



**KONUT DÜZEYİNDE KENTSEL SU TÜKETİMİNİN ETMEN TABANLI
MODELLEME İLE TAHMİNİ: ANKARA(AHİMESUT) ÖRNEĞİ**

Kamil AYBUĞA

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2024

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

11/11/2024

KONUT DÜZEYİNDE KENTSEL SU TÜKETİMİNİN ETMEN TABANLI
MODELLEME İLE TAHMİNİ: ANKARA(AHİMESUT) ÖRNEĞİ

(Doktora Tezi)

Kamil AYBUĞA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2024

ÖZET

Su talebinin tahmini, kentsel su talebi yönetiminin planlama, inşa, işletim ve genişletme gibi tüm adımları için elzemdir. Bu konuda 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren başta regresyon veya zaman serisi analizi gibi pek çok matematiksel ve istatistiksel yöntem geliştirilmiştir. Bu tezde Türkiye’de su tüketiminin faturalandırılmasında yaygın olarak kullanılan aylık su tüketimi verilerinin; ETM başta olmak üzere regresyon, zaman serisi analizi, sezgisel modeller gibi yöntemler kullanılarak, arka planındaki demografik unsurları açıklama düzeyi araştırılmıştır. Bu bağlamda, aylık su tüketiminin tek değişkenli ve çok değişkenli analizine olanak sunan zaman serisi modelleri ile regresyon, sezgisel model ve ETM modelini kapsayan hibrit bir modelleme çerçevesi üretilmiştir. Geliştirilen modellerin mevcut verilerdeki varyansı açıklama düzeyi, pik debi tahmini, sıcaklık ve yağış gibi atmosferik değişkenlerin su tüketimine etkisini açıklama ve su tüketiminin hane halkı demografisi ve hafta içi, hafta sonu ve uzun süreli tatiller gibi faktörlerle ilişkisini açıklama düzeyi test edilmiştir. Araştırmada Ankara İli şebekesine bağlı Ahimesut Mahallesi’ne ait 2012 ile 2022 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. Bulgular, regresyonun aylık su tüketimi ile aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam tatil sayısı parametreleri arasında çok düşük (%11) düzeyde pozitif birliktelik olduğunu, SARIMA ile aylık su tüketiminin tahmininde hata oranının % 14 düzeyinde olduğunu, adaptif sezgisel model ile % 95 doğrulukla tahminler üretilebildiğini, ETM ile 2012-2022 yılları arasındaki toplam su tüketiminin, aylık su tüketimi ortalaması ve hane halkı demografisine ilişkin değerlerin, günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık değerleri üzerinden oluşturulan ısı transfer fonksiyonu kullanılarak, % 95 doğrulukla simüle edilebildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, araştırma sahasındaki su talebinin değişiminde takvim değişkenleri ile sıcaklık ve yağış gibi çevresel faktörlerin etkili olduğunu, sezgisel modellerin aylık pik debilerin tahmininde etkili yöntemler olduğunu ve ETM sonuçlarının verifikasyonunda bir karşılaştırma aracı olarak kullanılabilmek potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan ETM yönteminin aylık zamansal çözünürlükteki verilerin haftalık veya günlük verilere dönüştürülmesine olanak sunabilen, sentetik veri üretimi veya veri tamamlama gibi maksatlarla kullanılabilecek bir araç olduğu değerlendirilmektedir.

Bilim Kodu : 90318

Anahtar Kelimeler : ABM, ARIMA, etmen tabanlı modelleme, hane halkı su kullanımı, konut su talebi, talep tahmini, YSA, zaman serisi analizi.

Sayfa Adedi : 179

Danışman : Prof. Dr. A. Gamze YÜCEL İŞILDAR

ESTIMATION OF URBAN WATER CONSUMPTION AT RESIDENTIAL LEVEL
USING AGENT-BASED MODELING: ANKARA(AHİMESUT) EXAMPLE

(Ph. D. Thesis)

Kamil AYBUĞA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2024

ABSTRACT

Estimating water demand is crucial for all aspects of urban water demand management, including planning, construction, operation, and expansion. Since the second half of the 19th century, numerous mathematical and statistical methods have been developed in this field. This thesis, utilizing ETM (Entropy Transfer Model), regression, time series analysis, and heuristic models, investigates the explanatory power of mentioned methodologies on monthly water consumption, commonly used in water consumption billing in Turkey. In this context, a hybrid modeling framework has been developed, encompassing time series models for univariate and multivariate analysis of monthly water consumption, along with regression, heuristic models, and ETM. The models were tested for their ability to explain variance in existing data, predict peak flows, elucidate effects of atmospheric variables on water consumption, and explain relationships between water consumption and factors such as household demographics and holiday periods. The study utilized data from 2012 to 2022 from the Ahimesut DMA connected to Ankara's municipal water network. Findings indicate that regression analysis showed a very low positive correlation (11%) between monthly water consumption and parameters including monthly total precipitation, monthly average temperature, and monthly total counts of off days. SARIMA demonstrated a 14% error rate in monthly water consumption prediction, while the adaptive heuristic model produced predictions with 95% accuracy. The ETM successfully simulated the total water consumption between 2012-2022, monthly water consumption averages, and household demographic values with 95% accuracy using a heat transfer function based on daily total precipitation and daily average temperature values. In conclusion, the study demonstrates that calendar variables and environmental factors significantly influence water demand variations in the research area. Heuristic models prove effective in predicting monthly peak flows, and ETM results show potential as a comparative tool for verification purposes. The ETM method could be beneficial for upscaling monthly data to weekly or daily data, serving purposes such as synthetic data generation or data imputation.

Science Code : 90318

Key Words : Residential water demand, agent-based modeling, ABM, household water end use, time series analysis, demand forecasting.

Page Number : 179

Supervisor : Prof. Dr. A. Gamze YÜCEL İŞILDAR

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yürütülmesi konusundaki rehberliği ve değerli katkıları nedeniyle Sayın Prof. Dr. A. Gamze YÜCEL İŞILDAR’a teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sürecinde değerli görüş ve katkıları için Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL ve Ankara Hacı Bayram Üniversitesi Polatlı Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Meltem YILMAZ’a teşekkür ederim.

Tezin değerlendirme sürecinde değerli görüş ve katkıları için Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Birol KAYRANLI ve Aksaray Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Belda ERKMEN’e teşekkür ederim.

Araştırmanın yürütülmesi için gerekli verilerin temini hususundaki yardımları nedeniyle Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı yetkililerine teşekkür ederim.

Bu tezin tamamlanmasında ve tüm hayatım boyunca vermiş oldukları destek nedeniyle annem, babam, kardeşlerim, eşim ile kızlarım başta olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	11
2.1. Talep yönetimi	12
2.2. Kentsel Su Talebini Etkileyen Faktörler.....	13
2.3. Kentsel Su Yönetiminde Veri Analizi, Modelleme ve Simülasyon Kullanımı ..	17
2.3.1. Veri analizi ve zaman serisi analizi	20
2.3.2. Sosyal simülasyon ve etmen tabanlı modelleme	21
2.4. Kentsel Su Tüketiminin Tahmini.....	25
2.4.1. Kentsel su talebinin türleri ve bileşenleri.....	25
2.4.2. Konut su kullanımı.....	26
2.5. Talep Tahmin Yöntemleri.....	28
2.5.1. Kişi başı ve birim kullanım katsayısı yöntemleri	29
2.5.2. Zaman serilerinin analizi ve ekstrapolasyon yöntemleri	29
2.5.3. Regresyon teknikleri	32
2.5.4. Hane halkı temelli su tüketimi tahmini ve son kullanıcı modelleri	34
2.5.5. Sezgisel tahmin yöntemleri.....	36

	Sayfa
2.5.6. Yapay sinir ağıları.....	37
2.5.7. Hibrit yöntemler.....	39
2.5.8. Kentsel su tüketiminin tahmininde etmen tabanlı modelleme	42
2.5.9. Model validasyonu ve hata göstergeleri	47
2.6. Su Talebinin Tahmini Konusunda Türkiye’de Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	48
3. YÖNTEM.....	49
3.1. Literatür Araştırması ve Çalışılacak Yöntemlerin Tespiti	50
3.1.1. Literatür araştırması.....	50
3.1.2. Çalışılacak yöntemlerin belirlenmesi.....	54
3.2. Çalışma Alanının Tespiti ve Çalışma Alanına İlişkin Bilgiler	55
3.2.1. Ankara ili su kaynaklarının durumu ve iklimsel özellikleri.....	55
3.2.2. Ankara ili ve çalışma alanının demografik durumu.....	64
3.3. Verilerin Temin Edilmesi	73
3.4. Veri Ön İşleme / Eksik Veri Tamamlama.....	75
3.4.1. Aylık su tüketimi ve nüfus verilerinin analizi	76
3.5. Tahmin ve Modelleme	82
3.5.1. Tek boyutlu analiz.....	83
3.5.2 Çok boyutlu analiz	103
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	125
4.1. Çalışma Alanı Su Temin ve İklimsel-Demografik Yapısına İlişkin Bulgular....	126
4.2. Zaman Serisi Düzleştirme Yöntemlerine İlişkin Bulgular.....	127
4.3. Sezgisel Su Tüketim Modeline İlişkin Bulgular	136
4.4. Etmen Tabanlı Modelleme Yöntemine İlişkin Bulgular.....	138
4.5. Bulguların Literatürdeki İlişkili Araştırmalar ile Karşılaştırılması	150

	Sayfa
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	155
KAYNAKLAR	161
ÖZGEÇMİŞ	179



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Literatürde etmen tabanlı modelleme ile ilişkili araştırmalar	43
Çizelge 3.1. Seçilen veritabanları ve makale sayıları	52
Çizelge 3.2. Eleme ve seçme kriterleri	53
Çizelge 3.3. Seçilen yöntemler ve kullanım amaçları.....	54
Çizelge 3.4. Kullanılan veriler	73
Çizelge 3.5. Aykırı değerin düzeltilmesindeki alternatifler.....	78
Çizelge 3.6. Projeksiyon yöntemleri ve hata göstergeleri.....	86
Çizelge 3.7. SARIMA modeli parametreleri	96
Çizelge 3.8. SARIMA parametre setleri ve ilişkili AIC değerleri.....	96
Çizelge 3.9. Bakker et al. sezgisel modeli C1 ve C2 katsayılarının çözümü.....	101
Çizelge 3.10. Uyarlanan sezgisel modelin C1, C2 ve C3 katsayılarının çözümü.....	102
Çizelge 3.11. Aylık su tüketiminin toplam yağış ve ortalama sıcaklıkla değişimi.....	106
Çizelge 3.12. Etmen tabanlı model parametreleri ve değişim aralıkları.....	115
Çizelge 3.13. Hanelerdeki cihazların su kullanım performansı	116
Çizelge 3.14. Su kullanan cihazların kullanım aralıkları	117
Çizelge 3.15. Etmen tabanlı model su tüketim senaryoları	122
Çizelge 3.16. Etmen tabanlı model baz ve yüksek düzey senaryoları	123
Çizelge 4.1. Projeksiyon yöntemlerine göre hata değerleri	128
Çizelge 4.2. Verilerin yıllara sâri olarak artırılması durumunda hata değerleri	134
Çizelge 4.3. Etmen tabanlı model hane halkı birey sayısı ortalama ve varyansın ve üretilen nüfus değerlerinin değişimi.....	140
Çizelge 4.4. Ahimesut Mahallesi su tüketiminin ortalama değerleri ve Sezgisel Model ortalama değerleri.....	141
Çizelge 4.5. Etmen tabanlı model için üst düzey senaryo bulguları	144

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.6. Etmen tabanlı model için baz senaryo bulguları.....	145
Çizelge 4.7. Etmen tabanlı model çıktılarının gerçek değerlerle karşılaştırılması	147
Çizelge 4.8. Etmen tabanlı model günlük su tüketimi çıktılarının sezgisel model çıktılarıyla karşılaştırılması.....	148



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tezde oluşturulan hibrit modele altlık teşkil eden yöntemler	7
Şekil 2.1. Bütüncül su yönetiminin boyutları	11
Şekil 2.2. Modelleme ve kestirim	18
Şekil 2.3. Simülasyon yazılımı algoritması	24
Şekil 3.1. Tezin yöntemi	49
Şekil 3.2. Uyarlanmış sistematik derleme yöntemi	50
Şekil 3.3. Ankara içme suyu sistemi	56
Şekil 3.4. Ankara barajlara gelen su miktarı.....	58
Şekil 3.5. Ankara iklim sınıflandırması	59
Şekil 3.6. Ankara yıllık alansal yağış ortalaması	60
Şekil 3.7. Etimesgut İlçesi (2010-2022) sıcaklık ve yağış değişim grafiği	61
Şekil 3.8. Etimesgut İlçesi uzun yıllar aylık sıcaklık ve yağış değişim grafiği	62
Şekil 3.9. Ankara İli şebekeye verilen su miktarının yıllara sâri değişimi	63
Şekil 3.10. Ankara İli kişi başı çekilen su miktarı yıllara sâri değişimi	64
Şekil 3.11. İklimsel ve demografik durum.....	64
Şekil 3.12. Ahimesut Mahallesi nüfusunun yıllara sâri değişimi	65
Şekil 3.13. Etimesgut İlçesi yapı ruhsatlarının tarihsel gelişimi.....	66
Şekil 3.14. Etimesgut ilçesi yıllara sâri hane halkı büyüklüğünün değişimi	67
Şekil 3.15. Etimesgut ilçesi hane halkı tiplerine göre hane halkı sayıları	68
Şekil 3.16. Ahimesut Mahallesi yaşa göre nüfus dağılımı.....	69
Şekil 3.17. Etimesgut ilçesi 18 yaş altı/üstü nüfusun yıllara göre değişimi	69
Şekil 3.18. Etimesgut ilçesi toplam yaş bağımlılık oranının yıllara göre değişimi	70
Şekil 3.19. Ankara İli hanedeki küçük çocukların gündüz bakımı	71

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. Ankara İli öğünlerde bir araya gelme sıklıkları.....	72
Şekil 3.21. Hane halkının ev işlerindeki paylaşımı.....	72
Şekil 3.22. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri.....	77
Şekil 3.23. Ahimesut Mahallesi aylık toplam su tüketiminin değişimi	79
Şekil 3.24. Ahimesut Mahallesi aylık toplam su tüketiminin değişimi	79
Şekil 3.25. Ahimesut Mahallesi yıllık toplam su tüketimi ve nüfusun değişimi	80
Şekil 3.26. Ahimesut Mahallesi yıllık nüfus değişimi.....	81
Şekil 3.27. Ahimesut Mahallesi aylık toplam su tüketiminin değişimi	81
Şekil 3.28. Modelleme ve tahmin sürecinde kullanılan yöntemler ve hedefler.....	82
Şekil 3.29. Ankara Ahimesut Mahallesi su tüketimi zaman serisi ayrıştırma detayları .	84
Şekil 3.30. Ahimesut Mahallesi Su Tüketimi Verileri ve Düzleştirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	87
Şekil 3.31. Durağan zaman serilerinin özellikleri.....	91
Şekil 3.32. Su tüketimi zaman serisinin ADF testi sonucu.....	92
Şekil 3.33. Su tüketiminin birinci (üstte) ve ikinci derece fark serisi yöntemi ile üretilen zaman serileri.....	93
Şekil 3.34. Su tüketiminin zaman serisinin otokorelasyon (üstte) ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları.....	94
Şekil 3.35. Su tüketiminin ikinci dereceden farklar serisinin otokorelasyon (üstte) ve kısmi otokorelasyon (altta) fonksiyonları	95
Şekil 3.36. SARIMA en iyi modele ilişkin sonuçlar	96
Şekil 3.37. Su talebinin gündelik yaşam ile ilişkili değişimi	97
Şekil 3.38. Su tüketimin zamansal boyutu (takvim değişkenleri ile ilişkisi).....	98
Şekil 3.39. Adaptif sezgisel model kestirimlerinin günlük ortalama değerlerle karşılaştırılması.....	103
Şekil 3.40. Aylık su tüketimi, aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve tatil günleri değişkenlerinin durağanlık durumunun değerlendirilmesi.....	104

