tüm yağışın toplanması için gerekli rezervuar hacmi uygulanabilir olmamaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek maksadıyla metodun farklı bir uyarlaması kullanılmıştır. Buna göre toplam yağışın tamamının tutulması yerine haftalık düzeyde tutulabilen ortalama yağış miktarının tespiti esas alınmıştır. Bunun için seçilen rezervuar hacimleri (2,5,6 ton) için toplanabilecek en büyük yağış miktarı hesaplanarak, en uygun seçenek tespit edilmiştir. Bu amaçla Çizelge 4.6.'da verilen hesap adımları takip edilmiştir.

(S_w) değeri geçerli zaman adımıdaki (seçilen hafta) kullanılabilir (depolanabilen) su miktarını ifade etmektedir. Depolanabilen su miktarı seçilen rezervuar hacmiyle (r_v) sınırlanmaktadır. Yağış miktarı seçilen rezervuardan büyükse seçilen rezervuar hacmine eşit alınmaktadır. Depolanan su miktarı hasat edilen yağış miktarı (V_w) sıfır olduğu durumda sıfır olmaktadır.

Çizelge 4.6. Rezervuar hacmi hesaplaması

$S_w = 0, V_w \leq 0$
$S_w = r_v, V_w - r_v \geq 0$
$S_w = V_w - r_v, V_w - r_v < 0$
$S_{rw} = S_w / V_w$
$D_{ws} = 1, S_w - C_w \geq 0$
$D_{ws} = 0, V_w = 0$
$D_{ws} = S_w / C_w, S_w - C_w \geq 0$
$R_{sd} = \sum(D_{ws})/n$
$R_{sr} = \sum(R_{sd})/n$

Haftalık yağışın depolanma oranı (S_{rw}), haftalık hasatın tutulabilen oranını ifade etmektedir. Bu oran seçilen depolama kapasitesine bağlı olarak tutulabilen miktarın (S_w) haftalık yağışa oranıyla (V_w) hesaplanmaktadır.

Haftalık ihtiyacın karşılanma durumu (D_{ws}), haftalık düzeyde su talebinin karşılanma oranını ifade etmektedir. Depoda tutulan miktar (S_w) talebe (C_w) eşit ya da talepten fazla olduğu durumda 1, hasat miktarı sıfır olduğu durumda ise sıfır olmaktadır. Bunun dışında ise depoda tutulan miktarın (S_w) talebe (C_w) oranı olarak hesaplanmaktadır.

Seçilen hacimle ihtiyacın karşılanma oranı (Rsd), bütün zaman serisi boyunca ortalama ihtiyacın karşılanma düzeyini ifade etmektedir. Haftalık ihtiyacın karşılanma oranlarının (Ds) ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.

Seçilen hacimle yağışın depolanma oranı (Rsr), bütün zaman serisi boyunca ortalama yağışın depolanma oranını temsil etmektedir. Haftalık yağışın depolanma oranlarının ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.

4.4. Gri Su Yeniden Kullanımı

Konutlarda üretilen gri suların yeniden kullanımı halk sağlığı bakımından dikkatli biçimde ele alınması gereken bir husustur. Bu nedenle gri suyun konut içerisinde kapalı bir sistemle toplanarak kapalı bir rezervuar içerisinde depolanması ve bekletilen suyun 24 saati geçmeyecek süreler sonunda kanalizasyona doğrudan deşarj edileceği öngörülmüştür.

Evsel kullanım alanları tetkik edildiğinde gri suyun en az düzeyde risk içeren kullanımının tuvalet rezervuarlarında kullanım olduğu görülmektedir. Bu nedenle banyo tesisatında gerçekleştirilecek modifikasyon senaryosuna göre banyo musluğu, duş ve çamaşır makinasından gelen gri suların tuvalet rezervuarında biriktirilerek 1 günü aşmayan bekleme süreleri sonunda sifon suyu olarak kullanılması amaçlanmıştır.

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu araştırma kapsamında yağmur suyu ve gri su yeniden kullanımı yoluyla sağlanabilecek tasarrufun tespitine yönelik olarak şu bulgulara ulaşılmıştır:

- Evsel ölçekte tüketilen tahmini toplam su miktarı ve su kullanımının detayları,
- Kullanılabilir gri su kaynakları, tahmini gri su miktarı ve gri su rezervuar hacmi,
- Yağış miktarı, hasat edilebilir yağış miktarı ve yağmur suyu rezervuar hacmi,
- Yağmur suyu ve gri su kullanımı ile sağlanabilecek tasarrufun tahmini büyüklüğü.

5.1. Tahmini Evsel Su Kullanımı ve Gri Su Miktarı

Evsel su kullanımları ve muhtemel gri su miktarının tahmininde iki aşamalı bir yöntem uygulanmıştır. İlk olarak literatür verilerinin istatistiksel dağılımı üzerinden evsel su kullanımlarının genel görünümü elde edilmiştir (Bölüm 5.1.1.). Bu genel görünüm evsel su kullanımına ilişkin kapsamın sınırlarını göstermesi bakımından önemlidir. Daha sonra (Bölüm 5.1.2.) AWWA modeli kullanılarak üretilen Ankara tahmini evsel su kullanımı ve gri su miktarları Bölüm 5.1.1.'de oluşturulan genel görünümünden faydalanılarak yorumlanmıştır.

5.1.1. Literatür verilerinin istatistiksel olarak yorumlanması

Literatürden seçilen evsel su kullanım oranlarının (Bkz. Bölüm 4.2 Çizelge 4.2) temel istatistiksel parametreler düzeyinde görünümü Çizelge 5.1.'de özetlenmiştir. Çizelgede her su kullanımının dağılımına ilişkin en küçük değer, en büyük değer, %25'lik (ilk çeyreklik-Q1), ortanca(median), %75'lik (son çeyreklik-Q3), değişim aralığı ve uç değerler birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.1.'de verilen bilgilerden hareketle evsel ölçekte oluşan gri suyun durumuna ilişkin hususlar tetkik edilmiştir. İlk olarak dikkat çeken husus musluk suyu kullanımlarının toplam tüketimin %12 ile %52 arasında değişen oranlarına tekabül etmesidir. Bu büyük değişim aralığı musluk suyu ile birlikte toplam evsel su kullanımlarının da yüksek değişkenlik göstermesine neden olmaktadır.

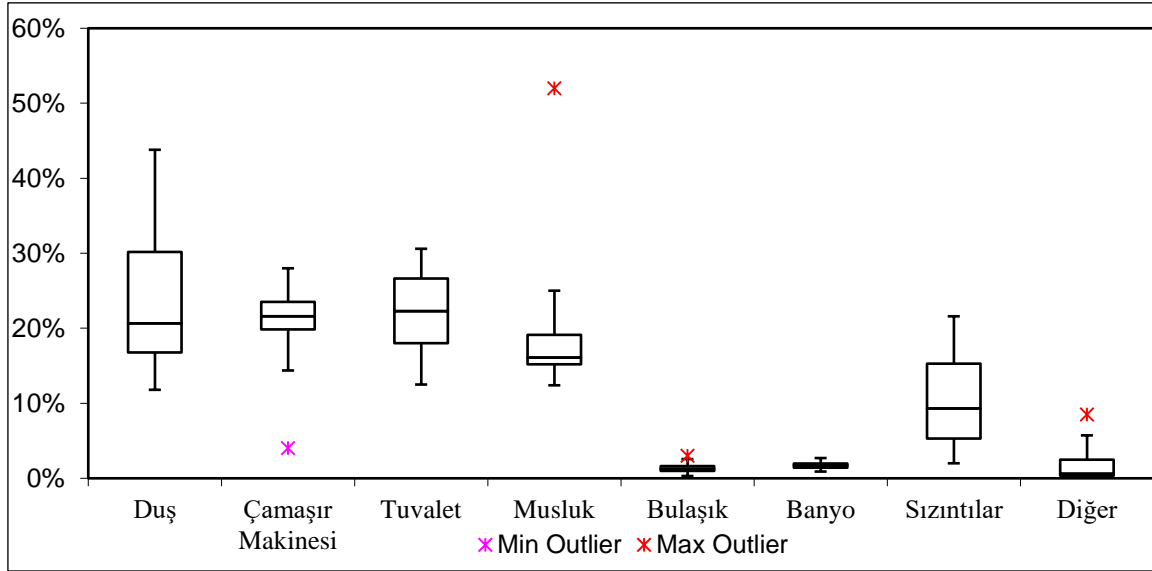
Çizelge 5.1. Literatür evsel su kullanımlarının istatistiksel görünümü

	Duş	Çamaşır Makinesi	Tuvalet	Musluk	Bulaşık Makinesi	Banyo	Sızıntılar	Diğer
Min	11,80	4,00	12 ,50	12 ,40	0,31	0,90	2,00	-
Q ₁	16,78	19,85	18,00	15,20	1,00	1,40	5,30	0,35
Median	20,67	21,60	22,30	16,10	1,25	1,75	9,30	0,61
Q ₃	30,18	23,50	26,65	19,13	1,63	1,98	15,30	2,50
Max	43,80	28,00	30,60	52,00	3,00	2,70	21,60	8,50
IQR	13,40	3,65	8,65	3,93	0,63	0,58	10,00	2,15
Üst Aşan Değer	-	-	-	3	1	-	-	2
Alt Aşan Değer	-	2	-	-	-	-	-	-

Tüm oranlar (%) cinsinden verilmiştir.