Şekil	Sayfa
Şekil 3.41. Aylık su tüketimi, aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve tatil günleri değişkenlerinin durağanlık durumunun değerlendirilmesi.....	105
Şekil 3.42. Etmen tabanlı model geliştirme ve analiz adımları	106
Şekil 3.43. ODD dokümanı başlıklar ve alt başlıkları	108
Şekil 3.44. Etmen tabanlı model işleyişi akış diyagramı	109
Şekil 3.45. Bu tezde uygulanan su kullanım modeline ilişkin karar alma süreçlerinin genel görünümü	111
Şekil 3.46. Su tüketimin etkileyen parametre grupları	114
Şekil 3.47. WaDemEst yazılım arayüzü	118
Şekil 3.48. Model arayüzündeki verifikasyon alanları	120
Şekil 3.49. Etmenlerin gündelik stratejileri ve aktivite seçimleri doğrultusunda su tüketiminin oluşumu.....	121
Şekil 4.1. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri 3WMA yöntemiyle düzleştirme.....	129
Şekil 4.2. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri EMA yöntemiyle düzleştirme.....	129
Şekil 4.3. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri LTP yöntemiyle düzleştirme.....	130
Şekil 4.4. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri QTP yöntemiyle düzleştirme	131
Şekil 4.5. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri Holt DES yöntemi düzleştirme	131
Şekil 4.6. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri Holt Winter's yöntemi kestirim	132
Şekil 4.7. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri ve farklı estimasyon yöntemlerinin karşılaştırması.....	133
Şekil 4.8. Sezgisel model hata değerlerinin dağılımı.....	136
Şekil 4.9. Sezgisel modelin günlük su tüketimi tahminlerinin günlük ortalamalar ile karşılaştırılması	137
Şekil 4.10. Sezgisel modelin haftalık su tüketimi tahminlerinin haftalık ortalamalar ile karşılaştırılması	138
Şekil 4.11. Etmen tabanlı modelleme ile uyarlanmış sezgisel modelin günlük tahmin değerleri ve günlük ortalama su tüketim verilerinin karşılaştırılması	139
Şekil 4.12. Etmen tabanlı modelin aylık su tüketiminin tahminindeki başarımlar grafiği .	142

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13. Etmen tabanlı modelin ürettiği aylık su tüketim değerleri	143
Şekil 4.14. Etmen tabanlı modelin (Outsiders = 1, Vacationists = 1, Weekenders = 1) durumunda ürettiği aylık su tüketim değerleri	145
Şekil 4.15. Kontrollü sokağa çıkma ve tam kapanma gibi tedbirlerin etkisinin dikkate alındığı su tüketim senaryosunun çıktısı	146
Şekil 4.16. Hafta içi (weekday), hafta sonu (weekend) ve tatil günleri (vacation) için günlük toplam su tüketiminin değişim grafiği	147
Şekil 4.17. Simülasyon süresince üretilen toplam, aylık, haftalık ve günlük su tüketiminin verilerle karşılaştırılması.....	149



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

lt/gün

Litre bazından günlük su tüketim miktarı

m³

Metreküp, hacim birimi

mg/lt

Litre hacimdeki miligram kütle miktarı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABM / ABMS

Agent-Based Modeling /Agent-Based Modeling Simulation

ACF

Autocorrelation Function

ARIMA

Autoregressive Moving Average

ARIMAX

AutoRegressive Integrated Moving Average with eXogenous inputs

ASKİ

Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü

BANN

Ön Yükleme Tabanlı Yapay Sinir Ağı

CA

Cellular Automata

CAS

Complex Adaptive Systems

DA

Data Assimilation

DSİ

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

DT

Decision Tree

DMA

District Metered Area

DVM

Destek Vektör Makinesi

DPSF

Difference Pattern Sequence based Forecasting

EEMD

Ensemble Empirical Mode Decomposition

EKF

Extended Kalman Filter

ETM

Etmen Tabanlı Modelleme

ETS

Exponential Smoothing

FAF

Fully Adaptable Forecast

GA

Genetic Algorythm

Kısaltmalar**Açıklamalar**

GP	Genetic Programming
GEP	Genetic Expressed Programming
ICR	Independent Component Regression
MLR	Multiple Lineer Regression
MSRVR	Multiple Scale Relativitiy Vector Regression
PCR	Principal Component Regression
PSF	Pattern Sequence based Forecasting
RF	Random Forest
RT	Regression Tree
SARIMA	Seasonal Autoregressive Moving Average
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SOM	Self Organizing Maps
SVR	Support Vector Regression
TFN	Transfer Function-Noise Model
TGP	Tree based Genetic Programming
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TS / TSA	Time Series / Time Series Analysis
WaDemEsT	Water Demand Estimation Tool
WANN	Dalgacık Tabanlı Yapay Sinir Ağı
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artışa bağlı olarak, içme suyu, sulama ve gıda üretimi ile sanayi gibi pek çok alanda suya olan ihtiyaç da giderek artmaktadır. 2010 yılında küresel su tüketimi yüzyılın başına kıyasla yaklaşık 9 kat artmıştır. 2000 ile 2050 yılları arasında ise bu talebin % 55 düzeyinde bir artış göstereceği tahmin edilmektedir (UNESCO, 2020). Ancak bugün bile yeryüzündeki nüfusun neredeyse % 70'ini barındıran ülkelerin büyük bölümünde su stresi veya su kıtlığı yaşanmaktadır. Bu nedenle içme suyu kaynaklarının muhafazası ve su kullanımında verimliliğin artırılması, planlamaya yönelik bir ihtiyaçtan ziyade ivedi bir zaruret durumundadır.

İklim değişikliğinin yıkıcı etkilerinin de yoğun biçimde yaşanmaya başlandığı günümüz dünyasında artan nüfus ve kalkınma yarışı gibi faktörlerin de etkisi ile su kaynakları üzerindeki beklentilerin ve taleplerin arttığı, uluslararası, ulusal ve yerel ölçekte su ile ilişkili pek çok konunun yoğun biçimde tartışıldığı bir döneme girilmiştir. Artan su talebinin karşılanması konusunda geliştirilebilecek yeni stratejiler ve uygulamaya yönelik yenilikler günümüzün önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Günümüzde tüm Dünyada ve Türkiye’de de içme suyu, tarımsal sulama, sanayi tüketimi ve enerji üretimi ile rekreasyonel kullanım konusundaki önceliklerin suyun durumuna göre yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

Küresel su tüketiminin yaklaşık % 15’i kentlerde gerçekleşmektedir. Her ne kadar kentsel su tüketimi, tarımsal üretim ve sanayi üretimi gibi suya ihtiyaç duyulan diğer alanlara kıyasla toplam su tüketimi içinde daha az bir orana tekabül etse de içme suyu sektörü, tüketilen suyun miktarına kıyasla yüksek bir öneme sahiptir.

Geçtiğimiz yüzyılda kentsel alanlardaki genişleme ve su şebekelerinin gelişimi nedeniyle Dünya çapında şebeke suyuna erişim kolaylaşmış ve bu durum hem kent nüfusunu hem de kentsel su tüketimini artırmıştır. Günümüzde nüfusun % 55’i kentsel alanlarda yaşamaktadır ve bu oranın 2050 yılı itibarı ile % 67 düzeyine ulaşması beklenmektedir (UNESCO, 2019).

Türkiye’deki kentsel su tüketimi ve su kaynaklarının genel durumu değerlendirildiğinde, yaklaşık 144 milyar m³ olduğu tahmin edilen toplam yıllık su potansiyelinin 2008 yılında 44

milyar m³'lük kısmı tüketilirken, 2020 itibariyle bu rakamın 57 milyar m³'e ulaşmış olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye 2020 yılında, kişi başına düşen 1346 m³ su miktarı ile “su baskısı yaşayan” bir ülke olarak görülmektedir (DSİ, 2023). Bu durum suya olan talebin hızlı biçimde artmasından kaynaklanmaktadır. Ancak su ihtiyacı her zaman doğru biçimde artmamaktadır. Sınırsız tüketim ve ekonomik gelişim olgusu talebin olması gerekenden çok daha fazla artmasına neden olmaktadır.

19. yüzyıl dünyasına ait bir olgu olan “sınırsız tüketim ve ekonomik gelişim” hayallerinin sürdürülmesinin, içinde bulunduğumuz yüzyılda mümkün olmadığı, gezegenin doğal kaynaklarına yönelik sınırların mevcut olduğu artık yaygın bilinen bir gerçek haline gelmiştir. Ekosistemlerin çöküşü veya mega kentlerin kronik susuzluk gibi istenmeyen durumlarla karşı karşıya kalması sonucu ortaya çıkabilecek felaketlerin önlenmesi açısından, su ile ilişkili beklentilerin ve su talebinin yönetilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde hem kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması hem de ortaya çıkan su talebinin karşılanması mümkün olmayacaktır.

Yakın gelecekte; eldeki kaynakların yıllık döngüde ihtiyaçlara cevap verme durumu, yıl içi mevsimsel su açıklarına yönelik tedbirlerin alınması gibi hususların daha fazla önem kazanması ve içme suyu temin sistemlerinin işletiminde gündelik rutin haline gelmesi kaçınılmaz görünmektedir. Böyle bir durum kentsel su talebindeki değişimlerin tasarruf odaklı bir bakış açısıyla yönetilmesini, gerekli her türlü idari ve teknolojik aracın kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle kentsel su talebini oluşturan her türlü coğrafi, iklimsel, sosyolojik ve demografik faktörün talep yönetimindeki etki ve katkısının değerlendirilmesi, önemli bir araştırma konusudur.

Günümüzde su kaynaklarının yönetimine ilişkin strateji ve politikaların belirlenmesi ve uygulanması konusunda, “insan davranışının” en önemli faktör olduğu yaygın bir kanaat haline gelmiştir. İnsan davranışının etkilerinin tahmin edilebilmesi için, çevresel ve coğrafi koşullarla birlikte, su kullanım alışkanlıkları gibi sosyolojik ve kültürel unsurların da gözetilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, yağışın yetersiz olduğu dönemlerde kentsel su temin sistemlerinin uzun dönem kesintiler hatta çöküşten kurtarılabilmesi için kullanıcılar tarafından su tasarrufu yapılması bir zorunluluk haline gelmektedir.

Genel olarak tüm yönetimsel ve teknolojik araçların bir fayda sağlayıp sağlamayacağı veya etkinliği, belirlenen tedbirlerin gündelik hayatı olumsuz etkilemeyen ve su kullanıcıları tarafından kabul edilebilir yöntemler içermesi ile yakından ilişkilidir. Bunun için de teşvik, kısıtlama, kesinti veya kademeli tarifeler gibi araçların su kullanıcılarının yaşam standartlarını etkilemeyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu bakımdan öncelikle, planlanan tedbirler nedeniyle ortaya çıkabilecek olumsuz etkilerin ve geçiş sürecinde karşılaşılabilecek güçlüklerin bertaraf edilmesi için toplumsal grupların uyumlanma kapasitesinin iyi anlaşılması gerekmektedir.

Bireyler, kitleler ve hatta farklı yaş grupları veya meslek gruplarından insanların oluşturduğu farklı toplumsal aktörler birbirinden ve hatta toplumun genel bakış açısından farklı davranışsal özellikler sergileyebilmektedir. Özellikle bireyin gündelik hayattaki ebeveynlik veya işverenlik gibi sahip olduğu farklı rollerle ilişkili olarak öncelikleri ve hassasiyet düzeyleri de değişiklik gösterebilmektedir. Bu bağlamda politika geliştirme ve planlama düzeyinde çok önem atfedilmeyen ve küçük bireysel farklılıklar olarak görülen birçok istisna, eğer temelini toplumsal veya kültürel bir olgudan alıyorsa içme suyu temin sistemlerinin işletimini olumsuz etkileyebilecek daha büyük olguların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Örneğin yıllık döngüde farklı zamanlarda ortaya çıkan pik talepler, temin sistemleri üzerinde pek çok yıpratıcı etkiye neden olabilmektedir. Bu taleplerin sıklığının artması da bu sistemlerin işletiminde birçok sorunun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yönetimsel anlamda istisna gibi görünen toplumsal ve kültürel olguların doğasından ileri gelen belirsizliklerin, kümülatif düzeyde sistemin bütününü olumsuz etkileyen birer etken haline dönüşebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Toplumsal birliklerin doğasındaki bu belirsizlikler nedeniyle pek çok sosyal sistem karmaşık uyumsal sistemler (complex adaptive systems) olarak ele alınmaktadır. Bu sistemler kaotik süreçlerin hâkim olduğu ve bu nedenle birbirinin benzeri gibi görünen farklı dönemlerde farklı davranışlar sergileyebilen sistemlerdir. Bu türden sistemlerde bireyler de farklı koşullar altında farklı davranışsal özellikler sergileyebilmektedir. Sosyal karmaşıklık olarak adlandırılan bu bakış açısında makro (toplumsal) düzeydeki olguların ortaya çıkışının, mikro (bireysel) lekteki etkileşimlerle yakından ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Bu bakımdan bu sistemlerin anlaşılmasına hizmet edebilecek yenilikçi yöntemlerin keşfedilmesi ve saha uygulamalarının geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Kentsel su talebinin yönetimi bu yöntemlere ilişkin önemli bir uygulama sahasıdır. Pik debiler gibi içme suyu temin ve dağıtım sistemini zorlayan olayların önceden tahmin edilmesi, tüketimi etkileyen çevresel koşullar, demografik veya sosyo-ekonomik unsurların tespit edilerek, ihtiyaç olduğunda tüketimi dengeleme/azaltma konusunda uygulanabilir tedbirlerin geliştirilmesi, kentsel su talebinin yönetilmesi konusundaki en önemli yöntemlerdendir.

Kentsel su talebinin yönetimi konusunda, talep tahmininin önemi büyüktür. Talebin artış gösterdiği dönemlerde ya daha çok suyun sisteme eklenmesi ya da talebin azaltılacak şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Su talebinin tahmini için eldeki verilerden hareketle çeşitli matematiksel ve sezgisel modeller üretilmiştir. Bu amaca yönelik olarak, *zaman serisi analizi* gibi klasik tek değişkenli (univariate) analiz araçları yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca 2000’li yılların başından itibaren yapay sinir ağları (YSA) gibi teknolojiler ile spesifik uygulamalarla klasik yöntemlerin birleştirildiği çok sayıda hibrit yöntem de geliştirilmiştir.

Kullanılan her yöntemin üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Geliştirilen modeller çoğunlukla, eldeki veriler üzerinden kurgulanmışlardır ve çoğunluğu sistemin en üst ölçekteki (yığın ölçeğinde) davranışıyla ilişkili bir öngörü sunabilmektedir. Bazı modeller sistemin genel gidişatı hakkında bir fikir verebilirken; sosyo-ekonomik olgulara ilişkin çözümlemelerin yapılabilmesi, sosyal simülasyon gibi daha ziyade sosyal bilimlerle ilişkili yöntemlerin de sürece dahil edilmesini gerektirmektedir.

Sosyal simülasyon; sosyolojik kavramların açıklanmasında bu olguları ortaya çıkaran toplumsal süreçler, mekanizmalar ve davranış biçimlerinin kullanıldığı bir hesaplamalı sosyal bilim yöntemidir. Sosyal simülasyon süreci çoğunlukla *Etmen Tabanlı Modelleme* olarak adlandırılan bir yöntemle yürütülmektedir. Sosyal simülasyon yöntemi; işleyişi iyi anlaşılmış bir davranış teorisini somutlaştıran etmen tabanlı modellerin, sosyal karmaşık sistemler için pratik öneriler geliştirmeye yardımcı olabileceğini göstermektedir (Jager ve Gotts, 2013).

Etmen Tabanlı Modelleme ve Simülasyon-ETM (Agent Based Modeling and Simulation-ABMS) sosyal davranışın araştırılmasında pek çok önemli sorunu ortadan kaldıran bir araç seti sunmaktadır. Toplumsal araştırmalar en temelde mülakat, anket gibi doğrudan

bireylerden alınan (beyana dayalı) bilgiler ışığında şekillenmektedir. Ancak bu yöntemin en sorunlu yanı, cevaplayıcıların bulundukları ortam, soruyu soran kişilere yönelik düşünceleri, anlık olarak deneyimledikleri zihinsel olgular gibi nedenlerle gerçeği yansıtmayan cevaplar verme eğiliminde olabilmesidir.

ETM ile oluşturulan simülasyon ortamında ise sosyal süreçlerin, bu türden sapmaların mevcut olmadığı bir şekilde modellenmesi mümkün hale gelmektedir. Bu yöntem, birey davranışının modellenerek gündelik hayatın taklit edilmesine, nihai olarak da kitlesel ve popülasyon ölçeğinde ortaya çıkabilen davranışsal desenlerin sentetik olarak üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu şekilde üretilen davranışsal desenler, vaka ve saha uygulaması gibi çalışmalar ile bütünleştirilerek üretilen çıktıların sahadaki gerçeklerle ilişkisi değerlendirilebilmektedir. Kentsel su talebinin tahmini özelinde düşünüldüğünde, örneğin hane halkı düzeyinde herhangi bir tedbir uygulanmadan önce, tedbirlerin hane halkı üzerindeki etkinlik durumuna ilişkin öngörülerin üretilmesi mümkün hale gelmektedir.

Tezin amacı

Günümüzdeki en önemli küresel tehdit olan iklim değişikliğinin su altyapıları üzerindeki buharlaşma baskısı, afetler nedeniyle rezervuar yapıları ve su kalitesi üzerindeki yıpratıcı etkileri gözetildiğinde, mevcut su tutma kapasitesi ne kadar yeterli düzeyde olsa da bu kapasitenin sınırlarına hızlı biçimde ulaşılması olasılık dışında değildir. Özellikle COVID-19 Pandemisi sırasında yaşanan eve kapanma ve 6 Şubat Depremlerinin ardından yaşanan iç göç gibi beklenmedik ve planlanmamış olayların su tüketimine ilişkin genel gidişatı bir süreliğine veya uzun dönemde değiştirebileceği, hatta kalıcı biçimde tüketimi hızlıca artırabileceği görülmüştür. Bu nedenle kentsel su talebinin yönetimi konusunda, bu türden beklenmedik talep patlamaları karşısında önceden ve hızlıca reaksiyon alınması önem arz etmektedir. Bu bağlamda “su tüketiminin takibi” ve özellikle “pik talep dönemlerinin tahmini” oldukça önemlidir.

Halihazırda literatürde istatistiki analizler ile kısa, orta ölçek ve uzun dönemli su talep tahminlerinin üretilmesine yönelik birçok örnek bulunmaktadır. Ancak özellikle ülkemizde, su tüketimini etkileyen hane halkı demografisi, hanelerdeki su tüketen cihazların performansı ve takvim değişkenleri gibi faktörlerin de sürece dahil edilerek, açıklanabildiği ve Türkiye’deki yaygın faturalandırma yöntemi olan aylık su tüketim verileri üzerinden

Üretilen bir tahmin ve modelleme erevesi bulunmamaktadır. Bu doğrultuda bu tezin amacı kentsel su talebinin yönetimi konusunda, konutlardaki su tüketime yönelik olarak, aylık su tüketimi verilerine uygulanabilir; hem istatistiksel analiz yöntemlerinin kestirim gücünden faydalanan hem de su tüketiminin arka planında yer alan sosyal faktörlerin açıklanmasına olanak tanıyan tahmin ve modelleme yöntemlerinden seçilmiş hibrit bir tahmin ve modelleme erevesi oluşturulmasıdır.

Araştırma soruları

Bu tezde literatürde yer alan ve elimizdeki verilere uygun olduğu değerlendirilen farklı yöntemler ile hibrit bir modelleme erevesi oluşturulması amacı ile tezde cevap aranan araştırma soruları şunlardır:

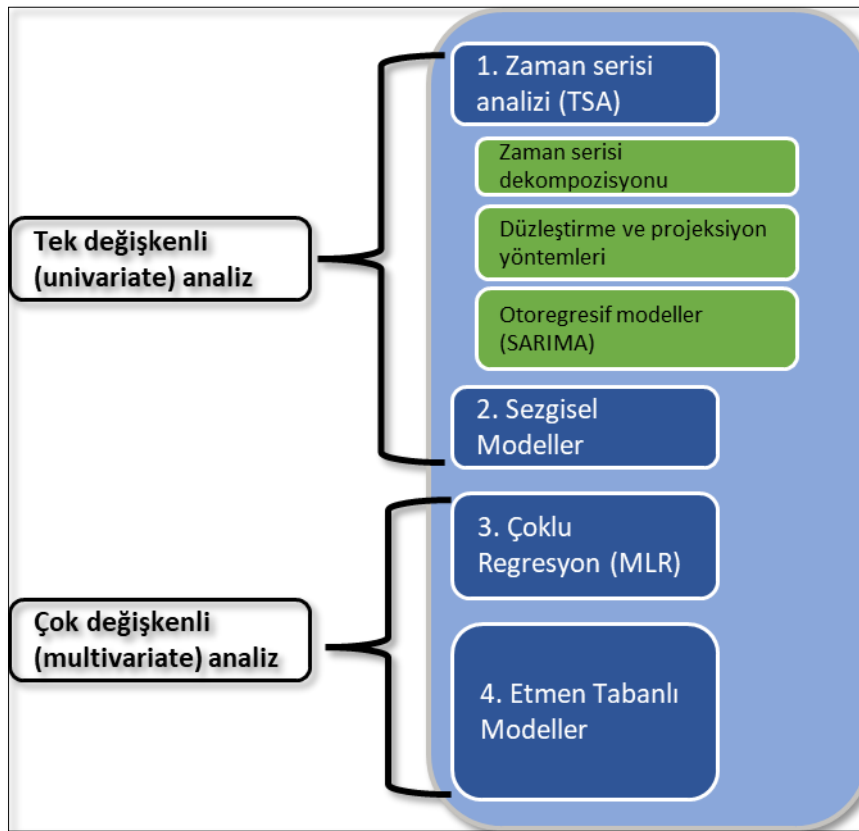
- 1) Aylık su tüketimi verileri üzerinden pik talebin tespit edilmesi mümkün müdür?
- 2) Aylık verilere özgün bir sezgisel model geliştirilebilir mi?
- 3) Mevcut yöntemlerin su talebinin arka planında yer alan ve su tüketimini etkileyen unsurları açıklama gücü nasıl artırılabilir?
- 4) Etmen Tabanlı Modelleme su talebinin arka planında yer alan faktörlerin açıklanmasında fayda sağlayabilir mi?
- 5) Eksik veri tamamlama veya sentetik veri üretimi için elverişli bir yöntem mevcut mudur?

Kısıtlılıklar

Su tüketiminin veya su talebinin tahmini, veriler ışığında bilimsel gerçeklikten hareketle yürütülmesi gereken bir süreçtir. Ancak, etraflıca bir değerlendirme yapabilmek adına ihtiyaç duyulan veri büyüklüğü ve zamansal çözünürlüğünün elde edilmesi çoğu zaman güçlü bir bilişim altyapısı, nitelikli personel ve yüksek finansman gerektirmektedir. Ancak Türkiye dahil pek çok ülkede bu veriler, tüketiciyi faturalandırabilmek adına gerekli olan “aylık” zamansal ölçekte üretilmektedir. Diğer taraftan talebin yönetilmesi adına ihtiyaç duyulan pek çok demografik veri de ihtiyaç duyulandan çok daha düşük (coğrafi ve zamansal) znrlkte üretilmektedir. Dolayısıyla talebin tahminine yönelik çalışmaların ancak mevcut verilerin elverdiği ölçüde yürütülebilmesi söz konusu olmaktadır.

Tezin yöntemi

Bu tezde hem istatistiksel analiz yöntemlerinin kestirim gücünü hem de bilgisayar simülasyonlarının karmaşık gerçek dünya olgularını açıklayıcı gücünü entegre ederek hibrit bir model üretmek hedeflendiğinden; öncelikle mevcut aylık su tüketim verilerinin tahminine ilişkin yapılan çalışmalar, alternatifler incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu maksatla konutlar düzeyindeki su talebinin yönetimine ilişkin önemli bir bilgi olan su talebinin tahmini ve arka planındaki, su tüketimini etkileyen faktörlerin anlaşılmasına hizmet edebilecek istatistiksel yöntemler ve modelleme araçları araştırılarak, her bir yöntemin hibrit bir modelleme çerçevesi içerisinde kullanımı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, amaca yönelik olarak kullanılan yöntemler ve kullanım amaçları Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Tezde oluşturulan hibrit modele altlık teşkil eden yöntemler

Su tüketiminin genel gidişatının veya çeşitli dışsal faktörlerle ilişkisi gibi detayların araştırılmasında birçok farklı yöntem kullanılabilir. Su tüketim verileri tek başına düşünüldüğünde (tek değişkenli olarak) zaman serisi analizi en yaygın başvuru

yöntemlerin başında gelmektedir. Bu yöntemde serinin ayrıştırılmasından (bileşenlerine ayrılması) başlayarak ARIMA veya SARIMA gibi otoregresif modellerle hem verilerin genel durumu ortaya konulabilmekte hem de tahminler üretilebilmektedir.

Verilerin dışsal faktörlerle ilişkisinin incelenmesi yani çok değişkenli analiz konusunda ise regresyon en temel araçların başında gelmektedir. Bu çalışmada özellikle sıcaklık ve yağış değişkenlerinin “aylık su tüketimini” açıklama düzeyi regresyon ve ETM olmak üzere iki farklı yöntemle değerlendirilmiştir.

Su talebinin yönetimi konusunda spesifik olarak geliştirilen sezgisel modeller ise sürecin doğasına ilişkin mevcut en iyi yaklaşımları temsil etmektedir. Diğer taraftan ETM altyapısı eldeki verilerin anlamlandırılması bakımından sosyal simülasyon yönteminin kullanılmasına olanak sunmaktadır.

Bu bağlamda ilk olarak, araştırma için seçilen aylık su tüketimi, günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağış verileri ön analizden geçirilmiştir. Bu aşamada eksik veriler, aşan değerler ve verilerin durumuna ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Sonraki aşamada aylık su tüketim verilerinin mevsimsellik, trend ve hata değerlerinin dağılımı incelenerek zaman serisi modeli üretilmiştir. Üretilen SARIMA modelinin ürettiği tahminlerin, istatistiksel anlamlılık düzeyinde yeterliliğe sahip olmadığı görülmüştür. Ayrıca literatürde yer alan sezgisel modellerin aylık verilere uyarlanabilirlik durumu test edilmiştir. Uyarlanan sezgisel modelin aylık su tüketimini yüksek doğrulukta tahmin edebildiği tespit edilmiştir.

Çok değişkenli analiz safhasında; tek değişkenli analiz yöntemlerinin açıklayıcı gücünü artırmak üzere, etmen tabanlı modelleme (ETM) gibi yöntemlerden nasıl yararlanılabileceği araştırılmıştır. Diğer taraftan, etmen tabanlı modellemenin zaman serilerinin çözünürlüğünün artırılması ve veri tamamlama konusundaki gücünü test etmek üzere, çalışmadaki aylık su tüketim verilerinden etmen tabanlı model ile günlük ve haftalık su tüketim verileri üretilmiştir.

Bulguların değerlendirilmesi için günlük ve haftalık veriler mevcut olmadığından, bu sorunun çözümüne ilişkin özgün bir bakış açısı sunmak üzere, hane halkı büyüklüğü ve haftaiçi, haftasonu ve uzun dönemli tatiller gibi takvim değişkenleri üzerinden su tüketim tahmininin yapıldığı bir Etmen Tabanlı Model (ETM) geliştirilmiştir. Sonrasında bu tezde

geliştirilen uyarlanmış sezgisel model ile etmen tabanlı modelin çıktıları arasında farklı zamansal çözünürlüklerde anlamlı bir birliktelik olup olmadığı değerlendirilmiştir. Etmen tabanlı model ile günlük ve haftalık ölçekte sezgisel model ile yakın değişim gösteren sentetik verilerin üretilebildiği tespit edilmiştir.

Bu tezde çalışma alanı olarak Ankara ili Etimesgut İlçesi, Ahimesut Mahallesi seçilmiştir. Ankara İli su temin sistemi, Ankara'nın gelişen su taleplerini uzunca bir süre (projeksiyon 2050 yılına kadar) karşılayabilecek bir kapasiteye sahiptir. Ancak, tüm Dünyadaki metropol şehirlerin karşılaştığı yoğun nüfus, coğrafi bakımdan sürekli genişleyen mücavir alan, ekonomik gelişim iştahı doğrultusunda hızlı biçimde artan su ihtiyacı gibi zorluklar Ankara için de geçerli durumdadır.

Model çıktıları doğrulanmasında Ankara İli, Etimesgut İlçesi, Ahimesut Mahallesi aylık konut su tüketim verileri ile karşılaştırılarak modelin hata oranı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, aylık su tüketim verileri klasik zaman serisi analizi yöntemiyle analiz edilerek, elde edilen hata değerleri üzerinden ETM'nin tahmin performansı değerlendirilmiştir. Çalışmaya ilişkin literatür taramaları çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde detaylandırılmıştır.

İkinci bölümünde (Kavramsal Çerçeve) su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve kentsel su tüketimi ilişkisine yönelik hususlar özetlenerek, sosyo-ekolojik sistemlerin genel özelliklerine değinilmiştir.

Kentsel su talebinin (tüketiminin) tahmini konusundaki tarihsel gelişim ve genel kabul gören kestirim yöntemleri ile bunların alana katkısı değerlendirilmiştir. Su talebinin tahmininde sayısal modellerin kullanımına ilişkin temel çerçeve ile Etmen Tabanlı Modellemenin kullanımı hakkında literatürde yer alan çalışmalar ve bunların alana katkısı okuyucuya sunulmuştur. Bu bölümde son olarak, kentsel su talebinin oluşumunda etkili olan süreçlere ilişkin bilgiler derlenerek, bu çalışmada esas alınan ve su talebini etkilediği düşünülen faktörlere yönelik literatür kaynaklı bilgiler sunulmuştur.

Üçüncü bölümde (Yöntem) ilk olarak, araştırma sahasına ilişkin genel ve sosyo-ekonomik bilgiler verildikten sonra, üretilen zaman serisi modeli, sezgisel su tüketimi modeli, regresyon modeli ve etmen tabanlı modele ilişkin metodolojik bilgiler verilmiştir. Ayrıca modelin üzerinde çalıştığı verilerin genel durumu, sınırlılıklar ve genel kabuller

sunulmuştur. Su tüketim verileri ile model çıktılarının karşılaştırılmasında faydalanılan yöntemlere ilişkin detaylar da bu bölümde sunulmuştur.