Ayrıca duş, tuvalet ve sızıntıların değişim aralığının da geniş olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu su kullanımlarına ilişkin tahminlerin güven aralığının geniş olacağı öngörülmektedir. Bu durum Bölüm 4.1.'de oluşturulan su kullanım senaryosunu hem kaynağın hem de yeniden kullanım alanının miktarındaki yüksek değişkenlik nedeniyle olumsuz yönde etkilemektedir. Buna karşın çamaşır ve bulaşık makinesi su kullanımlarındaki düzenli değişim nedeniyle bu kaynaklardan çıkan gri suların tutarlı bir aralıkta değişim göstereceği ve bu cihazlar için öngörülen su tüketim miktarlarının daha güvenli olacağı tahmin edilmektedir.

En önemli gri su kaynakları duş, çamaşır makinesi ve musluk sularıdır. Ayrıca diğer evsel su kullanımlarına kıyasla tuvalet sifon suyu kullanımının yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Ortanca (median) değerler esas alındığında gri su kaynaklarının (duş-banyo, çamaşır makinesi, musluk, bulaşık makinesi) toplam tüketimin ortalama %61,37'lik kısmına tekabül ettiği görülmektedir. Toplanan gri suların tuvalet sifon suyu olarak kullanılması durumunda ortalama %22 (ortanca değeri) civarında su tasarrufu sağlanabileceği görülmektedir. Diğer taraftan oluşan gri suların en düşük değerlerinin toplamının (%29,41) tuvalet sifon kullanımının en yüksek değerine yaklaşık olarak eşit olması da (%30,6) sifon suyu ihtiyacının gri sular kullanılarak hemen hemen her durumda karşılanabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.1. Eysel Su kullanımlarının istatistiksel dağılımı

Konutlardaki suların çıkış karakteristikleri göz önünde bulundurulduğunda, ortaya çıkan atıksuyun küçük bir kısmı kara su özelliği taşımaktadır. Bununla birlikte literatür verilerindeki musluk kullanımı gibi bazı fraksiyonların daha dikkatli biçimde ele alınması gerekmektedir. Zira musluk kullanımı literatürde mutfak, banyo ve tuvaletler için tek bir değer ile temsil edilmektedir. Türkiye’deki (alaturka tuvalet ve taharet musluğu gibi) kültürel farklılıklar nedeniyle atıksu kompozisyonunun da literatürdeki verilerden bir miktar farklılık gösterebileceğine dikkat edilmelidir. Bu nedenle ortaya çıkan karasu fraksiyonunun bir miktar daha yüksek olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

5.1.2. Konutlarda günlük su tüketim miktarı ve su kullanım detayları

Türkiye’de evsel su kullanım detaylarına ilişkin yegâne bilgi belediyeler tarafından içme suyu şebekesine verilen günlük su miktarının nüfusa oranlanmasıyla elde edilen kişi başı kentsel su tüketim miktarıdır. 2016 yılı itibariyle kişi başı su tüketimi Türkiye ortalamasının 217 litre olduğu, Ankara için bu değer 227 litre olarak gerçekleştiği bilinmektedir [90]. Bir önceki dönemde ise (2014 yılı) Türkiye ortalamasının 203 litre olduğu, Ankara ili için ise bu değer 211 litre olduğu görülmektedir [1].

Diğer taraftan ASKİ tarafından Ankara için kişi başı ortalama günlük tüketim miktarının (248,0 lt/gün, [6]) olduğu belirlenmiştir. Ancak bu bilgi konutlara verilen su miktarına ilişkin bir fikir vermemektedir. Bu kapsamda literatürde yer alan bilgiler ışığında konutlardaki

tüketim toplam kentsel tüketimin yarısına eşit olarak kabul edilmiştir [50]. Bu varsayımdan hareketle ASKİ verileri üzerinden konutlardaki kişi başı su tüketimi $248/2 = 124$ lt/gün olarak alınmıştır. Bu durumda 3,1 kişilik hane halkının günlük su tüketimi değeri;

$124,0 \times 3,1 = 384,4$ litre/gün olmaktadır. Bununla birlikte kentin gelişmişlik düzeyi, okul, işyeri, hastane ve benzeri kamusal binalarının sayısı ve büyüklüğü, sanayi tesislerinin miktarı ve benzeri unsurların etkisiyle konutlardaki su tüketiminin toplam kentsel tüketimin yarısından daha fazla olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Eldeki bilgilerden hareketle konutlardaki günlük su tüketimi konusunda bir tahmin yapılabilmektedir. Fakat bu suyun konut içerisinde nasıl tüketildiğine ilişkin herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu bilginin üretilmesi maksadıyla AWWA modeline başvurulmuştur. Bu modelde toplam su tüketimi miktarı hane halkı büyüklüğü üzerinden üretilmektedir ve bu miktar üzerinden su kullanım oranları hesaplanmaktadır. Bu durumda ikinci bir toplam su tüketim miktarı ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla toplam su tüketimine ilişkin tahminin bir aralık şeklinde verilmesi daha uygun olmaktadır. Bu nedenle bu araştırma kapsamında sağlanabilecek tasarruf miktarı her iki değerin oluşturduğu aralık kullanılarak ifade edilmiştir. ASKİ verileri ile hesaplanan günlük su tüketim miktarı ile birlikte model yardımıyla yapılan tahmin, sağlanabilecek tasarruf miktarının iki uç değerini temsil etmektedir.

Genel olarak model kullanılarak üretilen sonuçların doğrulanması beklenir. Ancak bu araştırmanın kapsamında saha ölçümleri bulunmadığından bu doğrulama ihtiyacının karşılanması adına modelin literatür verilerini tahminindeki doğruluk düzeyinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak literatür verileri model kullanılarak yeniden hesaplanmıştır (Çizelge 5.2). Literatürdeki her bir araştırmanın kişi başı ve hane halkı günlük tüketim miktarları ile ilk tahminler arasındaki sapma miktarı hesaplanarak “başlangıç hata oranı” tespit edilmiştir. Birbirini takip eden denemelerle tahmin hata miktarını minimum seviyeye indiren katsayılar tespit edilmiştir. Buradan hareketle modelin tüketilen su miktarı ve suyun kullanım oranlarını tahmin seviyesi ve tüm araştırmaları tahminine ilişkin ortalama doğruluk seviyesi tespit edilmiştir.

Çizelge 5.2. AWWA modeliyle literatür verisi tahmin sonuçları

Literatür Verisi			İlk Tahmin			Son Tahmin			Günlük Toplam Tüketim Hata (%)
Şehir	Günlük Kişibaşı Tüketim	Günlük Toplam Tüketim	GSP (lt)	GSO (%)	Hata Düzeyi (%)	GSP (lt)	GSO (%)	Hata Düzeyi (%)	
Seattle	216,15	605,21	104,08	46	56,4	386,48	62	6,2	3,65
San Diego	220,69	595,86	101,54	46	57,7	373,08	61	10,9	2,43
Boulder	244,92	587,80	93,77	45	61,6	333,34	60	17,6	-5,27
Lompoc	249,08	697,42	104,08	46	55,1	386,48	62	11,5	-11,03
Tampa	249,08	597,79	93,77	45	57,9	333,34	60	10,6	-7,06
Walnut Valley WD	256,65	846,95	116,43	47	54,7	454,69	64	17,8	-18,38
Denver	262,33	708,29	101,54	46	61,2	373,08	61	9,5	-15,98
Las Virgenes MWD	263,47	816,74	111,55	47	56,2	427,17	63	16,2	-20,03
Waterloo & Cambridge	267,25	828,48	111,55	47	58,9	427,17	63	20,7	-21,75
Phoenix	293,75	851,87	106,59	46	53,2	399,96	62	20,0	-31,96
Scottsdale & Tempe	308,13	708,71	91,12	45	57,2	320,25	59	20,5	-31,02
Eugene	316,08	790,21	96,39	45	69,4	346,51	60	24,2	-37,23
Abu Dhabi	168,00	856,80	157,47	49	50,3	716,69	69	32,3	17,30
Adelaide	144,90	362,25	96,39	45	31,4	346,51	60	23,3	37,09
Auckland	155,00	418,50	101,54	46	40,5	373,08	61	26,7	31,47
Harbin	223,30	669,90	109,09	46	25,3	413,53	62	35,9	-1,04
Brasilia	177,25	748,00	137,97	48	47,0	585,42	67	28,4	14,78
Gold Coast	131,60	342,16	98,98	46	33,2	359,75	61	36,7	42,32
Brisbane	136,80	355,68	98,98	46	42,8	359,75	61	27,6	40,05
Ipswich	109,30	295,11	101,54	46	26,6	373,08	61	41,8	51,68
Sunshine Coast	164,20	410,50	96,39	45	47,3	346,51	60	21,9	28,71
Perth	155,00	429,35	103,32	46	30,2	382,45	61	26,7	31,07
Melbourne	169,00	507,00	109,09	46	45,9	413,53	62	15,2	23,53
Toowoomba	112,00	347,20	111,55	47	39,3	427,17	63	32,0	48,98
ORTALAMA	208,08	599,07	106,45	46,14	48,31	402,46	61,82	22,26	23,91

Elde edilen sonuçlara göre literatürde yer alan her bir araştırmanın toplam su tüketim miktarı ortalama %23,91 hata oranıyla tahmin edilebilmektedir (Bkz. Çizelge 5.2). Ayrıca her bir araştırmanın toplam su tüketiminin tahminindeki hata oranının %-37,23 ile %51,68 aralığında değiştiği görülmektedir.