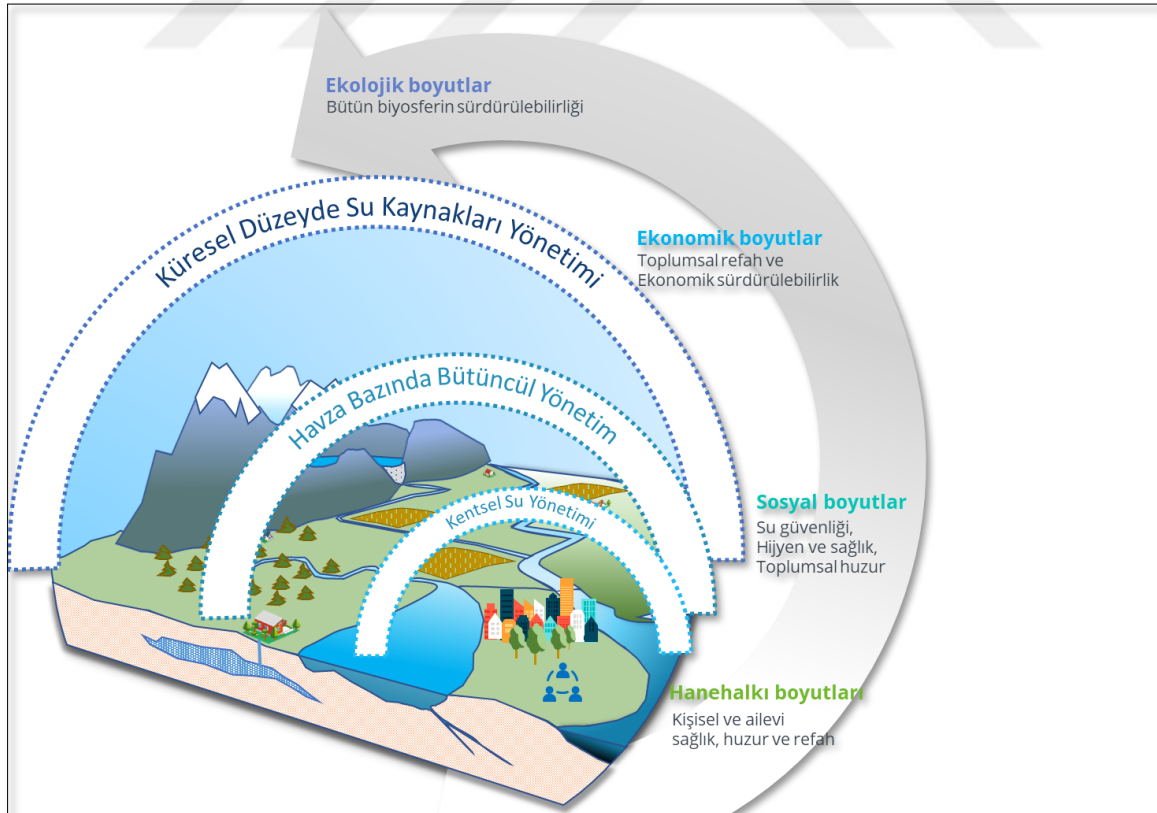
Dördüncü bölümde (Bulgular ve Tartışma) üretilen çıktılar, zaman serisi analizi ile elde edilen ve su tüketiminin iklimsel faktörlerle ilişkisine yönelik bulgular, hane halkı demografisinin su tüketimine olan etkisi ve takvim parametrelerinin su tüketimi ile olan ilişkisine yönelik bulgular önceki çalışmalar ve klasik modelleme ve kestirim metodolojisi çerçevesinde değerlendirilerek, her bir parametre grubunun model çıktılarına olan etkisi tartışılmıştır.

Son olarak beşinci bölümde (Sonuç ve Öneriler) aylık konut su talebinin modellenmesine ilişkin sonuçlar ile gelecek araştırmalar ve modelin bir kestirim aracı olarak kullanımına yönelik önerilere yer verilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bütüncül su kaynakları yönetimi, su kaynaklarından sağlanabilecek ekonomik ve sosyal faydaların devamlılığı ve sosyal refahın korunması ve geliştirilmesi maksadıyla, su başta olmak üzere arazi ve diğer kaynakların koordinasyon halinde yönetilmesini ifade etmektedir (UNESCO-IHP, 2009). Bu bakış açısı, yeryüzündeki miktarı sınırlı ve dağılımı da insan nüfusuna oranla dengesiz olan tatlı su kaynaklarının sınırlarının iyi anlaşılması ve bu konudaki beklentilerin kaynağın akıbetine yönelik tehlikelere neden olmaksızın yönetilmesini gerektirmektedir.

Bütüncül su yönetiminin temel uygulamaları, suyun doğal sınırları olarak ifade edilen su havzaları düzeyinde paydaşların bir koordinasyon içinde çalışmasının temin edilmesi ve çakışan öncelikler konusunda en uygun çözümlerin geliştirilmesini hedefleyen mevzuat esaslı yönetsel araçlardır. Şekil 2.1’de görüleceği üzere yönetsel çerçevenin kapsamını, tüm gezegen ölçeğinden, hane halkı ölçeğine kadar detaylandırmak mümkündür.



Şekil 2.1. Bütüncül su yönetiminin boyutları

Bütüncül su yönetimi esasları temelinde şekillendirilen bu tezdeki temel hareket noktası, hane halkı düzeyindeki su tüketimi davranışının yerleşim biriminin su tüketimini etkilemesi ve bu yolla ortaya çıkan etkilerin bir sosyo-ekolojik sistem bakış açısıyla yönetilmesi gerektiğidir. Toplumsal düzeyde insanın su kaynaklarıyla ilişkisi içme suyu, hijyen ihtiyaçları, gıda üretimi gibi tüm temel meselelerde suya bağımlı şekilde gelişmiş ve hayatın diğer tüm boyutları suyun kılavuzluğunda şekillenmiştir. Böylelikle su yönetimi de suyun ihtiyaç duyulan bölgeye ulaştırılması anlamına gelen “su temini” kavramı ile özdeşleşmiştir.

Günümüz dünyasında klasik su temini anlayışının, suya ilişkin taleplerin yönetimini de kapsayacak şekilde güncellenmesini gerektiren koşullar hüküm sürmektedir. Zira günümüzde geçmişe kıyasla daha fazla insan nüfusunun beslenmesi ve bunun da kirlilik nedeniyle giderek daha az erişilebilir hale gelen tatlı su kaynakları ile yapılması gerekmektedir.

Geçmişten günümüze talebin yönetimi konusunda ekonomik teşviklerin kullanılmasından, suyun fiyatlandırılması ve halkın bilinçlendirilmesi ve eğitimi gibi çok çeşitli yönetsel araçlar önerilmiştir (Athanasiadis vd., 2005). Ayrıca su tasarrufunun teşvik edilmesi, uzun süredir sürdürülebilir su yönetiminin etkili bir bileşeni olagelmıştır. Bununla birlikte, esnek olmayan fiyat tepkileri, sertleşen talep ve zayıf kamu bilinci, stratejilerin etkinliğini azaltmaktadır. Bu nedenle tedbirlerin etkinliğinin ölçülebilmesi için, bireylerin tutumları, sosyal çevrenin desteği ve teşviki ile tasarruf teşvikleri gibi psikolojik ve sosyal faktörlerin etkilerinin de ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır (James ve Rosenberg, 2022).

Sonuç olarak su kaynaklarının doğru biçimde yönetilmesi, su kaynaklarına ve bunların kullanımına ilişkin doğru bilgiler temelinde şekillendirilmesi gereken bir talep yönetim sistematiğini gerekli kılmaktadır.

2.1. Talep Yönetimi

Su kaynakları yönetiminin en önemli bileşenlerinden biri talebin yönetilmesidir. Talebin yönetilebilmesi için sektörel bazda ihtiyaç duyulan veya talep edilebilecek olan su miktarlarının önceden tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu tahminlerin tarımsal veya sınai üretim gibi alanlar ile kentsel su talebinin kestirimine uzanan boyutları bulunmaktadır. Gardiner ve Herrington (1986) talebin tahminini, geçmiş su kullanımının analizi ve elde

edilen bilgiyi geleceğe uyarlamak için kullanılan yöntemlerin çıktısı olarak tanımlamışlardır.

Genel olarak su kaynakları başta olmak üzere, tüm doğal kaynakların yönetiminde ve tahmin yaklaşımlarında en temel mesele; bu kaynaklar üzerindeki *insan etkilerinin* yönetilmesidir. Bu nedenle de su ile ilişkili meselelere yönelik etkin çözümler geliştirilmesinin temel şartının, ‘insan faktörünün anlaşılması’ olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu amaçla, bu tez çalışması özelinde de su kaynakları ve bu kaynaklarla ilişkili sosyo-ekolojik sistemlerde beklenen iyileşmenin sağlanabilmesi adına bütüncül bakış açısı benimsenmiştir.

Yüksek düzeyde karmaşıklık ifade eden bir kavram olan “sosyo-ekolojik sistem” olgusunun anlaşılması için ise pek çok farklı alana ait çeşitli verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle su ve su ile ilişkili toplumsal problemler bağlamında sosyo-ekolojik sistem anlayışının bir gerekliliği olarak, tüketime etki eden faktörler arasındaki karmaşık ilişkilerin göz ardı edilmemesi veya matematiksel modellerdeki gizli değişkenlere havale edilmeyerek, bunların ortaya çıkarılması ve bu ilişkilerin olabildiğince mevcut modellere entegre edilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, kentsel su talebi kavramının kendisi ve bunu etkileyen faktörlerin kapsamlı bir bakış açısıyla ele alınması gerekmektedir.

2.2. Kentsel Su Talebini Etkileyen Faktörler

Bu bölüm, kentsel su talebi üzerinde etkisi olan faktörlere kapsamlı bir bakış sunmaktadır. Bu faktörler, hava koşullarından yerleşim biriminin ve su dağıtım sisteminin coğrafi karakteristiklerine varan geniş bir ölçekte değişkenlik göstermektedir. Literatürde yer alan pek çok araştırmayla, ekonomik, sosyo-demografik, fiziksel ve teknolojik kategorideki bir çok değişkenin kentsel su talebinin oluşumunda önemli unsurlar olduğu ortaya konulmuştur.

Bich-Ngoc ve Teller (2018) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, su talebinin tahmininde etkili olan faktörler altı kategoride verilmektedir. Bunlar, iklim veya hava durumu değişkenleri, ekonomik faktörler, sosyo-demografik faktörler, konut özellikleri ile teknolojik ve veya coğrafi faktörleri kapsamaktadır.

İklim ve hava durumu değişkenleri (yani çoğunlukla sıcaklık ve yağış), konut su talebini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir (House-Peters ve Chang, 2011; Maidment vd.,

1985; Steiner ve Smith, 1983). İklim veya hava koşulları ve su kullanımı arasında belirgin bir ilişki vardır ve bu genellikle dış mekân etkinliği ve tüketici davranışı ile ilişkilidir. Ayrıca dönemsel şiddetli kuraklıkların da su talebi üzerinde önemli bir etkisi olmaktadır (Bich-Ngoc ve Teller, 2018).

Literatürde iklimsel faktörlerin su talebi üzerindeki etkisinin araştırıldığı pek çok araştırma bulunmaktadır. Burada bu araştırmalardan birkaçına kısaca değinilecektir. Birden fazla iklimsel değişkenin su talebi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı araştırmalara bir örnek olarak, Hu vd. (2019) su talebi tahmin modelinde girdi değişkenleri olarak sıcaklık, çiğlenme noktası, nem, rüzgâr hızı ve atmosferik basıncı kullanmışlardır. Brentan vd. (2017) çeşitli iklimsel faktörler ile su talebi arasındaki ilişkiyi açıklama konusunda sıcaklık, bağıl nem ve gün içindeki saatin en önemli değişkenler olduğunu göstermişlerdir.

Ekonomik faktörler arasında yer alan hane halkı geliri veya alım gücü gibi faktörlerin neredeyse tamamı suyun fiyatıyla ilişkilidir. Su talebi tahmini konusunda fiyatın bir faktör olması, suyun ucuz olduğunda tüketimin artması ya da yüksek fiyatın düşük tüketime yol açabilmesinden ileri gelmektedir (Bich-Ngoc ve Teller, 2018). André ve Carvalho (2014) su fiyatı ve hane halkı geliri gibi bazı faktörlerin su talebi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu, yani bu faktörlerdeki değişimlerin su talebini değiştirebildiğini göstermiştir.

Sosyal-demografik durum ve diğer hane halkı özellikleri arasında hanedeki yetişkin, çocuk ve genç sayısı gibi faktörler (Bennett vd., 2012) veya daha detaylı biçimde hane halkı büyüklüğü, hane tipi, tüm katların toplam inşaat alanı, hane başına düşen bahçe alanı, oda sayısı ve kat sayısı gibi bazı fiziksel özellik faktörlerinin kişi başına su tüketimine etkisi, çocuk sayısı, yetişkin erkek üyeler, yetişkin kadın üyeler ve yaşlı hane sayısı gibi sosyal-demografik faktörler (Hussien vd., 2016) su tüketimiyle ilişkili olarak araştırılan faktörlerdendir.

Coğrafi faktörlerin (örneğin, kentsel yoğunluk ve yer tipi) de su talebinin tahmininde bir etkisi olduğu literatürdeki pek çok çalışma ile gösterilmiştir ve su temin sistemlerindeki planlama ve yönetim süreçlerinin etkinliğinin artırılması için bu faktörlerin daha fazla dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir (Franczyk ve Chang, 2009). Su talebi tahmini için coğrafi faktörleri içeren ana örneklerden biri Bao ve Chen'in (2017) araştırmasıdır. Araştırmacılar su tüketimi verimliliğinde etkili olan faktörleri analiz etmek için mekânsal

ekonometrik modeller kullanarak, “kentleşme seviyesinin” sosyo-ekonomik göstergeler arasında su tüketimini etkileyen en önemli ortak değişkenlerden biri olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Benitez vd. (2019) su talebinin tahmini için şehir merkezinin alanı, endüstriyel alan ve banliyö gibi yerleşim birimine ait unsurları çalışmalarına dahil etmişlerdir.

Teknolojik faktörler (örneğin akıllı sayaçlar, sensörler ve veri kaydediciler), su talebinin tespitinde önemli unsurlardır. Zira su tüketiminin izlenmesi, tüketici davranışını etkilemektedir. Akıllı sayaçlar, su tüketiminin tahmini konusunda en önemli katkıyı sunan teknolojik faktörlerdendir. Bu nedenle, su talebi tahmin modelleri üzerine çok sayıda araştırma çalışmasına dahil edilmişlerdir. Bu çalışmalarda akıllı sayaçlar aracılığıyla kullanıcıların tüketim bilgileri saatlik hatta anlık olarak toplanmakta ve tahmin modellerinde tüketim girdi verisi olarak kullanılmaktadır (Candelieri, 2017; Pesantez vd., 2020). Yüksek verimli armatürler ve cihazlar (Willis vd., 2013) veya alarm veren monitörler (Willis vd., 2010) gibi diğer cihaz ve yöntemlerin kullanımının da su tüketimi üzerinde etkisi olduğu gösterilmiştir. Ancak, bu tür cihazlar su talebi tahmin modellerinde nadiren kullanılmaktadır.

Takvim değişkenleri (hafta içi, hafta sonu, tatiller ve özel etkinlikler) hava durumu, sosyodemografik ve coğrafi faktörler gibi diğer faktörlerde doğası gereği su talebi tahmin modelleri üzerinde etkisi olan unsurlardır. Takvim değişkenleri, herhangi bir tahmin yönteminin doğruluğunu artırma potansiyeline sahip olup, diğer ilgili faktörlere kıyasla daha detay bilgiler olarak kabul edilebilir.

Literatürde takvim değişkenlerinin dikkate alındığı pek çok araştırma bulunmaktadır (Antunes vd., 2018; Benítez vd., 2019; Berk ve Cooley, 1981; Brentan vd., 2017; Herrera vd., 2010; Hu vd., 2019; Liu vd., 2013; Pesantez vd., 2020). Ayrıca COVID-19 ile dünya çapında uygulanan kısıtlamalar ve bunun sonucunda ortaya çıkan su talebi profilindeki değişimler de bazı araştırmacılarca su tüketiminde önemli unsurlar olarak görülmektedir (Abu-Bakar vd., 2021). Genel olarak su tüketimiyle ilişkili olarak literatürden hareketle aşağıda yer alan bilgilerin su tahminine ilişkin yöntemler açısından önemli olduğu görülmektedir:

- Graeser (1958) Dallas, Teksas'taki maksimum günlük talebin, maksimum hava sıcaklığının 38°C'nin (100°F) üzerinde olduğu önceki günlerin sayısı ve 1 inç (2,54 cm.) yağış üzerinden geçen hafta sayısı ile ilişkili olduğunu tespit etmiştir.
- Howe ve Linaweaver (1967) maksimum potansiyel evapotranspirasyon, sulanabilir alan, su fiyatı ve konut değerini bağımsız değişkenler olarak kullanarak maksimum günlük yağmurlama sulama talebi için denklemler geliştirdiler. Bu çalışmada mesken su talebi, evsel (iç) ve yağmurlama (dış) talep olarak ayrılmıştır.
- Weeks ve McMahon (1973) haftalık maksimum talepleri açıklayan doğrusal regresyon çalışmasında, Avustralya'da yıllık kişi başına düşen su kullanımını etkileyen en önemli iklimsel değişkenin, yıllık yağışlı gün sayısı olduğunu, ancak haftalık açık yüzey buharlaşması ve ortalama maksimum günlük sıcaklığın, yağıştan daha önemli açıklayıcı değişkenler olduğunu bulmuşlardır.
- Oh ve Yamauchi (1974) 1960'tan 1971'e kadar Honolulu'da günlük su kullanımının zaman serisi modellerini inceleyerek, her yıla ait maksimum ve minimum günlük kullanımı için lineer regresyon modelleri geliştirdiler. Araştırmacılarca maksimum günlük kullanımın, su kullanımının artan mevsimsel bileşeni nedeniyle minimumdan daha hızlı arttığı tespit edilmiştir.
- Steiner ve Smith (1983) Washington Metropolitan Bölgesi'nde günlük su kullanımı için doğrusal bir regresyon modeli kullanarak, eşzamanlı hava sıcaklığının ve önceki kuru gün sayısının günlük su kullanımını en çok etkileyen değişkenler olduğunu tespit etmişlerdir. Su kullanım verileri haftanın günüyle ilişkili özellikler de sergilemektedir.
- Berk vd. (1981) 1976-1977 kuraklığı sırasında Kaliforniya'da koruma uygulamalarının aylık su kullanımı üzerindeki etkisini analiz etmek için Box-Jenkins zaman serisi modellerini kullanmışlardır. Çalışma süresi boyunca hava değişimleri etkisi için kontrol değişkenleri olarak aylık yağış ve hava sıcaklığını kullandılar ve yağışın meydana geldiği ay boyunca su kullanımı üzerinde yağış sonrasına da uzanan bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Hava sıcaklığının ise böyle bir etkisi bulunmamaktadır.
- Maidment vd. (1985) tarafından bir yılda bir şehrin günlük su kullanımının analizinin aşağıdaki varsayımlara dayanması önerilmektedir: Toplam tüketim, baz tüketim ve mevsimlik kullanım olarak ayrılmaktadır. Baz tüketim, kış aylarındaki tüketim seviyelerine denk düşmektedir. Mevsimsel kullanım, yağış olmadığında günlük hava sıcaklığına göre değişim göstermektedir. Yağışın etkisi, tüketimde ani bir düşüşe ve ardından yağışlı dönemin bir etkisi kalmayana kadar kademeli bir artışa neden olmaktadır.

- Austin, Teksas'ta 1961 ile 1981 yılları arasındaki tüketim verileri, baz tüketimin toplam yıllık su kullanım hacminin dörtte üçünü ve mevsimsel kullanımın dörtte birini oluşturduğunu göstermektedir. Ancak, günlük baz tüketimin en yüksek oranının % 40'ını ve mevsimsel kullanım % 60'ını oluşturmaktadır. Aylık en yüksek mevsimsel kullanım, çalışma dönemi boyunca baz tüketimin yaklaşık yarısı kadar artmıştır (Maidment vd.,1985).
- Mevsimsel su kullanımının hava sıcaklığı ile doğrusal olmayan bir şekilde ilişkili olduğu görülmektedir. Isı fonksiyonu olarak adlandırılan bu etki, günlük ortalama 56°F ve 82°F (13°C ve 28°C) hava sıcaklıklarında süreksizliklere sahip üç parçalı doğrusal bir fonksiyonla temsil edilebilmektedir. Buna göre 56°F'nin altında su kullanımı ile hava sıcaklığı arasında bir ilişki yoktur. 82°F'yi aşan sıcaklıklar için çizginin eğimi, 56°F ile 82°F arasındakinden altı kat daha yüksektir (Maidment vd.,1985).
- Yağışların su kullanımı üzerindeki etkisi yaklaşık iki hafta devam etmektedir. Yağış miktarı 0,05 inç veya daha az ise, ani düşüş bir önceki günün mevsimsel kullanımının % 27'sidir ve etki yaklaşık bir hafta sonra azalmaktadır. Günlük su kullanımı için belirli bir gündeki yağışın etkisi, yağış miktarı 0,05 inçten (0,13 cm) fazlaysa, o günkü mevsimsel su kullanımında bir önceki günün mevsimlik su kullanımının % 49'unun düşmesine neden olmaktadır (Maidment vd.,1985).
- Buharlaşma ve hava sıcaklığı, su kullanımında olduğu gibi sürekli olarak pozitif bir aralıktaki değişim göstermektedir ve bu nedenle, çoklu doğrusal regresyon modellerinde yağış için olanlardan daha önemli olan regresyon katsayılarına neden olabilmektedir.

2.3. Kentsel Su Yönetiminde Veri Analizi, Modelleme ve Simülasyon Kullanımı

Günümüzde, bilimsel anlamda sosyo-ekolojik sistemlerin analizine yönelik çalışmalar giderek yoğunlaşmaktadır. Ancak gerek bireyin davranışını gerekse toplumsal, kitlesel düzeydeki hareket tarzını açıklayan teoriler ve bunların uygulama araçları (modeller) halen gelişime açık araştırma konuları arasındadır. Çevresel problemlerin kaos teorisi temelinde, karmaşık sistem olgusu, sosyal simülasyon ve etmen tabanlı modeller gibi araçlarla ele alınması, sosyo-ekolojik sistemlerin daha iyi anlaşılması bakımından her geçen gün daha fazla bilgi üretilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemlerin bu tez kapsamındaki yeri ve öneminin anlaşılması bakımından veri analizi, modelleme, kestirim ve sosyal simülasyon kavramlarının anlaşılması gerekmektedir.

Bilimsel yöntem, doğası gereği veriye ihtiyaç duymaktadır. Gerek doğa bilimleri gerekse sosyal bilimler alanında, bir kavramın açıklanması için matematiksel veya mantıksal bir model üretilmesi ve bunun da gerçek dünya verisiyle karşılaştırılması temel bir yaklaşımdır (Scott ve Koehler, 2014). Pek çok bilimsel disiplinde matematiksel modeller araştırma probleminin kavramsallaştırılmasının temel adımıdır. Matematiksel modellerde modelin açıklama gücü modelcinin problemi matematiksel notasyonla ifade etme yeteneğiyle yakından ilişkilidir (Crooks vd., 2018). Diğer taraftan matematiksel veya istatistiksel modellerin en önemli bileşenlerinden biri, bu modellerin üzerine inşa edildiği verilerdir. Verinin alan bilgisi ve tanımlayıcı istatistiksel yöntemlerle süzgeçten geçirilerek varsa aykırı değerlerin tespit edilmesi, veri üretimindeki hataların ve yanlışlıkların ortaya konulması veri analizinin temel hedefidir. Nihai hedef ise veriye uyan bir matematiksel veya istatistiksel modelin var olup olmadığının tespit edilmesidir. Araştırma konusunun arka planındaki mekanizmalar yeterince anlaşıldığında, sistemin geleceği ile ilgili kestirimler yapılması da mümkün olmaktadır. Ancak bu, kestirim yapabilmek için bir ön koşul değildir.

Günümüzde yapay zekâ uygulamaları gibi yöntemlerle verilerin arka planındaki süreçler bilinmeksizin de oldukça isabetli kestirimler yapılabilmektedir. Temel olarak modelleme ve kestirim, bilimsel anlamda eldeki veriler üzerinden gerçekleştirilebilecek analizlerin iki farklı boyutunu temsil etmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Modelleme ve kestirim (Brandon Foltz'dan (2022) uyarlanmıştır.)

Kestirim (tahmin); verilerin gidişatına yönelik daha net öngörüler ortaya konulmasını ifade ederken, modelleme; genel olarak veriye uygun ve yaygın bilinen bir matematiksel fonksiyon olup olmadığını tespit etme adımını (fitting) ifade etmektedir.

Veri analizi, çok fazla alan bilgisine ihtiyaç duyulmaksızın varsayımların sınanması veya kestirimler yapılmasına olanak sunmaktadır. Diğer taraftan gerçek dünyayla ilişkili bir olgunun ortaya çıkışında etkili olan faktörlerin nedensellik ilişkisi çerçevesinde irdelenmesi için ise regresyon gibi istatistiksel yöntemlere başvurulmaktadır.

Her iki yaklaşım da verideki eğilim (trend), baz model (level), mevsimsellik (seasonality) ve rastsal değerler (error) ile ifade edilen modellerden yararlanmaktadır. Matematiksel veya istatistiksel modelleme süreçlerinin zaman serileri analizi gibi veri analiz yöntemlerinden önemli bir farklılığı, gerçek dünyaya ilişkin kavramların anlaşılmasına yönelik tanımlayıcı bir çerçeve oluşturulmasıdır. Bu yöntemin temeli, modellenen kavramın dışsal faktörlerle ilişkisinin belirlenmesidir.

İlişkilendirilen faktörlerin korelasyon gibi bir “birlikte değişim” ilişkisi olabileceği gibi, regresyon gibi yöntemlerle ele alınabilecek bir “nedensellik ilişkisi” de söz konusu olabilmektedir. Dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, regresyon gibi istatistiksel yöntemlerin değişkenlerin birlikte değişiyor olması veya bir nedensellik ilişkisi içinde bulunup bulunmadığına yönelik açıklayıcı niteliğinin olup olmadığının her zaman göz önünde bulundurulması gerektiridir.

Bir modelin, arka plandaki süreçler sabit kaldığı sürece, zamansal perspektifte uzak ufuklara ulaşan bir kestirim gücüne ulaşması mümkündür. Ancak gerçek dünya koşullarında hiçbir şey sabit kalmadığından paradigma değişimleri sık sık yaşanmaktadır. Paradigma değiştiğinde ise verilerin gidişatı da değişmektedir. Zaman serileri analizi gibi veri temelli kestirim yöntemleri ile yapılan tahminlerde görece daha yakın ufuklara ilişkin tahminler söz konusu olmaktadır. Ancak uzun dönem tahminlere kıyasla kısa vadedeki kestirimlerin gücü her zaman daha yüksek düzeyde olmaktadır. Diğer taraftan hem tahmin ufkunun belirlenmesinde hem de veri varlığının önemi büyüktür.

Dakikalık, saatlik, günlük, haftalık veya aylık zamansal çözünürlükteki verilerin her birinin anlamlı bilgiler üretmek üzere işlenmesi ve üretilen çıktılarının analizi ve değerlendirilmesi

bakımından birbirinden farklı güçlükler ortaya çıkmakta ve buna bağlı olarak da farklı yöntemler geliştirilmektedir. Bu nedenle örneğin saatlik veriler için geliştirilen yöntemlerin aylık veriler için de kullanılabilir olup olmadığının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde araştırmacılar, geçmişte hiç olmadığı düzeyde yoğun veriyle karşı karşıya kalabilmektedir. Bu durum, verilerin işlenmesine yönelik sorunları artırabilmektedir. Ancak bu zorluk en temelde, verilerden ziyade onları üreten süreçlerin doğasındaki yüksek karmaşıklıktan ileri gelmektedir. Yapay sinir ağları gibi teknolojilerle bol miktardaki veriyle ve kabul edilebilir bir hata payıyla kestirimler yapılabilir, ancak “kara kutu” olarak nitelendirilen bu yöntemlerin açıklama yeteneği kazanabilmeleri için diğer başka modellerle eşlenik (coupled) şekilde kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Üretilen modelleme çerçevesi çoğunlukla hibrit (hybrid) olarak adlandırılmakta ve bir anlamda sorunun çözümüne ilişkin üçüncü bir alternatifi ifade etmektedir. Kısacası gerçek dünyaya ait bir kavramın doğasının anlaşılması, onun bir şekilde gerçek dünyayı yansıtan koşullara benzer ortamlarda modellenmesini, bunun için de eldeki tüm alternatif yöntemlerin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Günümüzde bilgisayar simülasyonları, araştırmacılara her türlü matematiksel, sezgisel veya istatistiksel modeli birleştirme olanağı sunabilen araçlar haline gelmiştir.

2.3.1. Veri analizi ve zaman serisi analizi

Su tüketimi veya su talebi, pek çok sosyo-ekonomik sürecin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle hane halkı yapısı ve kültürel faktörlerin etkisi nedeniyle gerek zamansal gerekse coğrafi bağlamda çok fazla değişkenlik gösteren su talebinin çözümlenmesi ve analizi de karmaşık bir süreç haline gelmektedir. Hem analiz sürecinin doğru biçimde yürütülmesi hem de üretilen çıktıların anlaşılması açısından açıklanmayı gerektiren birkaç husus bulunmaktadır. Zaman serisi analizinde temel olarak cevap aranan sorular şunlardır:

- Verilerin zamansal ölçekte artma veya azalma eğiliminde olduğu bir trend mevcut mudur?
- Mevsimler, üç aylık dönemler, aylar, haftanın günleri gibi takvimsel değişkenlerle ilgili olarak test edilebilecek düzenli olarak tekrar eden bir azalma ve artış modeli var mıdır?

- Aykırı değerler var mıdır? Varsa aykırı değerlerin etkisinin değerlendirildiği bir tedbir metodolojiye dahil edilmiş midir?
- Bilinen mevsimsellik faktörlerinden başka bir döngü veya dönemsellik mevcut mudur?
- Varyans sabit midir ya da verinin birbirinden farklı bölümleri farklı değişim aralıklarına mı sahiptir? Varsa varyanstaki değişimin belirgin bir sebebi var mıdır?

Bu tezde hem araştırma sorularının oluşturulması hem de çıktıların değerlendirilmesi açısından veri analizine ilişkin temel sorular ve yöntemlerin geniş bir uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yukarıdaki sorulara ilişkin cevaplar Yöntem bölümü altında (3.4. Veri Ön İşleme/ Eksik Veri Tamamlama) detaylı şekilde verilmiştir.

Takip eden bölümde bilimsel literatürde karmaşık uyumsal sistemler (complex adaptive systems) olarak ele alınan sosyo-ekolojik sistemlerin araştırılmasında temel teşkil eden sosyal simülasyon yöntemi ve bu yöntemin temel uygulama aracı olan etmen tabanlı modellemeye ilişkin hususlar açıklanmıştır.

2.3.2. Sosyal simülasyon ve etmen tabanlı modelleme

Günümüzde sosyo-ekolojik sistemler, bireylerin hayatta kalma ve benzeri öz başarımlar ölçütleri doğrultusunda kendi davranışlarını değiştirebildikleri “karmaşık uyumsal sistemler” olarak ele alınmaktadır (Jager ve Gotts, 2013). Sosyal simülasyonlar ise bireylerin (etmenlerin) kendi hedefleri doğrultusunda gerçekleştirdikleri münferit tercihleri sayesinde ortaya çıkan kümülatif etkilerin analiz edildiği sanal deneylerdir.

Sosyal simülasyonun bilimsel araştırma sahasına en önemli katkılarından biri, istatistik ve ilişkili tüm nicel araştırma yöntemlerinin avantajlarının sosyal araştırmalara yansıtılmasını sağlamasıdır. Etmen Tabanlı Modelleme ve Simülasyon (ABMS) bu araştırmalarda yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir (Macal ve North, 2015).

Etmen Tabanlı Modelleme (ABM) ile sosyo-ekolojik sistemler, bir dizi otonom etmenin karar verme süreçleri üzerinden analiz edilebilen dinamik sistemler olarak modellenmektedir. Bu sistemlerin herhangi bir zaman dilimindeki durumu, başlangıç koşullarına bağlı biçimde birbirinden çok farklı yönlerde gelişim gösterebilmektedir. Bu

sistemlerde her bir etmen (agent) kendi durumunu değerlendirerek önceden belirlenmiş kurallar çerçevesinde seçimler yapabilme özelliğine sahiptir.

Etmenlerin kendi aralarında ve çevreleriyle sürekli etkileşim halinde olması, en basit etmen tabanlı modelde dahi son derece kompleks davranışsal desenler üretebilmesini sağlamaktadır ve bu durum su kaynakları üzerindeki insan etkilerinin incelenmesinde son derece elverişli olanaklar sunmaktadır.