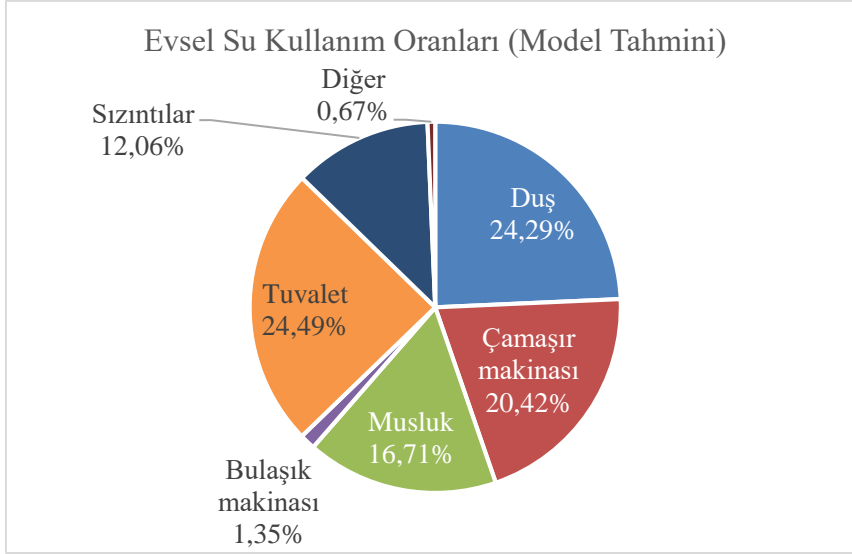
Diğer taraftan (evsel su kullanım detayları üzerinden) gri su oranları ortalama %22,26 hata oranıyla tahmin edilebilmektedir (Bkz. Çizelge 5.2). Gri su miktarının hesaplanmasında her bir araştırma için ortaya çıkan hata oranları da %6,2 ile %41,8 arasında değişim göstermektedir. Bu sonuçlara göre gri su miktarı açısından literatür verileri model tarafından ortalama %77,74 doğrulukla tahmin edilebilmektedir.

Model tahminlerinin doğruluk seviyesi elde edildikten sonra Ankara için tahmini su tüketiminin evsel su kullanımlarına göre dağılımı da hesaplanmıştır. Model tarafından hane halkı büyüklüğü 3,1 alınarak hesaplanan toplam tüketim miktarı 680,46 litre/gündür (Bkz. Çizelge 5.3). Çizelgede ASKİ su tüketim miktarı (384,4 lt/gün) üzerinden hesaplanan oranlara da yer verilmiştir. Buna göre konutlardaki ortalama toplam su tüketiminin 384,4 litre ile 680,46 litre aralığında değiştiği tahmin edilmektedir. Benzer biçimde duş, çamaşır makinası, tuvalet, musluk, bulaşık makinası ve diğer kullanımlar ile sızıntı miktarlarının da tahmini oranları çizelgede verilmiştir. Tahminler temelinde Ankara için evsel su kullanım detayları Şekil 5.2.'de gösterildiği şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. AWWA modeli ortalama tahmin doğruluk düzeyleri

Evsel Su Kullanımı	Literatür Ortalama (lt/gün)	İlk Tahmin Ortalama (lt/gün)	İlk Tahmin Ortalama Hata (%)	Son Tahmin Ortalama (lt/gün)	Son Tahmin Ortalama Hata (%)	Ankara Tahmin		
						%	384,40	680,46
Toplam Tüketim	599,07	230,17	55,91	624,13	23,91	%	384,40	680,46
Duş / Banyo	137,43	31,59	62,24	152,40	8,30	24,29	206,85	248,64
ÇM	122,62	21,50	66,40	131,28	16,85	20,97	157,84	189,72
Tuvalet / Sifon	139,24	93,97	24,27	138,65	21,69	24,49	151,65	182,31
Musluk	120,69	51,12	33,20	109,66	15,76	16,71	122,50	147,22
BM	6,82	2,23	51,47	9,12	19,13	1,35	9,39	11,25
Sızıntılar	69,14	8,36	63,02	78,67	34,77	12,06	89,80	107,94
Diğer	15,87	21,40	55,91	4,36	48,94	0,67	4,68	5,62

Elde edilen su kullanım oranları, Bölüm 3.1.'de verilenler (Şekil 3.1) ile kıyaslandığında ilk olarak evsel suların dağılım kategorilerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Efe tarafından verilen dağılımda tuvalet, çamaşır makinası ve banyo-duş sularının en yüksek su kullanımına sahip olduğu ve bunları lavabolar, bulaşık makinası ve diğer kategorilerinin takip ettiği görülmektedir. Bu araştırmayla benzer biçimde, tuvalet sifon suyu kullanımının en yüksek tüketim miktarına sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın diğer su kullanımlarının hem miktarlarının hem de sıralamasının bu araştırmadakilerden farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. Ankara evsel su kullanım tahmini (HS:3,1)

Ankara için tahmini su kullanım öngörüsü (günlük toplam su tüketim miktarları ve gri su oranları) ile literatür verilerinin değişim aralığı Çizelge 5.4.'de birlikte verilmiştir.

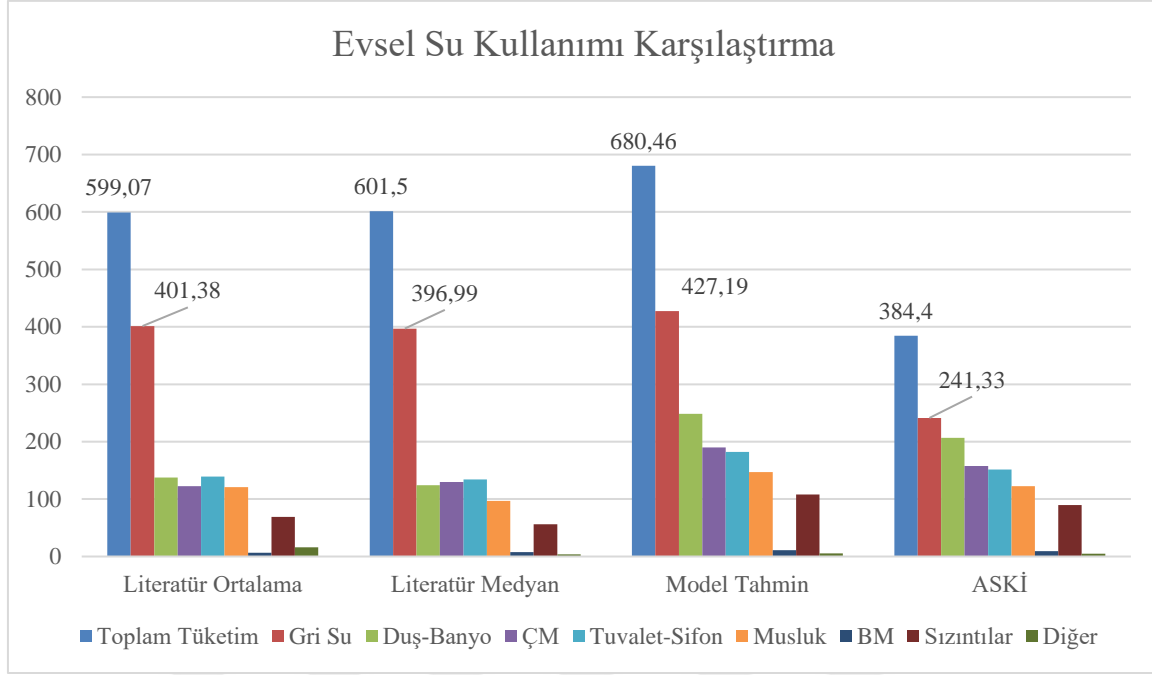
Çizelge 5.4. AWWA modeli öngörüsü ve literatür verisi karşılaştırma

	Hanehalkı Büyüklüğü	Günlük Kişibaşı Tüketim (lt)	Günlük Toplam Tüketim (lt)	GSP (lt)	GSO (%)
Ankara Tahmin	3,10	219,50	680,46	427,17	62,78
Literatür Ortanca	2,74	218,40	601,50	398,13	66,19
Literatür Ortalama	2,91	208,08	599,07	402,46	61,82
Literatür Değişim Aralığı	2,30 5,10	186,01 356,29	540,91 1036,06	227,23 588,30	49,60 83,00

GSP: Gri Su Potansiyeli, GSO: Gri Su Oranı

Model hesaplamaları hane halkı büyüklüğü üzerinden gerçekleştirildiğinden, hane halkı büyüklüğünün (3,1) hem ortanca hem de ortalamadan büyük olması nedeniyle, hesaplanan tüketim değerlerinin de ortalama ve ortancadan büyük olması beklenen bir durumdur.

Elde edilen sonuçlara ilişkin bir diğer değerlendirme ise Şekil 5.3.'te verilmiştir. Burada literatürdeki ortalama ve ortanca değerleriyle model tarafından gerçekleştirilen tahminlerin durumu birlikte ele alınmıştır.