Etmen tabanlı modelleme; yapay zekâ, dağıtık hesaplama, paralel hesaplama, evrimsel hesaplama ve nesne tabanlı programlama gibi yaklaşımlardan türetilen bir yöntemdir. Bu modelleme yaklaşımında ızgara benzeri bir simülasyon ortamında her hücre komşuluğunda bulunan diğer hücrelerle ve tanımlanan tüm etmenler de hem çevreleri hem de diğer etmenlerle etkileşimde bulunmakta ve bu etkileşimlerin sonuçları sayısal hesaplamalar ile ifade edilmektedir. Bu bakımdan etmen tabanlı modeller indirgemeci ya da tümünden gelimci yaklaşımdan farklılık arz etmektedir.

Bu modeller bir amacı olan ve çevresiyle bu amacı gerçekleştirmeye dönük etkileşimlerde bulunan etmenlerin içsel bir rastsallık ve eş zamanlılık çerçevesinde gerçekleşen hareketlerine dayanmaktadır. Bu modelleme yaklaşımı, tüm bilimsel çalışma alanlarında uygulanabilir çözümler geliştirilmesine elverişli, ilgi çekici olanaklar sunmaktadır (Bonabeau, 2002).

Yaklaşımın basitliğine rağmen etmen tabanlı modeller son derece karmaşık sonuçlar üretilebilme potansiyeline sahiptir (Scott ve Koehler, 2014). Etmen tabanlı modellere ilişkin en kapsamlı tanımlamalardan biri, NetLogo (Wilensky, 1999) yazılımının geliştiricisi Uri Wilensky ve William Rand (2015) tarafından “NetLogo’ya Giriş” kitabında yer alan şu ifadelerdir:

“Etmen tabanlı modellemenin ana fikri, gerçek dünyadaki olayların büyük bölümünün etmenler, çevresel ortam ve bunlar arasındaki etkileşimler kullanılarak etkili biçimde modellenebileceğidir. Bir etmen, belirli özelliklere, bir amaca ve hareket tarzına sahip otonom bir birey olarak tanımlanabilir. Çevresel ortam ise etmenlerin etkileşimde bulunduğu geometrik, ağ temelli veya veri temelli ortamı ifade etmektedir. Etmenler çevreleriyle ve kendi aralarında son derece karmaşık etkileşimlerde bulunabilmektedir. Bu

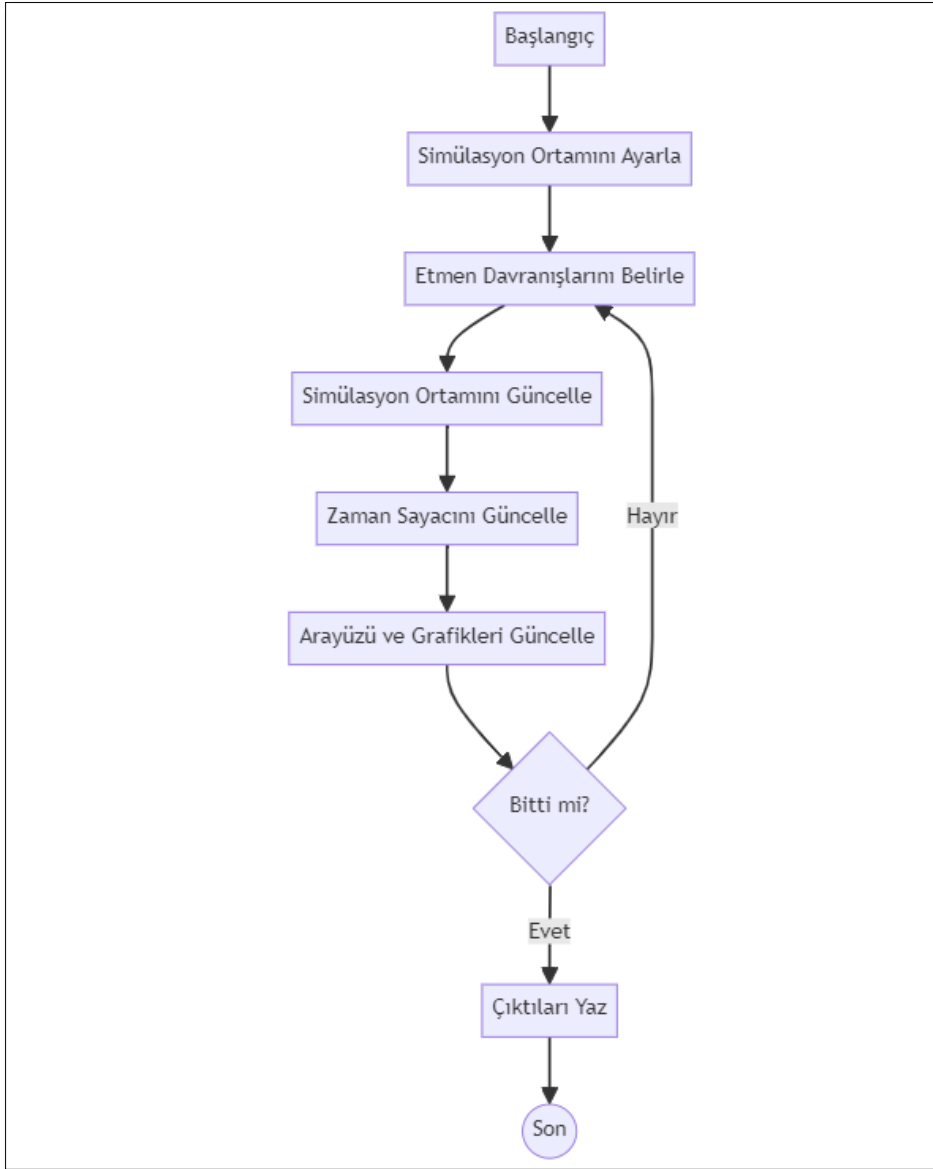
etkileşimlerin zamanla değişmesi de söz konusudur ve bu durum etmenin tıpkı gerçek hayattaki gibi spesifik bir durum karşısında belirgin bir tutum ve strateji sergilemesini de mümkün hale getirmektedir. Etkileşimlerin bir sonucu olarak, etmenler kendi durumlarını güncelleyebilmekte veya ilave aksiyonlar alabilmektedir.”

Matematiksel modellerde rastsallık modelin hata (error) terimiyle ifade edilmektedir ve modelin başarımı için bir gösterge durumundadır. Buna karşın rastsallık etmen tabanlı modellerin tasarımında temel bir unsurdur, rastsallık etmenlerin öngörülemez hareketlerinin ortaya çıkması ve üretilen simülasyonun daha gerçekçi olmasını sağlamaktadır. Simülasyonlar her bir denemede birbirinden farklı çıktılar üretebilmektedir. Bu sonuç, çoğunlukla yöntemin bir zayıflığı veya bir hata ile ilişkilendirilebilecek bir durum değildir. Bu durum çoğunlukla kaotik süreçlerin bir yansıması olarak ortaya çıkmaktadır. Simülasyon yazılımları, beklenmedik çıktılar üretebilme özellikleri nedeniyle birçok farklı alanda giderek daha çok kullanılan araçlar haline gelmiştir. Takip eden bölümde simülasyon yazılımlarının genel çalışma mantığı ve bir simülasyon modelleme sürecinin yürütülme aşamalarına ilişkin detaylar açıklanmıştır.

Simülasyon yazılımları

Sosyal simülasyon sürecinin temel uygulama yöntemi olan etmen tabanlı modelleme ile üretilen çıktıların açıklayıcı gücü sayesinde bu yöntemin kullanımı yaygınlaşmış ve birbirinden farklı araştırma kuruluşları veya üretici tarafından birçok araç geliştirilmiştir. Mevcut durumda ETM uygulaması için birçok bilgisayar programlama dili ve paket yazılımlar kullanılabilir. Bu nedenle literatürdeki uygulamaların da bu anlamda çeşitlendiği görülmektedir. NetLogo, AnyLogic, MASON, Repast Symphony, CORMAS, DynaMind ve Envision önde gelen paket yazılımlardır. Java, Python, web programlama dilleri, Julia ve C++ ise bu konuda kullanılan bilgisayar programlama dilleri arasında yer almaktadır.

Bir ETM simülasyonunda sürecin başlangıcında simülasyonun gerçekleşeceği evren (World) ve etmenler ile çevrenin başlangıç koşulları oluşturularak, etmenlerin önceden belirlenen koşullar çerçevesinde kararlar vererek belirli çıktıları üretmesi sağlanmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Simülasyon yazılımı algoritması

Bu şekilde, grafik arayüzden izlenebilen veya txt, csv gibi formatlardaki metin çıktılarına dönüştürülebilen bilgiler üretilmektedir. Etmen Tabanlı Modellerin üretilmesi;

- etmen davranışı ve çevresel koşulların oluşturulması,
- bunlar arasındaki etkileşimlerin belirlenmesi,
- üretilen modellerin çalıştırılarak, sistem davranışının simüle edilmesi,
- iterasyonlar sonucunda üretilen davranışsal desenlerin (patern) gözlemlenmesi,
- farklı etmen türlerine özgü karakteristik özelliklerin analiz edilmesi,
- spesifik bir etmen davranışının incelenmesi, kitlesel davranışsal karakteristiklerin analiz edilmesi gibi süreçleri kapsamaktadır.

Simülasyonun sonlanması, daha önceden belirlenmiş bir zamanlama (tik sayısı) veya belirli bir koşulun gerçekleşmesine bağlıdır. Bazı durumlarda, incelenen sistemlerin veya olguların kararlı bir yapıya ulaşmaması nedeniyle dışarıdan müdahale edilmediğinde sonsuz döngüde çalışmaya devam edebilen modeller üretilebilmektedir.

2.4. Kentsel Su Tüketiminin Tahmini

Su talebinin modellenmesi veya tüketimin tahmini, doğası gereği karmaşık bir süreçtir (Donkor vd., 2014; Hanif vd., 2013; House-Peters ve Chang, 2011). Konutlarda su talebi, insanlar ve kentsel doğal sistemler arasındaki hem çok ölçekli (örn. bireysel, evsel, bölgesel ve ulusal) hem de çapraz ölçekli (örn. mekansal ve zamansal) olarak ortaya çıkan ilişkilerin ve etkileşimlerin bir sonucudur (House-Peters ve Chang, 2011). Bu durum, su talebini etkileyen çok fazla sayıda faktörün olduğu yönünde bir varsayıma neden olmakta ve su tüketiminin modellenmesini de bazen olduğundan daha karmaşık bir süreç haline getirebilmektedir (Donkor vd., 2014).

Bu karmaşıklık, su talebini modellemek için kullanılacak faktörlerin seçimine yönelik çeşitli kriterlerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Toplumsal bağlamda, su tüketimini etkileyen unsurların değişim ölçeği, kişisel alışkanlıklar veya tutumlar gibi bireysel ölçekteki (mikro) değişkenlerden, nüfus artış hızı, sanayi gelişimi veya turizm gibi ulusal ölçekteki (makro) değişkenlere kadar uzanmaktadır. Bu bağlamda su talebinin farklı türleri ve çeşitli alt bileşenleri olduğunun göz önünde bulundurulması, bu konudaki karmaşıklık düzeyinin analiz edilebilir bir seviyeye indirgenmesi bakımından gereklidir.

2.4.1. Kentsel su talebinin türleri ve bileşenleri

Kentsel su talebi, bir yerleşim birimine bir içme suyu şebekesinden günlük, haftalık, aylık veya yıllık bazda temin edilen su miktarını ifade etmektedir. Talep, içme suyu temin sistemlerinin planlanması, tasarımı ve genişletilmesi açısından son derece önemli bir parametredir. Kentsel su talebi farklı düzeylerde ortaya çıkan çeşitli faktörlerin etkisiyle değişkenlik göstermektedir ve nüfus ve ticari/endüstriyel büyüme eğilimleri, hava olayları, fiyat değişiklikleri, teknolojik unsurlar gibi birçok faktöre duyarlıdır (Pillay, 2005). Kentsel su talebini farklı kullanıcı türleri veya grupları temelinde sınıflandırmak mümkündür. Bu

tezde kentsel su talebinin konutlar düzeyinde ortaya çıkan bileşenine ilişkin aylık su tüketimi verileri analiz edilmektedir.

2.4.2. Konut su kullanımı

Konutlardaki su tüketimi genellikle hane içi ve hane dışında gerçekleşen su kullanımından oluşmaktadır. Hane içi kullanım, yemek pişirme, bulaşık yıkama, banyo ve tuvalet kullanımı gibi evsel ve temel insani ihtiyaçların karşılanması ve bu amaçla kullanılan çamaşır makinası, bulaşık makinası, musluklar gibi cihazlardan gerçekleşen tüketimi ifade etmektedir. Hane dışında ise peyzaj sulaması, havuz kullanımı gibi tüketim alanları yer almaktadır. Bu tezde su tüketiminin konut dışında gerçekleşen bileşeni kapsam dışında bırakılmıştır.

Genel olarak tüm su talebi türleri için, spesifik olarak da konut su tüketiminin anlaşılması konusunda öncelikli olarak talep verisinin zamansal çözünürlüğü ve bununla ilişkili olarak üretilen tahminlerin projeksiyon ufku ile ilişkili hususların anlaşılması önem arz etmektedir. Bu nedenle takip eden bölümde kısa, orta ve uzun dönem projeksiyonlara ilişkin hususlar açıklanmıştır.

Uzun dönem projeksiyon

Kentsel su sistemlerinin planlama, tasarım ve işletme süreçlerinde 10 yıl ve üzerindeki projeksiyonlar, uzun dönem stratejilerin geliştirilmesi ve gerekli teknolojik, finansal ve teknik altyapının tesis edilerek ihtiyaç duyulan kaynakların ve yatırımların tahsis edilmesinde kullanılmaktadır.

Uzun dönem projeksiyonların üretilmesindeki temel zorluk, günümüzden giderek daha uzaktaki olayları tahmin etmenin zorlaşmasıdır. Temel değişkenlerin çoğuna ilişkin belirsizliklerin artması nedeniyle, tahmin süresi arttıkça tahmin hataları da artmaktadır. Ancak uzun dönem projeksiyonlar aşağıdaki nedenlerden dolayı kentsel su temin sisteminin sürdürülebilirliği konusunda kritik bir rol oynamaktadır:

- Gelecekteki genişleme için ihtiyaç duyulan finansal kaynak miktarının tespit edilebilmesi,

- İhtiyaç duyulan su kaynaklarının yanı sıra arıtma tesisleri, dağıtım şebekeleri gibi bileşenlerin projelendirilebilmesi,
- İşletme ve hizmet kapasitesinin planlanması.

Gelecekte yapılacak yatırımların ve maliyetlerin karşılanabilmesi açısından, kentsel su tüketimine yönelik uzun dönem tahminlerin tutturulması kritik bir öneme haizdir. Diğer taraftan, yeterli miktarda suyun temin edilememesi, arıtılamaması veya depolanamamasından kaynaklanan kesintiler de halk sağlığı açısından kabul edilebilir bir durum değildir.

Orta vadeli tahmin

Kentsel su tüketiminin yıllara sarî döngülerini yansıtan birkaç yıllık bölümü orta vade olarak ele alınmaktadır. 1 ila 10 yıl arasında değişen sürelerde tahmin yapılmasına genellikle aşağıdaki nedenlerle ihtiyaç duyulmaktadır:

- Dağıtım ve tedarik sistemlerinde iyileştirmelerin planlanması,
- Arıtma sistemlerindeki teknolojik yenileme ve iyileştirmelerin uygulanması,
- Su fiyatları ve teşvikler gibi idari süreçlerin gözden geçirilmesi ve revizyonu.

Kısa vadeli tahmin

Kısa vadeli tahmin dakikalık, saatlik, günlük, haftalık, aylık, mevsimsel, yıllık veya iki yıllık zamansal dilimlerde gerçekleşmesi muhtemel su tüketiminin tahminini ifade etmektedir. Bu aralıkta, tüketimi etkileyen unsurların tahmini daha kolay olduğundan, görece daha doğru tahminler geliştirilebilmektedir.

Literatürde kullanılan birçok su talebi tahmin modelinde, zaman serileri bir saatlik zaman dilimi kullanılarak incelenmektedir (Alvisi vd., 2007; Dos Santos ve Pereira Filho, 2014; Homwongs vd., 1994; Jowitt ve Chengchao, 1992; Shvartser vd., 1993). Bu araştırmalarda kullanılan zamansal ölçekler, 15 dakikalık zamansal aralıklardan (Alvisi vd., 2007; Bakker vd., 2013; Shvartser vd., 1993; Zhou vd., 2002) günlük/aylık zaman dilimlerine uzanan geniş bir yelpazede dağılım göstermektedir (Franklin ve Maidment, 1986; Maidment ve Parzen, 1984; Miaou, 1990; Smith, 1998). Kısa vadeli tahminlerin geliştirilmesine genellikle aşağıdaki amaçlarla ihtiyaç duyulmaktadır:

- Depolama ve dağıtım tesislerinin tasarımı,
- Su üretiminin ve pompalama rejimleri gibi işletimsel süreçlerin optimizasyonu,
- Rutin bakım işleri,
- Kuraklık gibi acil durumlara yönelik tedbirlerin alınması.

Literatürde her projeksiyon ufku için farklı zamansal çözünürlükteki verilerin kullanıldığı, bunların da çeşitli yöntemlerle analiz edildiği görülmektedir. Takip eden bölümde mevcut talep tahmin yöntemlerine ilişkin bilgiler verilmektedir.

2.5. Talep Tahmin Yöntemleri

Su tüketim talebinin tahmini, en temelde bir matematiksel analiz sürecidir. Maidment vd. (1984) tarafından yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konulan analizler, su tüketiminin tahmininde zaman serileri analizi konusundaki en temel araçlardan bazılarıdır (Maidment vd., 1985). Bu konudaki öncü nitelikteki çeşitli araştırmalarla ortaya konan matematiksel, sezgisel, kişi başı su tüketimi ve birim su tüketimi temelli kısa dönem kestirim yöntemlerinden faydalanmaktadır (Billings ve Jones, 1996; Froukh, 2001; Hartley ve Powell, 1991; Rahman ve Bhatnagar, 1988). Bu tez kapsamında kentsel su tüketiminde kullanılan kestirim yöntemleri aşağıda verilen başlıklar altında değerlendirilmiştir:

- 1) Kişi başı ve birim kullanım katsayısı yöntemleri,
- 2) Zaman serilerinin analizi ve ekstrapolasyon yöntemleri,
- 3) Regresyon yöntemleri,
- 4) Sezgisel tahmin modelleri,
- 5) Hanehalkı temelli su tüketimi ve son kullanıcı modelleri
- 6) Yapay Sinir Ağları,
- 7) Hibrit yöntemler.

2.5.1. Kişi başı ve birim kullanım katsayısı yöntemleri

Kentsel su tüketiminin tahmininde özellikle planlama süreçlerinde yaygın biçimde kullanılan görece basit bir yöntemdir. Yöntemin esası kişi başına su tüketiminin gelecekteki

su kullanımına ilişkin yeterli bir açıklama sağladığı varsayımıyla, su tüketiminin birim kullanımı temsil eden bir katsayı üzerinden tahminine dayanmaktadır.

Basitliğinin yanı sıra veri ihtiyacının da az olması bu yöntemin uzun yıllar boyunca yaygın biçimde kullanılmasını sağlamıştır. Bu yöntem temel bir varsayımdan hareketle kabaca bir öngörü sunmaktadır. Su tüketiminin bir birim su kullanım katsayısı üzerinden tahmini, konut su kullanımı, endüstriyel su kullanımı, ticari su kullanımı gibi alt su tüketimi kategorilerini de kapsayan geniş bir alandaki çalışmalara dayanmaktadır (Baumann vd., 1997).

Ancak bu yöntem her ne kadar planlama süreçlerinde kullanılabilir gibi görünen bir yöntem olsa da tahminlerin doğruluğu bakımından son derece yüzeysel bir yaklaşımdır.

2.5.2. Zaman serilerinin analizi ve ekstrapolasyon yöntemleri

Su talebi tahmininde zaman serisi analizi, zaman içinde su talebinin değişmesine katkıda bulunan çeşitli eğilimlerin (trend) istatistiksel olarak betimlenmesine dayanmaktadır. Genel olarak bir zaman serisi modeli, uzun vadeli bir trend bileşeni, bir döngüsel bileşen ve kısa vadeli bir varyans bileşeni içermektedir.

Zaman serileri için istatistiksel modeller, veriler arasındaki bağımlılığı dikkate alan Box ve Jenkins (1976) tarafından geliştirilmiştir. Bir zaman serisi, belirli bir değişkene ilişkin kronolojik bir gözlem dizisinden oluşmaktadır. Zaman serilerinin analizi verinin kendine özgü istatistiksel özelliklerinden hareketle yürütülen bir yöntemdir. Cryer (1986) zaman serisi analizinin amacının, gözlenen bir seriye yol açan stokastik mekanizmayı anlamak ve bu serinin gelecekteki olaylarını veya değerlerini tahmin etmek olduğunu ifade etmektedir.

Bu yöntem, düzenli aralıklarla gözlem yapılması ve bir zaman serisi oluşturularak, süreci etkileyen ayrık olayların kümelenmesine olanak sunmaktadır (Fleming, 1994). Kentsel su talebiyle ilgili literatürde, tahmin yöntemi olarak zaman serisi analizini kullanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Kentsel su tüketiminin tahminine yönelik çalışmalarda, 20. yüzyılın sonlarına doğru giderek artan şehirleşme dolayısıyla ortaya çıkan daha derinlemesine ve etkin planlama ihtiyacı nedeniyle, veri analizi temelli yaklaşımların hız kazandığı görülmektedir. Bu konuda öncü olarak nitelendirilebilecek çalışmalar arasında Maidment vd. (1984) tarafından regresyon ve

zaman serisi analizi, Teksas'taki altı şehirde aylık su talebini tahmin etmek için kullanılmıştır. Yine Maidment vd. (1985) tarafından, çok değişkenli zaman serisi analizi, günlük ve haftalık su talebi tahmini için kullanılmıştır (Franklin ve Maidment, 1986).

Zaman serisi (TS) modelleri, genel olarak tarihsel verilerin analizine dayanan yöntemler olarak tanımlanmaktadır. Özellikle gelir ve nüfus gibi kontrol parametrelerinin tüketime olan etkisindeki belirleyici rolünün tutarsız olduğu durumlarda, zaman serisi analizi kısa vadeli su talebi tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır (Qi ve Ni-Bin, 2011).

Zaman serisinin ayrıştırılması temel istatistiksel öğelerinin, yani seviye (level), eğilim (trend), mevsimsellik (seasonality) ve hata (error) gibi bileşenlerin belirlenmesine dayanan bir yöntemi ifade etmektedir. Tahmin sürecinin amaçlarından biri genellikle uygun bir model açıklaması elde edilmesi, çıktılarına ilişkin güven aralığının artırılması ve genel olarak daha iyi bilgilendirilmiş bir karar verme süreci sağlanmasıdır.

Zaman serisi analizinin su talebinin tahmininde kullanımına son 10 yıllık süreçte giderek daha fazla çalışmada rastlanmaktadır. Chen ve Boccelli (2014), orta ölçekli bir su tedarik sisteminin saatlik/çeyrek saatlik talepleri için bütünlük bir TS tahmin çerçevesi geliştirmişlerdir. Araştırmalarında kullanılan modellerin, sabit ve uyarlanabilir bir mevsimsel otoregresif model olarak, SCADA kullanılan idarelerde kullanıma uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Okeya vd. (2014), bir su dağıtım sistemindeki gerçek zamanlı su tüketim tahminini ve sistemin gerçek durumuna ilişkin daha iyi bilgiler üretmek üzere, 15 dakikalık aralıklarla su taleplerini tahmin edilmesine dayalı bir TS modeli kullanmışlardır. Araştırmanın temel katkısı, tahminin şekillendirilmesinde esas olmak üzere bir veri özümleme (asimilasyon) yöntemi kullanılmasıdır. Araştırmacılar TS tahminindeki belirsizlik kaynaklarını kontrol etmek için tasarlanmış doğrusal ikinci dereceden bir model ve bir topluluk (ensemble) Kalman filtresi olmak üzere iki veri asimilasyon (DA) yöntemi kullanmışlardır.

Arandia vd., (2016) hem çevrimiçi hem de çevrimdışı modlar için su talebini tahmin etmek için bir SARIMA modeliyle birleştirilmiş DA olarak bir Kalman filtresi kullanmıştır. Araştırmacılar çeşitli zaman çözünürlüklerinde (üç aylık, saatlik ve günlük) su taleplerine ilişkin tahminlerde bulunmuştur.

Fullerton vd. (2016), aylık su talebini simüle etmek için lineer transfer fonksiyonu üzerinden geliştirilmiş bir (ARIMA) zaman serisi modeli kullanmışlardır. Araştırmacılar modelin müşterilerin talebini tahmin etmede iyi performans gösterdiğini ancak tüketim artışını tahmin etmede başarısız olduğunu, modelin böyle bir sapmayı gidermek için düzenli güncellemelere ihtiyaç duyabileceğini göstermişlerdir.

Otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) modelleri, geleneksel TS analizi ve tahmininde yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Belirli parametreler eklenerek ARIMA modelleriyle ilişkilendirilen çeşitli varyasyonlar üretilmiştir. Birkaçından bahsetmek gerekirse, SARIMA, zaman serisinin durağan bir bileşenini dikkate almaktayken ARIMAX, dışsal ortak değişkenler eklemektedir. Su tüketiminin tahmini konusunda ARIMAX modelleri, iklimsel ve sosyal demografik faktörler gibi ortak değişkenleri kapsama dahil edebilmeleri nedeniyle önem arz etmektedir (Donkor vd., 2014).

Mevsimsel Otoregresif Modeller (SARIMA), bir değeri önceki verilerin ve rastgele hataların doğrusal bir fonksiyonu olarak tanımlayan ve döngüsel veya mevsimsel bir bileşen içeren ARIMA (Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama) genel adıyla bilinir. Mevsimsel olmayan ARIMA modelleri genellikle ARIMA (p, d, q) olarak adlandırılır ve burada p, d ve q negatif olmayan tam sayılardır. p, otoregresif modelin sırası (gecikme sayısı), d, farkın derecesi (verilerin geçmiş değerlerinin çıkarılma sayısı) ve q, hareketli ortalama modelinin sırasıdır.

ARIMA mevsimsel modelleri, ARIMA (P, D, Q) m olarak yazılır, burada m, mevsimsel dönemlerin sayısını ve büyük P, D, Q harfleri, benzer şekilde, otoregresyon, farklılaşma ve hareketli ortalama terimlerini ifade etmektedir. Mevsimsel bir ARIMA modelinde en temel yaklaşım, düzenli ve mevsimsel bağımlılığı ayrı ayrı modellemek ve daha sonra bu parçaları toplam veya çarpan şeklinde birleştiren modeli oluşturmaktır (Sardinha-Lourenço vd., 2018).

ARIMA'nın su talebi için kullanılması, günlük kentsel su tüketimi tahmini için ARIMA ve doğrusal olmayan otomatik regresif dışsal modeller öneren Banihabib ve Mousavi-Mirkalaei'nin (2019) çalışmalarında kilit noktaydı. Karamaziotis vd. (2020), ARIMA, üstel yumuşatma ve çok katmanlı algılayıcılar dahil olmak üzere çeşitli metodolojileri incelediler.

Ristow vd. (2021), Brezilya'nın Joinville şehrinde konut, ticari, endüstriyel ve kamu dahil olmak üzere dört tüketim kategorisinin yanı sıra toplam tüketimin aylık su talebini tahmin etmek için zaman serisine dayalı iki model geliştirmişlerdir. Kullanılan modellerden biri üstel yumuşatma durum uzayı modelleri (ETS), diğeri ise Box-Jenkins metodolojisi (ARIMA modelleri) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarının sonucu, mevsimsel ARIMA yönteminin (yani SARIMA), mesken kategorisi dışındaki kategorilerde su tüketimini tahmin etmek için daha iyi olduğunu ve aylık kentsel su tüketimi tahminlerine uygulanabileceğini göstermiştir. Araştırmada Akaike Bilgi Kriterinin en düşük değerine dayanılarak, hata değerlerinin normal dağılım göstermesi ve herhangi bir otokorelasyon göstermemesi temelinde karşılaştırılan modellerin başarımına karar verilmiştir. Otokorelasyonun kontrolü için otokorelasyon fonksiyonu (ACF) grafiği kullanılırken, kabul edilen anlamlılık düzeyi (α) %5 olarak alınmıştır.

2.5.3. Regresyon teknikleri

Regresyon teknikleri, birbiriyle sebep-sonuç ilişkisi olduğu düşünülen iki veya daha fazla parametre ile kurgulanan yöntemlerdendir. Su kullanımını etkileyen faktörlerin çeşitliliği düşünüldüğünde, regresyon analizi teknikleri bu faktörler arasındaki ilişkilerin araştırılması konusundaki önde gelen yöntemlerdendir. Bu teknik ile birden fazla bağımsız değişkenin su tüketimine etkisi analiz edilirken, doğrusal nedensellik ilişkisinin yanı sıra eğrisel, üstel, logaritmik değişim eğilimleri de test edilebilmektedir. Bununla birlikte yöntemin verideki uç noktaların yumuşatılması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Pillay, 2005).

Regresyon yönteminin su talebinin tahmininde kullanımına ilişkin örneklere 20. Yüzyılın son çeyreğine kadar uzanan bir zamansal perspektifte karşılaşılabilmektedir. Maidment ve Parzen (1984) Teksas'taki altı şehirde aylık su talebini tahmin etmek için regresyon ve zaman serisi analizi kombinasyonunu araştırmışlardır. Maidment vd. (1985), günlük kentsel su talebi tahmini için çok değişkenli zaman serisi analizini kullanırken, Franklin ve Maidment (1984) haftalık su talebi verilerini tahmin etmek için kademeli modelleme yaklaşımını kullanmışlardır. Jain vd. (2001) geçmiş su talebine ek olarak iki meteorolojik değişken (yağış ve maksimum hava sıcaklığı) kullanılarak kısa vadeli su talebi tahminleri için yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. Zhou vd. (2002) tarafından önerilen model ise günlük yağışı, günün maksimum sıcaklığını, son yağıştan bu yana geçen gün sayısını ve buharlaşmanın etkisini kullanmaktadır.

Kentsel su tüketiminin tahmininde çoklu regresyon ve zaman serileri olmak üzere istatistiksel yöntemlerle geliştirilmiş çok sayıda model bulunmaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, talebi tek bir girdi olarak kullanarak oldukça doğru tahminler üretmenin mümkün olduğunu göstermektedir (Msiza vd., 2008).

Birçok sınıflandırma ve regresyon görevinde, RF'lerin çok iyi sonuçlar üretebilen tahmin modelleri olduğu kanıtlanmıştır (Herrera vd., 2010). Su talebinin tahmininde SVR ve rastgele orman (RF) büyük başarı sağlayan iki yöntem olarak değerlendirilmektedir. RF, girdi uzayını ağaç benzeri bir alt küme hiyerarşisine yinelemeli bir şekilde bölen bir karar ağacı (DT) modelleri topluluğudur. Bu bölümlleme işlemi, bir alt küme sınıflandırması veya regresyonun gerçekleştiği ağacın sözde yapraklarını oluşturmaktadır. Bir RF, her biri bağımsız değişkenlerin rastgele seçilmesinden sonra hesaplanan birçok DT'den oluşan bir topluluk oluşturmaktadır.

Geleneksel regresyon analizleri normalde su talebi ile sosyoekonomik faktörler gibi bazı açıklayıcı değişkenler (yani bağımsız değişkenler) arasındaki ilişkinin istatistiksel tahminine dayalı olarak yürütülmektedir ve mevcut nedensellik ilişkilerinin gelecekte de devam edeceği varsayılmaktadır. Böyle bir analizi yaklaşımının uygulanabilmesi hem kısa hem de uzun vadeli analizler için uygun kalitede bir eğitim veri seti mevcudiyetinde uygulanabilir hale gelmektedir.