Şekil 5.3. Evsel su kullanım oranlarının karşılaştırması

Buna göre model tarafından hesaplanan hem günlük toplam su tüketim miktarının hem de gri su oranının literatür ortanca ve ortalama değerlerinden yüksek olduğu daha açık biçimde görülmektedir. ASKİ etiketiyle verilen tahminler, ASKİ verisi esas alınarak hesaplanan oranları göstermektedir. Buradaki oranlar “Model Tahmin” etiketiyle verilenlerle birebir aynıdır. Evsel su kullanım detayları açısından, model tahmin değerlerinin literatür ortalama ve ortanca değerlerine kıyasla daha orantılı biçimde azalan bir dağılımı takip ettiği görülmektedir. Literatür değerleri ise görece daha düzensiz bir dağılım sergilemektedir.

5.1.3. Tahmini gri su potansiyeli ve gri su miktarı

Model tahmini ve ASKİ verileri bir arada değerlendirildiğinde günlük toplam su tüketim miktarının 384,4 litre ile 680,46 litre arasında olması beklenmektedir. Bu nedenle ortaya çıkan gri su potansiyeli de iki farklı değer üzerinden (tahmin aralığı şeklinde) ifade edilmiştir.

Sonuç olarak ortaya çıkan gri su potansiyelinin (toplam tüketimin %62,78’i üzerinden) günlük 241,33 litre ile 427,19 litre arasında olacağı öngörülmektedir. Ortaya çıkan bu potansiyele ilişkin olarak değerlendirilebilecek alternatifler Çizelge 5.5.’de verilmiştir.

Literatürdeki (Bkz. Çizelge 5.1) en yüksek tuvalet sifon kullanımının toplam tüketimin yaklaşık %30,4'ü civarında olduğu düşünülürse tuvalet sifon suyu ihtiyacının iki katından fazla gri su potansiyelinin ortaya çıktığı görülmektedir.

Çizelge 5.5. Gri su yeniden kullanım alternatifleri

	Çamaşır makinası (lt/gün)	Duş ve banyo (lt/gün)	Banyo musluğu (lt/gün)	Toplam potansiyel (lt/gün)	Tuvalet sifonu ihtiyacı (lt/gün)	Bekleme süresi (En çok)
Kullanım Senaryosu	78,5-138,9	93,3-165,3	32,1-56,8	203,9-361	94,14-166,6	24 saat

Tuvalet sifon suyunun yaklaşık 94,14-166,6 litre civarında olduğu durumda duş/banyo sularıyla birlikte banyo musluk sularının (musluk suyu kullanımının yarısı) rezervuarda biriktirilmesinin tuvalet sifon suyu ihtiyacını karşılayabileceği görülmektedir. Depolama için 200 litre hacim yeterli olmaktadır. Rezervuarda su bulunmasının daha büyük oranda garantilenebileceği diğer bir seçenek de 250 litre kapasiteli depo kullanılmasıdır.

5.2. Hasat Edilebilen Yağış Miktarı ve Rezervuar Hacmi

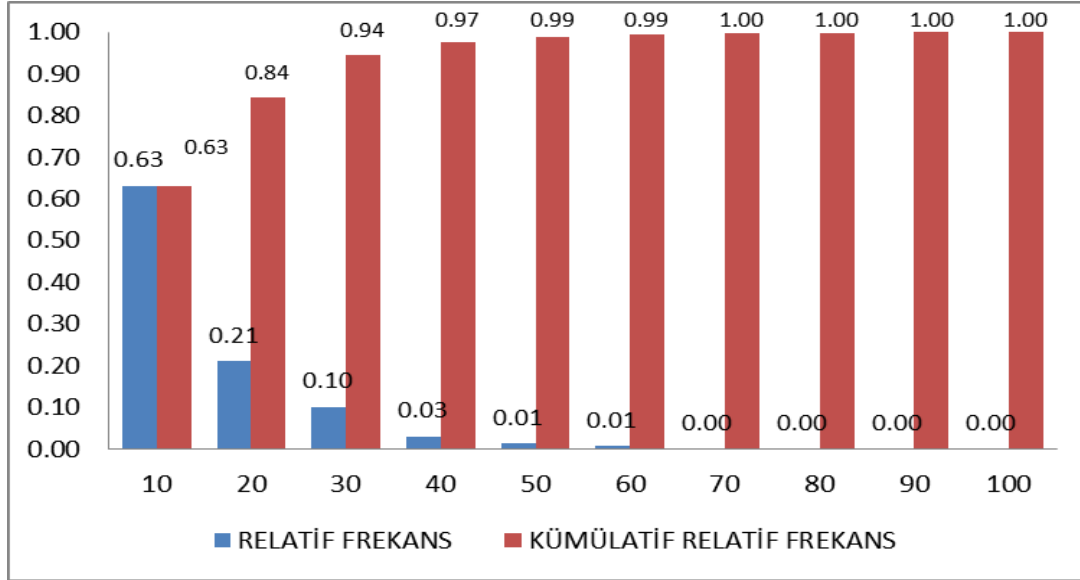
Bu araştırmada Ankara iklim koşullarında toplanabilecek yağışın miktarı 2 farklı hasat alanına göre hesaplanmıştır (Çizelge 5.6). Hesaplamalara göre 200 m² hasat alanıyla haftalık düzeyde 1,3 ton, 250 m² hasat alanıyla 1,67 ton yağmur suyu elde edilmektedir. Ancak bu suların toplanması için gerekli rezervuar hacimleri uygulamaya elverişli değildir (Bkz. Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. Yağmur suyu hasadı senaryoları

	Senaryo 1	Senaryo 2
Yıllık yağış (ortalama mm)	406,41	
Haftalık yağış (ortalama mm)	7,82	
Hasat alanı (m ²)	200	250
Yıllık hasat miktarı (Ortalama m ³)	69,5	86,8
Haftalık hasat miktarı (Ortalama m ³)	1,3	1,67
Tüm yağışı toplamak için gerekli hacim (m ³)	1713,07	2494,89

Haftalık toplam yağışın kümülatif dağılımı değerlendirildiğinde (Bkz. Şekil 5.4) yağışların %90'ından fazla bir kısmının 0 ile 30 mm arası yağışlardan oluştuğu görülmektedir. Diğer

bir deyişle 30 mm'ye kadar yağışların tamamı hasat edildiğinde toplam yağışın %90'ından fazlasının hasat edilebileceği görülmektedir. Bu durumda teorik olarak haftalık 1,2 ile 1,5 ton yağmur suyu hasat edilebilmektedir.



Şekil 5.4. Toplam yağışın kümülatif dağılımı [45]

Bu nedenle sistemin düşük talep taraflı olarak kurgulanması gerekmektedir. Düşük talep sistemler yeterli suyun olmadığı durumlarda belli miktardaki ihtiyacın karşılanmasına yönelik olarak kurgulanır. Bu sayede toplanabilen yağış miktarı ve ekonomik rezervuar hacmi arasındaki denge sağlanabilmektedir. Toplanabilecek yağışın depolanması için gereken rezervuar hacmi ise haftalık tüketim miktarları ve hasat alanına göre değişen 4 farklı senaryo ile hesaplanmıştır (Çizelge 5.7). Hasat edilen suyun en az tüketim miktarı kadarının depolanması gerektiğinden, en küçük depo hacmi 2 ton olarak seçilmiştir. 5 ve 6 tonluk depolama seçenekleri ise yağışın depolanma performansı, fiyat ve kabul edilebilir boyut özellikleri bakımından uygun olabilecek diğer seçeneklerdir.

Çizelge 5.7. Yağmur suyu hasat miktarı

Su Kullanım Senaryoları	1. Seçenek	2. Seçenek	3. Seçenek	4. Seçenek																				
Günlük su tüketimi (lt)	384,4 – 680,46																							
Haftalık su tüketimi (m ³)	2,69 – 4,76																							
Haftalık hasat miktarı (m ³)	1,30	1,63	1,30	1,63																				
Teorik (hasat/tüketim)	%220	%276	%125	%157																				
Evsel su kullanım tahmini (%)	Duş-banyo:24,29 Tuvalet / Sifon:24,49 BM:1,35 Diğer:0,67		ÇM:20,42 Musluk:16,71 Sızıntılar:12,06																					
Yağmur suyu	Kullanım yeri												Çamaşır makinası, bulaşık makinası											
	Günlük tüketim						83,7						148,1											
	Haftalık tüketim						0,59 m ³						1,04 m ³											
	Hasat Alanı			200 m ²			250 m ²			200 m ²			250 m ²											
	Haftalık hasat			1,30 m ³			1,63 m ³			1,30 m ³			1,63 m ³											
	Teorik oran (hasat/tüketim)			%220			%276			%125			%157											
	Ekonomik Rezervuar Hacmi (m ³)			2	5	6	2	5	6	2	5	6	2	5	6									
	Seçilen Hacimle İhtiyacın Karşılama Oranı (%) *			%59,08			%61,18			%52,57			%55,32											
	Seçilen Hacimle Yağışın Depolanma Oranı (%) *			64,7	73,06	73,53	61,35	72,0	72,9	64,66	73,0	73,49	61,35	72,0	72,91									
	Tasarruf miktarı (lt)			49,5			51,2			77,9			81,9											
Tasarruf/Toplam Tüketim			%12,88			%13,32			%11,44			%12,04												

* Bakımız; Bölüm 4.3.3. Yağmur suyu rezervuar hacminin hesaplanması

Birinci ve ikinci senaryoda çamaşır makinası ve bulaşık makinası için tüketim miktarları (ÇM: %20,42 ve BM: %1,35) ASKİ verisi üzerinden hesaplanan günlük tüketim değeri (83,7 lt/gün) üçüncü ve dördüncü senaryoda ise AWWA modeli yardımıyla tahmin edilen günlük tüketim (148,1 lt/gün), alınmıştır. Buna göre haftalık tüketim miktarları 0,59 ile 1,04 m³ arasında olmaktadır. Birinci ve üçüncü senaryoda hasat alanının 200 m², ikinci ve dördüncü senaryoda ise 250 m² hasat alanı üzerinden elde edilen hasat miktarı tetkik edilmiştir. Bütün yağışlar toplanarak depolandığı durumda 200 m² hasat alanından 69,5 ton, 250 m² hasat alanından ise 86,87 ton yağmur suyu hasat edilebilmektedir. Ancak depolama kapasitesinin kısıtlı olması nedeniyle hasat edilen suyun kullanım miktarı depolama hacmine göre değişiklik göstermektedir. Teorik anlamda hasat edilen yağışın haftalık toplam tüketimi

karşılama oranı %125 ile %220 arasında değişmektedir. Ancak ekonomik rezervuar hacmi kısıtlaması nedeniyle kullanılabilir yağışın daha düşük bir fraksiyonu toplanıp kullanılabilir.

Ulaşılan bulgulara göre (Çizelge 5.7 Seçilen hacimle ihtiyacın karşılanma oranı) ekonomik rezervuar hacimleri arasında ihtiyacın karşılanması bakımından karşılaştırmanın yapılamayacağı anlaşılmaktadır. Çünkü talebin karşılanma oranı rezervuar hacimlerinin değişimine tepki vermemekte, doğrudan haftalık düzeyde toplanan yağış miktarıyla ilişkili değişim göstermektedir. Bu nedenle hasat edilen yağışın tutulma oranı (Seçilen Hacimle Yağışın Depolanma Oranı) üzerinden rezervuar hacimleri arasında karşılaştırma yapılması düşünülmüştür. Bu doğrultuda en uygun rezervuar hacmi belirlenmiştir.

Tüm senaryolar için rezervuar hacmi arttıkça depolanan su miktarı artmaktadır. Ancak 2 tonluk rezervuar hacminden 5 tonluk rezervuar hacmine geçişteki artış miktarının, 5 tondan 6 tona geçişte azaldığı görülmektedir. Bu nedenle seçimin 2 veya 5 ton rezervuar hacimleri arasında yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. 5 tonluk rezervuarın seçilmesinin su tutma kapasitesinin artması nedeniyle burada tahmin edilenden daha yüksek arz güvenliği sağlayacağı düşünülmektedir.

Hesaplamalara göre seçilen rezervuar hacminden bağımsız biçimde 14 haftayı bulan sürelerde yağmur suyu deposunda su bulunmayacağı anlaşılmaktadır. Bu durumda yağmur suyunun tek başına herhangi bir ihtiyacın karşılanması için yeterli olmadığı, şebekeden alınan su miktarını azaltmak üzere ikincil kaynak olarak değerlendirilebileceği anlaşılmaktadır.

5.3. Yağmur Suyu ve Gri Suların Birlikte Kullanımı

Konutlarda yağmur suyu ve gri suyun birlikte değerlendirilmesine ilişkin bulgular Çizelge 5.8.'de özetlenmiştir. Burada kurgulanan sisteme göre yağmur suyu çamaşır makinası ve bulaşık makinasında içme suyu şebekesiyle birlikte kullanılmaktadır.

Çizelge 5.8. Alternatif su kullanım modelleri

Su Kullanım Senaryoları		1. Seçenek			2. Seçenek			3. Seçenek			4. Seçenek		
Günlük su tüketimi (lt)		384,4 – 680,46											
Evsel su kullanım tahmini (%)		Duş-banyo:24,29 Tuvalet / Sifon:24,49 BM:1,35 Diğer:0,67						ÇM:20,42 Musluk:16,71 Sızıntılar:12,06					
Yağmur suyu	Kullanım yeri	Çamaşır makinası, bulaşık makinası											
	Günlük tüketim (lt)	83,7						148,1					
	Haftalık tüketim	0,59 m ³						1,04 m ³					
	Hasat Alanı	200 m ²			250 m ²			200 m ²			250 m ²		
	Haftalık hasat	1,30 m ³						1,63 m ³					
	Ekonomik Rezervuar Hacmi (m ³)	2	5	6	2	5	6	2	5	6	2	5	6
	Seçilen Hacimle İhtiyacın Karşılama Oranı (%) *	%59,08			%61,18			%52,57			%55,32		
	Seçilen Hacimle Yağışın Depolanma Oranı (%) *	64,7	73,06	73,53	61,35	72,0	72,9	64,66	73,0	73,49	61,35	72,0	72,91
	Tasarruf miktarı (lt)	49,5			51,2			77,9			81,9		
	Gri su	Gri su potansiyeli	%62,78										
Kullanım yeri		Tuvalet sifon suyu											
Kaynaklar		Çamaşır makinası, banyo-duş ve banyo lavabosu suları											
Haftalık tüketim (lt)		94,1-166,6											
Haftalık potansiyel (lt)		241,3-427,2											
Rezervuar hacmi (lt)		200- 250											
Tasarruf miktarı (lt)		94,1-166,6											
Tasarruf oranı		%100											
Kabuller ve kısıtlamalar		Yağmur suyu hasat tertibatı, gri su yeniden kullanım tesisatı gereklidir. Gri suya kara su karışmadığı varsayılmıştır.											
Toplam tasarruf miktarı (lt)		143,6			145,3			244,5			248,5		
Toplam Tasarruf oranı		%37,4			%37,8			%35,9			%36,5		

* Bakınız; Bölüm 4.3.3. Yağmur suyu rezervuar hacminin hesaplanması

İlaveten amaşır makinası, banyo-duş ve banyo musluklarından gelen sular da tuvalet rezervuarında değerlendirilmektedir. Yüksek oranda gri su kullanım potansiyeli (%59-%69) bulunmasına karşın sistemin en az teknik karmaşa ve en düşük maliyet odaklı tasarlanması nedeniyle tasarruf miktarı da görece daha düşük olmaktadır. Elde edilen tasarruf miktarı %36 ile %38 arasında değişmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerinin hafifletilmesine veya ötelenmesine yönelik olarak binalarda yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı ile sağlanabilecek tasarruf oranı hesaplanarak kentsel ölçekte yapılabilecek çalışmalara ışık tutulması amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda Ankara iklim koşulları doğrultusunda yağmur suyu ve gri su kullanımı bir arada ele alındığında toplam günlük hane halkı su tüketimi üzerinden yaklaşık olarak %36 ile %38 oranında içme suyu tasarrufu sağlanabileceği öngörülmüştür. 384,4 litre ile 680,46 litre günlük su tüketimi ve ASKİ güncel su ve atıksu fiyatları (içme suyu: 4,75 TL/ton, atıksu: 2,38 TL/ton) [6] üzerinden hesap edildiğinde konut başına yıllık düzeyde ortalama 370 TL ile 655 TL arasında tasarruf sağlanması mümkündür.

Araştırma kapsamında yağmur suyu hasadı, kentsel su kullanım detayları ve gri su kullanımına ilişkin olarak şu sonuçlara ulaşılmıştır:

6.1. Yağmur Suyu Hasadına İlişkin Sonuçlar

- 1) Ankara iklim bölgesinde binalar düzeyinde yağmur suyu hasadı ile sağlanabilecek tasarruf miktarının (%11,44 ile %13,32 arası) evsel su tüketim miktarı esas alındığında düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun elde edilmesinde önemli olduğu düşünülen etkenler şunlardır:
 - a) Ankara bölgesinde yarı kurak iklim bölgesi koşullarının hâkim olması (yıllık 500 mm altı, ortalama 406,41mm) nedeniyle uzun yağışsız dönemler (en uzun 52 gün görülmesi),
 - b) Hasat miktarını kontrol eden parametrelerden (yağış miktarı, toplama alanı ve rezervuar hacmi) tümünün sistem ölçeğinin küçük olması nedeniyle toplam verimi aşağı yönde etkilemesi,
 - c) Rezervuar hesaplamasında kullanılan Ripple metodunun araştırmaya yönelik uyarlamasında kümülatif birikim özelliğinin (rezervuar hacmi kısıtı nedeniyle) ortadan kalkması.
- 2) Yağmur suyu hasadıyla Ankara iklim koşullarında 200 m² hasat alanından haftalık 1,30 m³, 250 m² hasat alanından 1,63 m³ yağmur suyu hasat edilebilmektedir.

- 3) Evsel su ihtiyacının (çamaşır makinası, bulaşık makinası gibi) belli fraksiyonlarının yağmur suyunun ikincil kaynak olarak kullanımıyla belli seviyede (%52 ~ %61) karşılanabileceği tespit edilmiştir. Haftalık 0,59 ile 1,04 ton kullanım için 2 ve 5 tonluk rezervuarlar ile yağışın sırasıyla %61 ile %73 civarında bir kısmı depolanabilmektedir.

6.2. Gri Su Kullanımına İlişkin Sonuçlar

- 1) Ankara için kullanılabilir gri su potansiyelinin %62,78 civarında olduğu tahmin edilmektedir.
- 2) İstatistiksel model yardımıyla hane halkı büyüklüğü üzerinden evsel su kullanım miktarının tahmininde ortalama %76,09 doğruluk düzeyine ulaşılmıştır.
- 3) Aynı şekilde literatür verilerinin evsel su kullanım oranlarının tahminindeki toplam hata oranı açısından ortalama %77,74 doğruluğa ulaşılabilmektedir.
- 4) Evsel su kullanımının tahmini konusunda literatürde yer alan çalışmalarda hane halkı büyüklüğü dışında yeterli veriye ulaşılamamıştır.
- 5) Ankara kenti tahmini evsel su kullanım oranları temelinde çamaşır makinası, duş-banyo ve banyo musluğu sularının kullanımıyla tuvalet sifon suyu ihtiyacının %100 oranda karşılanabileceği tahmin edilmektedir. Bu yöntemle evsel su kullanımında içme suyundan sağlanabilecek tasarruf oranı %24,5 olarak hesaplanmıştır.
- 6) Gri su kullanımı konusunda her ne kadar arıtım ihtiyacı olmaksızın kullanım hedeflenmiş olsa da özellikle halk sağlığı risklerinin oluşmaması ve 24 saatlik bekleme sürelerinin aşılardan depolanan suyun kanalizasyona deşarjının sağlanması gerekmektedir. Bu fonksiyonun sağlandığı yaygın ve basit teknolojiyle üretilip kullanıma sunulabilecek bir depolama çözümüne ihtiyaç bulunmaktadır.
- 7) Elde edilen evsel su kullanım bilgisine ilişkin önemli bir husus, literatürdeki araştırmaların büyük bir kısmında hane halkı büyüklüğü 3'ten küçük olmasıdır. Bu durumda modelin tahmini için kullanılan verilerde bir miktar yanlışlık oluşabileceği öngörülmektedir. Bunun sonucunda da hane halkı büyüklüğü 3'ün üzerinde olan araştırmalarda sapma miktarının artması söz konusudur.

Araştırma sonucunda Ankara iklim koşullarında yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımıyla konutlardaki içme suyundan ortalama %36 ile %38 oranında tasarruf sağlanabileceği anlaşılmaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından bu miktarın ortalama %40 civarında olduğu [19] ifade edilmektedir.

Bu araştırmada yağmur suyu ve gri suyun arıtma ve benzeri karmaşık modifikasyonlar olmaksızın kullanımı esas alınmıştır. Yağmur suyu hasadı yoluyla elde edilebilecek su miktarının görece düşük seviyede olduğu, bunun da sistemin toplam performansını azalttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca tasarruf miktarının daha ileri uygulamalarla artırılabilceği öngörülmektedir.

Bu araştırmada elde edilen sonuçlara göre ortalama evsel su kullanımındaki %40'lık yeniden kullanım potansiyelinin (gri su potansiyeli) ortalama %63 seviyesine kadar çıkabileceği anlaşılmaktadır. Kullanılabilir yağış miktarının düşük olduğu Ankara bölgesinde yağmur suyuna ilaveten gri su kullanımı yoluyla içme suyu şebekesinin yükünün hafifletilebileceği düşünülmektedir. Ancak asıl büyük tasarruf potansiyelinin gri su kullanımında olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte şebekenin devre dışı kaldığı durumlarda yağmur suyunun da acil durum yedeği olarak kullanılma potansiyeli mevcuttur.

Evsel su kullanım detaylarının literatür verileri temelinde tahmin edilmesi birtakım yanlılıklara neden olmaktadır. Evsel su kullanım detaylarına ilişkin araştırmalar genel olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde gerçekleştirilmektedir. Bu bakımdan literatürdeki verilerin çeşitli kriterlere göre elemeye tabi tutulması da bir nevi yanlılığa neden olmaktadır. Örneğin metodolojik olarak data logger kullanımının eleme kriteri olarak alınması, örnekleme büyüklüğünün sınırlandırılması, coğrafi kapsamın geniş olmasının tercih edilmesi gibi beklentiler veri alınabilen araştırma sayısının 20'den az olmasına neden olmaktadır.

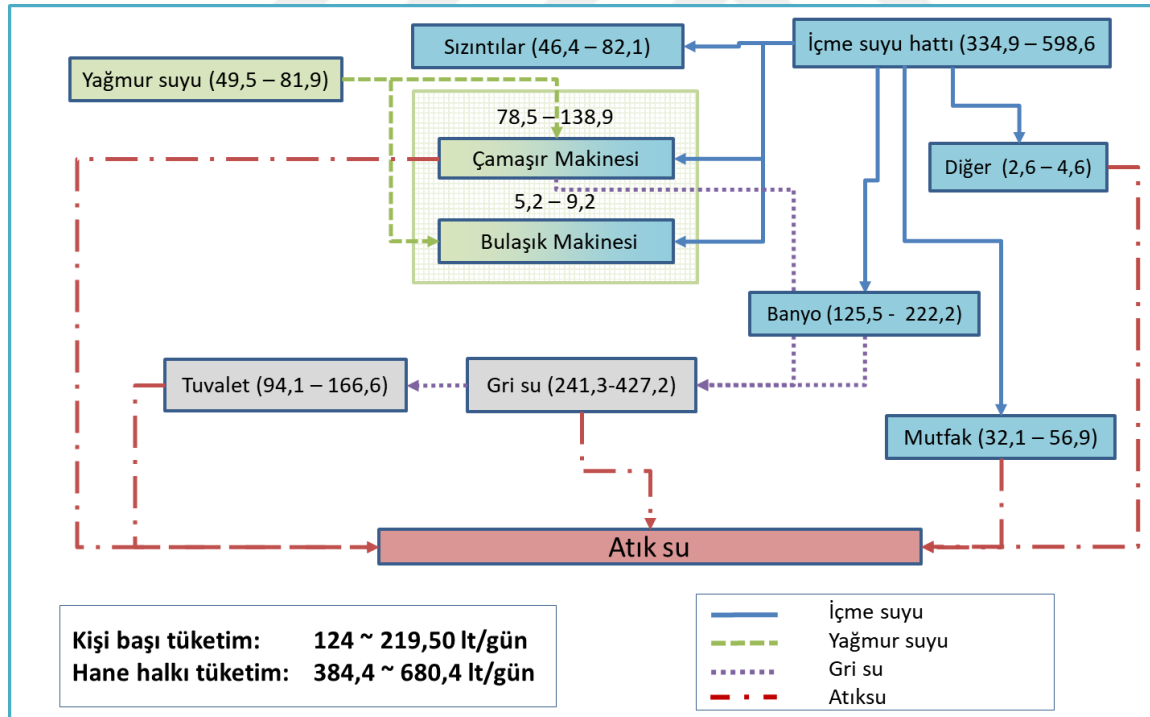
Evsel su kullanım detayları konusunda ortaya çıkan bir diğer önemli ayrıntı da literatürdeki araştırmaların belirgin bir kültürel yapıyı göstermesidir. Batı lkeleri ve ülkemizdeki konutlar düzeyinde konutlarda su kullanımı bakımından çeşitli farklılıklar (alaturka tuvalet ve taharet musluğu gibi) bulunmaktadır. Uygulamaya yönelik çalışmalarda bu farklılıkların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Yağmur suyu hasadıyla elde edilen su miktarı beklenildiği gibi düşük seviyede olmuştur. Bu durum Ankara bölgesinin tipik yarı kurak iklim özelliğinden kaynaklanmaktadır. Literatürde yer alan araştırmalarda yıllık yağış miktarının 500 mm altında olduğu Tebriz gibi kentler için yağmur suyu hasat veriminin Ankara ile benzer düzeyde olduğu anlaşılmaktadır [73].

Ankara hane halkı su tüketiminin ASKİ verileri temelinde hesaplanan 384,4 lt/gün ile 680,46 lt/gün değerleri arasında olması beklenmektedir. Bu bilgilerden ilki konutlardaki su tüketiminin toplam kentsel su tüketiminin yarısına eşit olması durumunda geçerli olmaktadır. Ayrıca literatür verisi temelinde yapılan tahmin değerinin (680,46 lt/gün) hata oranı %23,91 seviyesindedir. Bu bakımdan kentsel tüketimin konutlarda kullanılan miktarının daha yüksek (%60 ile %70 civarında) olması daha muhtemel görünmektedir.

6.3. Öneriler

Yağmur suyu hasadıyla evsel ihtiyaçların bir kısmının karşılanması potansiyeli bulunmaktadır. Bunun yanı sıra konut içi tesisata uygulanabilecek basit modifikasyonlar yapılarak ve rezervuar eklenerek gri suyun yeniden kullanımı mümkün olmaktadır. Bu araştırma kapsamında tespit edilen tasarruf oranlarına (%36 ile %38) ulaşılabilmesi için konutlarda uygulanması önerilen su kullanım modeli Şekil 5.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Önerilen su kullanım modeli

Önerilen su kullanım modeli, içme suyu ve atıksu hatlarıyla birlikte gri suyun da kullanımını sağlayacak bir hattın bina içi tesisata ilave edilmesini gerektirmektedir. Ancak burada yalnızca banyo ve çamaşır makinasından oluşan suların kullanımı hedeflendiğinden (Şekil

5.5 taralı bölge) sistemin yüksek maliyet ve karmaşıklığa yol açmayacağı öngörülmektedir. Önerilen su kullanım modelinin bina tasarımında uygulanması ve gerekli teçhizatın sisteme ilave edilmesi, suyun etkin kullanımını sağlayarak sistemin maliyetini azaltacaktır.

Gri su kullanımı için bina içi gri su tesisatıyla birlikte 24 saatlik sürelerle biriktirilen gri suların maksimum bekleme süresi (24 saat) sonunda doğrudan deşarj edilmesini sağlayacak bir gri su deposunun da ayrıca tasarlanması ve kullanıma sunulması gerekmektedir.

Bunun yanı sıra yağmur suyunun çamaşır makinası ve bulaşık makinasında kullanıma elverişli hale getirilmesi bakımından da ilave donanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda solar distilasyon cihazı olarak adlandırılan ve bir nevi güneş ısıtıcısı türevi olan ekipmanların kullanılabilceği düşünölmektedir [35].

Bu araştırma kapsamında yağmur suyu ve gri su kullanımının bir arada uygulandığı durumda sağlanabilecek tasarruf miktarına ilişkin bir tahmin geliştirilmiştir. Ancak burada ifade edilen sonuçlar çeşitli varsayımlara dayanarak hesaplanmış olup uygulamada daha detaylı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda uygulamada elde edilecek içme suyu tasarrufunun daha yüksek düzeyde olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu Merkezi Dağıtım Sistemi. *Tuik*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fbiruni.tuik.gov.tr%2F&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
2. İnternet: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. *Suyonetimi*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsuyonetimi.ormansu.gov.tr%2F...%2Fsu%2FATAT%C3%9CRK_BARAJI_%C3%96ZEL_H%C3%9CK%C3%9CMLER%C4%B0.sflb.ashx&date=2018-12-27 . Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
3. İnternet: Birleşmiş Milletler, The World's Cities in 2016. *Un*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.un.org%2Fen%2Fdevelopment%2Fdesa%2Fpopulation%2Fpublications%2Fpdf%2Furbanization%2Fthe_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf&date=2018-12-27. Son Erişim Tarihi:27.12.2018.
4. Al-Jayyousi, O. R. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management, *Desalination*, 156(1-3), 181-192.
5. İnternet: TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni. *Tuik*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftuik.gov.tr%2FPreHaberBultenleri.do%3Fid%3D24646&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
6. İnternet: ASKİ, ASKİ Web Sitesi. *Aski*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Faski.gov.tr%2FTR%2FAnasayfa&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
7. O'Neill, C., Jellinek A. and Lenardic, A. (2007). Conditions for the onset of plate tectonics on terrestrial planets and moons, *Earth and Planetary Science Letters*, 261, 20–32.
8. İnternet: USGS, The Water Cycle. USGS Water Science School. *Usgs*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwater.usgs.gov%2Fedu%2Fwatercyclefreshstorage.html&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
9. İnternet: Global Footprint Network. Ecological Footprint. *Footprintnetwork*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.footprintnetwork.org%2Ffour-work%2Fecological-footprint%2F&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
10. İnternet: World Economic Forum. *Weforum*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.weforum.org%2Fagenda%2F2017%2F09%2Fin-10-years-the-world-may-not-be-able-to-feed-itself&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.

11. İnternet: FAO, Global agriculture towards 2050. *Fao*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Ffileadmin%2Ftemplates%2Fwsfs%2Fdocs%2FIssues_papers%2FHLEF2050_Global_Agriculture.pdf&date=2018-12-27. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
12. İnternet: World Water Council, The Use of Water Today. *Worldwatercouncil*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.worldwatercouncil.org%2Ffileadmin%2Fwwc%2FLibrary%2FWWVision%2FChapter2.pdf&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
13. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Nihai Raporu, Ankara: *Su Yönetimi Genel Müdürlüğü*, 123-126.
14. İnternet: NASA, 2016 Arctic Sea Ice Wintertime Extent Hits Another Record Low. *Nasa*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Ffeature%2Fgoddard%2F2016%2F2016-arctic-sea-ice-wintertime-extent-hits-another-record-low&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
15. İnternet: NOAA, Ten Signs of a Warming World, 2017. *Noaa*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcpo.noaa.gov%2Fwarmingworld%2Fimages%2FTenSignsofaWarmingWorld.jpg.&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
16. İnternet: FAO, Coping With Water Scarcity, Challenge of Twenty First Century. *Fao*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fa-aq444e.pdf&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
17. İnternet: E. H. Hameeteman , Future Water (In)security, Facts, Figures and Predictions, (2013). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gwiwater.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpub%2FFUTURE%2520WATER%2520%28IN%29SECURITY.pdf&date=2018-12-27> . Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
18. İnternet: UNCCD, Water scarcity and desertification, 2017. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.unccd.int%2FLists%2FSiteDocumentLibrary%2FPublications%2FDesertificationandwater.pdf&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
19. Birleşmiş Milletler, (2012). The United Nations world water development report 4: managing water under uncertainty and risk, 1, Paris: *UNESCO*,125.
20. İnternet: Birleşmiş Milletler, World Population Prospects 2017, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fesa.un.org%2Funpd%2Fwp%2FDownload%2FStandard%2FPopulation%2F&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
21. İnternet: DSİ, Toprak Su Kaynakları, 2014. *Dsi*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dsi.gov.tr%2Ftoprak-ve-su-kaynaklari&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.

22. İnternet: UNDP Türkiye, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri. *Undp*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tr.undp.org%2Fcontent%2Fturkey%2Ftr%2Fhome%2Fsustainable-development-goals.html&date=2018-12-30>. Son Erişim Tarihi: 30.12.2018.
23. UNEP, (2012). Building Design and Construction: Forging Resource Efficiency and Sustainable Development, *Sustainable Buildings and Climate Initiative*, 2.
24. İnternet: University of Kentucky, 10 Basic Concepts for Green Homes, College of Agriculture, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww2.ca.uky.edu%2Fagcomm%2Fpubs%2Ffcs4%2Ffcs4405%2Ffcs4405.pdf&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
25. Akadiri P. O., Chinyio E. A. and Olomolaiye P., (2012). Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector, *Buildings*, 126-152.
26. İnternet: Energy Saving Trust, At Home with Water. *Energysavingtrust*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.energysavingtrust.org.uk%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Freports%2FAtHomewithWater%287%29.pdf&date=2018-12-27>. Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
27. Aquacraft Water Engineering and Management, (2011). California Single Family Water Use Efficiency Study, *Aquacraft*, Boulder, 33-40.
28. Gould J. And Nissen-Petersen E., (1999). *Rainwater catchment systems for domestic rain: design construction and implementation*. London: *Intermediate Technology Publications*, 335.
29. CAWST, (2011). Introduction to Household Rainwater Harvesting, *Centre for Affordable Water and Sanitation Technology*, Calgary, 17-55.
30. Sample D. J. ve Liu J., (2014). Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture, *Journal of Cleaner Production*, 75 (2014) 174-194.
31. Texas Water Development Board, (2005). The Texas Manual on Rainwater Harvesting, *Texas Water Development Board*, Austin, 5.
32. Gikas G. D. ve Tsihrintzis V. A., (2012). Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater, *Journal of Hydrology*, 466-467, 115–126.
34. İnternet: Northwest EcoBuilding Guild, Human Waste Treatment and Water Reuse at Hassalo on Eighth. *Ecobuilding*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ecobuilding.org%2Fcode-innovations%2Fimages-graphics%2FNORMdiagram.jpg&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.

35. İnternet: M. Sharma ve K. Srivatsa, Solar Water Purifier. *Sristi*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.sristi.org%2Fcms%2Fengenuous%2Fcase1.pdf&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
36. İnternet: Ankara Büyükşehir Belediyesi, Ankara'nın Kısa Tarihi. *Ankara*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ankara.bel.tr%2Fankara-kent-rehberi%2Fankara-nin-kisa-tarihi&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
37. İnternet: ASKİ, Ankara'da Su Altyapısı. *Aski*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fyayinlar.aski.gov.tr%2Fpdf%2F06-ankarada_su_alt_yapisi_1487939566.pdf&date=2018-12-28. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
38. İnternet: İ. Ünver, İçme Suyu Olarak Kızılırmak, *Hidropolitikakademi*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hidropolitikakademi.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F09%2Fasa6.png&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
39. İnternet: E. Moll, What Is a Semi-Arid Climate?. *Sciencing*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsciencing.com%2Fsemiarid-climate-10009421.html&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
40. İnternet: ASKİ, Yıllara Göre Barajlara Gelen Su Miktarı. *Aski*. URL: http://online-baraj.aski.gov.tr/aski_grafik.php?grafik_tipi=gelensu&periyot=yillik. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
41. İnternet: FAO, Chapter I. The arid environments. *Fao*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Fdocrep%2Ft0122e%2Ft0122e03.htm%233&date=2018-12-28>. Arid zone climate. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
42. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İklim Sınıflandırması, Ankara. *Mgm*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.mgm.gov.tr%2Fiklim%2Fiklim-siniflandirmalari.aspx%3Fm%3DANKARA&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
43. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yıllık Toplam Alansal Yağış Verileri-Türkiye. *Mgm*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.mgm.gov.tr%2Fveridegerlendirme%2Fyilliktoplamyagisverileri.aspx%3Fm%3DTurkiye%23sfB&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
44. Muluk Ç.B., Kurt B., Turak A., Türker A., Çalışkan M.A., Balkız Ö., Gümrükçü S., Sarıgül G., Zeydanlı U., (2013). Türkiye'de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif, *Doğa Koruma Merkezi*, 17.
45. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yıllık Toplam Alansal Yağış Verileri -Ankara. *Mgm*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.mgm.gov.tr%2Fveridegerlendirme%2Fyilliktoplamyagisverileri.aspx%3Fm%3DANKARA%23sfB&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.

46. Heinrich M. (2006). Residential Water End Use Literature Survey, *Branz Study Report 149*, Judgeford, 5.
47. Gato-Trinidad S., Jayasuriya N. and Roberts P., (2011). Understanding urban residential end uses of water, *Water Science & Technology*, 64(1),36-42.
48. Gleick P., (1996). Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs, *Water International*, 21(2), 83-92.
49. Aquacraft (1999). Residential End Uses of Water Executive Summary, *American Water Works Association and AWWA Research Foundation*, Boulder:5.
50. USIAD, (2007). Su Raporu, *Ulusal Sanayici ve İşadamları Derneği*, İstanbul, 21.
51. Mayer P. W. ve DeOreo W. B., (1999). Residential End Uses of Water, *American Water Works Association*, 166-181.
52. Lu Tingyi, (2007). *Research of domestic water consumption: a field study in Harbin, China*, Yüksek Lisans Tezi, Loughborough University, London, 75-81.
53. Willis R., Stewart R. A., Panuwatwanich K., Capati B. and Giurco D., (2009). Gold Coast Domestic Water End Use Study, *Water* 36(6), 79-85 .
54. Heinrich M., (2008). Water Use in Auckland Households: Auckland Water Use Study (AWUS) Final Report, *BRANZ*, Judgeford, 92-94.
55. Beal C., and Stewart R., (2011). South East Queensland Residential End Use Study: Final Report, *Urban Water Security Research Alliance Technical Report No. 47*, Gold Coast: 129-132.
56. İnternet: Waterwise Office Regulation & Supervision Bureau, The Residential End Use of Water Project Summary Report. *Waterwise*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.waterwise.gov.ae%2Fen%2Fmedia%2Fget%2F20141221_REUW-Web-Report-1.pdf&date=2018-12-28. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
57. Arbon N., Thyer M., Hatton MacDonald D., Beverley K. ve Lambert M., (2014). Understanding and Predicting Household Water Use for Adelaide, *Goyder Institute for Water Research Technical Report Series No:14/15*, Adelaide, South Australia, 84-87.
58. Beler Baykal B. ve Allar A. D., (2007). ECOSAN: Ekolojik evsel atıksu yönetimi, *itüdergisi*, 3-12.
59. Birben N. C., (2008). Application of Photocatalysis for the Treatment Of Grey Water, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 83-85.
60. Karahan A., (2009). Gri Suyun Değerlendirilmesi, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir: 43-49.

61. Efe H., (2017). An Analysis On Grey Water Source Separation As An Alternative For Conventional Wastewater Management Using The Case Of Kocaeli Yenikent Neighborhood, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 137-140.
62. Dixon A., Butler D., Fewkes A. and Robinson M., (2000). Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water, *Urban Water*, 1(4), 293-306.
63. Eriksson E., Auffarth K., Henze M. and Ledin A., (2002). Characteristics of grey wastewater, *Urban Water*, 4(1), 85–104.
64. March J., Gual M. ve Simonet B., (2002). Determination of residual chlorine in greywater using o-tolidine, *Talanta*, 58(5), 995-1001.
65. Avery L. M., Frazer-Williams R. A., Winward G., Shirley-Smith C., Liu S., Memon F. A. and Jefferson B., (2007). Constructed wetlands for grey water treatment, *Ecology & Hydrobiology*, 7(3-4), 191-200.
66. Winward G. P., Avery L. M., Stephenson T. and Jefferson B., (2008). Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles, *Water Research*, 42(1-2), 483-491.
67. Li F., Wichmann K. and Otterpohl R., (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses, *Science of the Total Environment*, 407(11), 3439–3449.
68. Al-Hamaiedeh H. and Bino M., (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants, *Desalination* 256(1-3), 115–119.
69. Leal L. H., Temmink H., Zeeman G. and Buisman C., (2011). Characterization and anaerobic biodegradability of grey water, *Desalination*, 270(1-3), 111–115.
70. Karpiscak M. M., Foster K. E. and Schmidt N., (1990). Residential Water conservation: Casa Del Agua, *Journal of the American Water Resources Association*, 26(6), 939–948.
71. Li Zhe, Boyle Fergal and Reynolds Anthony, (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland, *Desalination*, 260 (1-3), 1–8.
72. Zhang Y., Grant A., Sharma A., Chen D. and Chen L., (2010). Alternative Water Resources for Rural Residential Development in Western Australia, *Water Resources Management*, 24(1), 25-36.
73. Fernandes L. F. S., Terêncio D. P. and Pacheco F. A., (2015). Rainwater harvesting systems for low demanding applications, *Science of The Total Environment*, 529, 91–100.
74. Agudelo-Vera C. M., Keesman K. J., Mels A. R. and Rijnaarts H. H., (2013). Evaluating the potential of improving residential water balance at building scale, *Water Research* 47(20), 7287- 7299.

75. Stec A. and Kordana S., (2015). Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems, *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 84-94.
76. Karakoçak B. B., (2008). An Integrated Approach To Water Management in Kayseri: Rain Water Collection and Storage Design for Kayseri Harikalar Diyarı Water Ski Park, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 72-73.
77. İncebel C., (2012). Alternatif Su Kaynaklarının Endüstriyel Kullanıma Kazandırılması İçin Çatı Yağmur Suyu Hasadı-OSTİM Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 143-145.
78. Dala Ali A. R., (2016). Rooftop Rainwater Harvesting As An Additional Water Supply Source: Case Study The Büyükçekmece Campus, Fatih University, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 60-62 .
79. Giresunlu E. and Beler Baykal B., (2016). A case study of the conversion of grey water to a flush water source in a Turkish student residence hall, *Water Science and Technology: Water Supply*, 16(6), 1659-1667.
80. Caner T. F., (2016). Yağmur Suyu ve Atmosferik Parçacıklardaki İyonların, İz Elementlerin, Escherichia Coli ve Enterococcus Bakteri Türlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 69.
81. Barışçı S., (2017). Electrochemical Ferrate Production and Research of Its Potential Use for Greywater Treatment, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, 137-138.
82. Kütük D., (2017). Binalarda Gri Su Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 33-36.
83. Yücel G., Kalkan A. İ., Ün Y., Balta T. and Tuncel G., (2017). Yağmur Suyunun İyonik Kompozisyonunun Türkiye Üzerindeki Değişimi, 12. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, 18-19 .
85. İnternet: Auckland Water Use Study - Monitoring of Residential Water End Uses. Cmnzl.URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.cmnzl.co.nz%2Fassets%2Fsm%2F5916%2F61%2F10.PN051Roberti.pdf&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi: 28.12.2018.
86. Aquacraft, (2011). Analysis of Water Use In New Single-Family Homes, *The Salt Lake City Corporation and US EPA*, Boulder, 74.
87. Sant'Ana D. and Mazzega P., (2017). Socioeconomic analysis of domestic water end-use consumption in the Federal District, Brazil, *Sustainable Water Resources Management*, 4(4), 921-936.
88. Water Research Foundation, (2016). Residential End Uses Of Water, Version 2 Executive Report, *Water Research Foundation*. 5,8.

89. Linkola L., Schuetze T. and Andrews C. J., (2013). An Agent Based Model of Household Water Use, *Water*, 2013-5, 1082-1100.
90. İnternet: TÜİK, Belediye Su İstatistikleri. *Tuik*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tuik.gov.tr%2FPreHaberBultenleri.do%3Fid%3D24874&date=2018-12-28>. Son Erişim Tarihi:28.12.2018.
91. İnternet: The Guardian, DataBlog. *Guardian*. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fimage.guardian.co.uk%2Fsysimages%2FGuardian%2FPix%2Fpictures%2F2012%2F6%2F11%2F1339425568714%2FWater-scarcity-001.jpg&date=2018-12-30>. Son Erişim Tarihi:30.12.2018.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYBUĞA, Kamil
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1982, Kayseri
 Medeni hali : Evli
 E-posta : kamil.aybuga@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Çevre Bilimleri	Devam ediyor
Lisans	Fırat Üniversitesi / Çevre Mühendisliği	2006
Lise	Kayseri Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	Tarım ve Orman Bakanlığı	Uzman
2011-2012	Elazığ Altınova Çimento San. Tic. A.Ş.	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Aybuğa K. ve Yücel Işıldar G., (2017). An Evaluation On Rain Water Harvesting And Grey Water Reuse Potential For Ankara, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 8(3), 209-216.

Hobiler

Kitap okumak.



GAZİ GELECEKTİR..