Uzun dönem su talebinin tahmini nüfus artışının eğilimi ile ilişkili görülürken, talepteki kısa vadeli değişkenliği ele almak için hava sıcaklığı ve yağış gibi iklimse değişkenler sürece dahil edilebilmektedir. Bazı doğrusal olmayan regresyon modelleri, konut ve konut dışı su talebi modellemesi için uygulanan ekonometrik analizin ayrılmaz bir parçası olarak çarpımsal terimlerin dahil edilmesiyle formüle edilmiştir. Ekonometrik analiz için ortalama su kullanım oranı, ayırık faktör tahmini, birim başına işlevsellik ve işlevsel nüfus modellerine vurgu yapan dört tip model formüle edilmektedir (Qi ve Ni-Bin, 2011).

Haque vd. (2017) bağımsız bileşen regresyonu (ICR) olarak isimlendirilen ve ilgilenilen değişkeni (bağımlı değişken) regresyon analizi için kullanılabilecek şekilde yeniden oluşturabilen bir analiz yöntemini, kentsel su talebi tahmini için kullanmışlardır. Araştırmacılar ICR'nin performansını temel bileşen regresyonu (PCR- ana bileşen) ve MLR

yöntemleriyle karşılaştırdılar. Sonuç olarak, ICR'nin PCR ve MLR'ye kıyasla en iyi performansa sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Diğer birçok tahmin yöntemi gibi, regresyon yönteminin performansı sıklıkla diğer tahmin yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Brentan vd. (2018) iklim değişkenleri arasındaki ilişkiyi araştırmak için RF'leri kullanarak dağıtım şebekesi modellemesi ve su talebi tahminine yönelik bir yaklaşım önermiştir. Maruyama ve Yamamoto (2019) da günlük su temin süreçlerinin iyileştirilmesi için MLR tabanlı modeller kullanmışlardır. Rasigaghihi vd. (2020), günlük kentsel su tüketimini tahmin etmek için regresyonu kullanmışlardır.

Regresyon modelleri gelecekteki talebi tahmin etmek için uygundur, fakat tahminlerin temel olarak tahmin gücü verinin kalitesiyle de bağlantılı biçimde bir değişim göstermektedir. Yani, regresyona dahil olan değişkenler arasındaki ilişkiler ve bunların bağımlı değişken üzerindeki etkisi verinin su tüketimini temsil gücünü etkilemektedir. Bu nedenle, regresyon yöntemlerinin su tüketiminin tahmininde kullanımının kısa vadeli talep tahmini için yaygın olduğu düşünülmektedir.

Bakker vd. (2014), bir transfer fonksiyonu-gürültü (TFN) modelini optimize etmek için uyarlanabilir bir sezgisel (heuristics) algoritma ile bir çoklu doğrusal regresyon (MLR) modeli üzerinde çalışmışlardır. Yazarlar bu yöntemleri, alt bölgelere ayrılmış (DMA) bir şebeke ortamında su talebinin tahmini için kullanmışlardır. Sonuçlar, günlük su talebini tahmin etmede birleşik sezgisel TFN modeli için MLR'den daha yüksek bir doğruluk seviyesini işaret etmektedir. Kullanılan modelin, kestirim gücünde bir kayıp yaşanmaksızın tahmin gücünü artırdığı değerlendirilmektedir.

2.5.4. Hane halkı temelli su tüketimi tahmini ve son kullanıcı modelleri

Hane halkı temelli yöntemler, tüketimin hesaplanmasında bireylerin davranışları ve su tüketen cihazların performansı gibi konuta ait içsel özelliklerin esas alındığı yöntemlerdir. Bu yöntemler literatürde son kullanıcı modelleri olarak da adlandırılmakta ve su tüketimiyle ilişkisi bu tezdeki etmen tabanlı modelleme yaklaşımına benzerlik arz etmektedir.

Son kullanıcı modelleri, tüketici davranışlarına ilişkin çeşitli detay bilgileri kullanmaktadır (Billings ve Jones, 1996). Bu modellerde, hane içerisindeki su tüketen cihazların envanteri ve hane halkının tipik davranışsal kalıpları gibi verilerden tahminler oluşturulmaktadır. Bu modellerin kullanımında, kapsamlı veri gereksinimleri ortaya çıkmakta ve büyük finansal yatırımlara ihtiyaç duyulabilmektedir.

Evsel su tüketiminin modellenmesindeki en önemli handikaplardan biri hane halkı demografisinin yanı sıra kültürel, coğrafi veya iklimsel pek çok sürecin etkisiyle su tüketiminde ortaya çıkan kaotik davranıştır. Literatürde hane halkı su tüketimindeki artışların tahmini ve modellemesine yönelik pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre hane halkı su tüketimindeki artış hane halkı büyüklüğü ile yakından ilişkilidir.

Literatürde yer alan çalışmalarda, evsel su tüketimindeki artışın, hanedeki insan sayısındaki artışla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Beal, 2011a; Beal vd., 2011b; Gato, 2006; Gato-Trinidad, 2011). Bununla birlikte bu artış hane halkı büyüklüğündeki artışla doğru orantılı olarak gerçekleşmemektedir (Bennett vd., 2012). Bunun en önemli nedeni yukarıda ifade edildiği üzere; hanedeki küçük çocuk veya emekli sayısı gibi hane halkı karakteristiklerine bağlı olarak değişkenlik gösteren su tüketim alışkanlıkları olduğu değerlendirilmektedir (Beal vd., 2014).

Kişi başı tüketim esasına göre değerlendirildiğinde hane halkı büyüklüğündeki birim artışın, ölçek ekonomisi nedeniyle su tüketimine azalış olarak yansıdığı değerlendirilmektedir (Arbues vd., 2003; Beal vd., 2011a).

Son kullanıcı modellerinde ortaya çıkan sapmalardan biri, kişi başı su tüketimi esasına dayalı varsayımlarda bireylerin yaş, gelir veya tüketim alışkanlıkları gibi bir dizi özelliğinin ihmal edilmesidir (Makki vd., 2015).

2.5.5. Sezgisel tahmin yöntemleri

Sezgisel tahmin modelleri, mevcut veriler üzerinden takvim gününe bağlı olarak önceden hesaplanmış su tüketimi ve benzeri faktörlerle ilişkili biçimde su tüketimini hesaplamaktadır (Bakker vd., 2013; Bakker vd., 2014). Modelin temel çalışma prensibi, model çalıştığı süre boyunca tüketim desenlerinin yeniden hesaplanmasıdır. Böylelikle örneğin 24 veya 48 saatlik bir kestirimde bulunmak üzere model kendisini, geçmiş verilere uyarlayarak bir tahminde bulunmaktadır. Bu durum, bu türden modellerin mevsimsel bir yapılandırmaya ihtiyaç duyulmaksızın yıl boyunca gerçekleşen su tüketimindeki değişimlerin tahmininde kullanışlı hale getirmektedir. Bu modeller haftalık su kullanım desenleriyle birlikte resmî tatiller gibi istisnai durumların da haftasonu gibi değerlendirilerek bu süreçteki tüketimin tahminine olanak sağlamaktadır (Bakker vd., 2013; Bakker vd., 2014).

Sezgisel tahmin yöntemleri de son yıllarda pek çok araştırmada kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Varahrami (2010), aylık su talebini tahmin etmek için bir GA ile ayarlanmış iki tür yapay sinir ağı geliştirmiştir. Wu ve Yan (2011), bir alt ölçüm bölgesindeki (DMA) günlük talep tahmini için ağaç tabanlı genetik programlama (TGP) ve genetik ifadelili programlama (GEP) dahil olmak üzere iki genetik programlama (GP) yaklaşımı uygulamışlardır. Nasser vd. (2011) GP ve genişletilmiş Kalman filtresinden (EKF) oluşan bir yöntem kullanarak aylık su talebini tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar GP kullanılarak formüle edilmiş bir tahmin modelinde gizli değişkenleri belirlemek için EKF'yi kullanmışlardır.

Bai vd. (2014) kentsel su talebini farklı ölçeklerde tahmin etmek için dalgacık dönüşümlerine dayalı bir model olan çok ölçekli ilgililik vektörü regresyonu (MSRVR) önermektedir. Önerilen modelin su talebini tahmin konusunda, özellikle regresyon analizi için uyarlanmış YSA modellerinin varyasyonlarından daha iyi performans gösterdiği ifade edilmektedir.

Romano ve Kapelan (2014) 24 saatlik su talebini tahmin etmek için evrimsel yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Bu algoritmaların kullanımındaki en temel avantajlar; muhtemel çözüm uzayının araştırmaya esas alınması, güçlü bir yöntemsel yaklaşım geliştirilmesi ve birden çok başarımlı hedefine ulaşılması gibi zor konularda esneklik sağlamasıdır (Bi vd., 2016).

Genetik ve sürü tabanlı algoritmalar gibi sezgisel veya evrimsel algoritmalar, çalışma yöntemleri bakımından doğal hayattaki organizmalar veya sistemlerin çalışma biçimini taklit eden dağıtık zekâ uygulamalarıdır. Bu tarz sistemlerin davranış biçimi, her bir bileşenin tek başına üretemeyeceği bilişsel zekâ düzeyine erişimi sağlamaktadır.

Shabani vd. (2018), kısa vadeli su talebi tahmini için GEP'i zaman serisi kümelemesi ile birleştiren iki aşamalı bir öğrenme sürecine dayalı bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşımda, su talebini modellemek için genetik ifadeli programlama ile günlük su talep modellerini organize etmek için zaman serisi kümelemesi kullanılmıştır. Sonuçlar, GEP'in denetimsiz öğrenme algoritmalarıyla birleştğinde yüksek doğruluk sağlayabildiğini işaret etmektedir.

Metasezgisel algoritmalar çözüm evreni içerisindeki deterministik olmayan optimuma yakın çözümlerin elde edilmesini mümkün hale getirmektedir (Oyebode vd., 2019). Metasezgisel algoritmalar, hiper parametrelerini ayarlamak için genellikle YSA veya SVM gibi diğer makine öğrenimi yöntemleriyle birlikte kullanılmaktadır (Ghalekhondabi vd., 2017).

2.5.6. Yapay sinir ağları

Yapay Sinir Ağları, insan beyninde var olduğuna inanılan ve büyük ölçüde paralel yerel bilgi işleme ve dağıtılmış veri depolama özelliklerinden yararlanan, matematiksel zekâ modelleridir (Zurada, 1992). YSA'lar, insan beyninin ve sinir sisteminin nasıl çalıştığından ilham almaktadır. Bu bağlamda YSA, bir katmandaki elemanların diğerinin elemanlarına tamamen bağlı olduğu bir dizi katman halinde düzenlenmiş yapay nöronların birbirine bağlı bir birleşimidir (Niknam vd., 2022).

YSA tekniği, birçok araştırmacı ve bilim adamı tarafından bir hesaplama aracı olarak büyük ilgi görmüştür (Jain vd., 2001). Jain ve Kumar (2007) ve Bougadis (2005), YSA'yı sırasıyla aylık ve haftalık su talebi tahmini için kullanarak, YSA modellerinin daha basit/daha geleneksel modellere kıyasla daha iyi performans gösterdiğini bulmuştur. Adamowski (2008), Adamowski vd. (2012), Caiado (2010) ve Tiwari vd. (2013) gibi araştırmacılar tarafından yürütülen diğer birkaç çalışmada, doğrusal regresyon modellerinin YSA gibi yeni geliştirilen modellerle performansı kıyaslanmaktadır. Bu çalışmalarda YSA modellerinin daha basit/geleneksel modellere kıyasla daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

YSA, bulanık mantık ve etmen tabanlı modeller gibi sayısal zekâ modelleri, karmaşık sistemleri simüle etmek için kullanılan matematiksel yöntemlerdir. YSA en az üç modelleme katmanından oluşmaktadır: girdi katmanı, çıktı katmanı ve girdileri ve çıktıları bir dizi düğüm aracılığıyla birbirine bağlayan, çıktı değerlerini tahmin etmek için girdi verilerini kullanan tamamen veri odaklı bir süreçtir. Geçmiş veriler, YSA çıkış değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırıldığı geçerli bir öğrenme algoritmasını eğitmek için kullanılır ve denetimli veya denetimsiz bir eğitim süreci altında model parametrelerini iyileştirmek için model hataları YSA boyunca geriye doğru yayılır (back propogation). Bu eğitim süreci, kabul edilebilir bir hata oranı yakalanana kadar yinelemeli şekilde devam eder. YSA ve diğer sayısal zekâ modelleri, su talebi tahmini için kullanılabilen yöntemlerdir (Qi ve Ni-Bin, 2011).

Yapay zekâ ile ilişkili kavramların başında Destek vektör makinesi (DVM) gelmektedir. Bu yöntem, yenilikçi bir yaklaşım olarak 90'lı yılların ortalarında, YSA ile ilişkili tek algılayıcı probleminin çözümü için, bir sınıflandırma yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. DVM sınıflandırma konusunda, çekirdek fonksiyonları sayesinde YSA (Shabani vd., 2017), SVR veya regresyon gibi yöntemler ile benzer düzeyde başarıyı sağlayarak genelleştirme gücü kazanmıştır. Bu çalışma şekli, doğrusal olmayan, karmaşık bir doğaya sahip problemlerin çözümünde görece daha kolay ve doğrusala yakın bir çözüm alanının oluşturulmasına olanak sunmaktadır (Ghalekhondabi vd., 2017).

SVR uygulamalarının su talebinin tahminindeki başarısına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Liu vd. (2013) bir dizi SVR modeli kullanarak günlük talep desenlerini ve bunlara etki eden faktörleri tespit etmeyi başarmışlardır. Herrera vd. (2014) her veri tipi için Kernel fonksiyonunun ayrı ayrı hesaplanarak tek bir çekirdek fonksiyonuna dönüştürüldüğü çoklu çekirdek regresyonunu çalışırken, Shabani vd. (2017) de aylık su talebini polinom çekirdek fonksiyonu kullanan DVM ile tahmin etmişlerdir. Araştırmalarda DVM yönteminin performansının, girdi değişkenlerinin farklı kombinasyonlarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Candelieri vd. (2014) ile Candelieri vd. (2015) tarafından yürütülen araştırmalarla da saatlik su talebinin tahmininde 2 aşamalı bir tahmin çerçevesi getirilmiştir.

YSA, kümeleme, sınıflandırma ve tahmin gibi birbirinden farklı veri analizi amaçları için kullanılabilen makine öğrenimi modelleridir. YSA'nın en önemli özelliği, girdi verilerinden

ve üretilen çıktı verilerinin doğruluğuna ilişkin hata fonksiyonları üzerinden öğrenme yeteneğidir. Genel tasarımlarındaki basitlik ve yüksek performans seviyesi, onları su talebinde en yaygın kullanılan tahmin yöntemlerinden biri haline getirmiştir (Niknam vd., 2022).

YSA'ların önemli bir dezavantajı, durağan olmayan verilerin işlenmesindeki zorluklardır. Adamowski vd. (2013) dalgacık analizinin, kentsel su talebindeki durağan olmayan durumu tespit etmek için yararlı bir yöntem olduğunu bulmuştur.

2.5.7. Hibrit yöntemler

Hibrit yöntemler, birbirinden farklı birden fazla yöntemin, dezavantajlarının azaltılması amacıyla birlikte kullanılmasını ifade etmektedir. Su tüketiminin tahmini ve modellemesi konusunda ortaya konulan pek çok hibrit model bulunmaktadır. Özellikle yapay sinir ağları, yüksek tahmin doğruluğu gibi bir avantaja ve sürecin dış faktörlerle ilişkisini açıklayamama gibi bir avantaja sahip olması nedeniyle sıklıkla diğer yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır.

Ghiassi vd. (2008) DAN2 olarak isimlendirdikleri yapay sinir ağları (YSA) modelini saatlik, günlük, haftalık ve aylık su tüketimlerinin tahmininde sıcaklık parametresiyle birlikte kullanmışlar ve DAN2 modelinin atmosferik verilere (sıcaklık) ihtiyaç duyulmayacak biçimde yüksek doğrulukta sonuçlar üretebildiğini göstermişlerdir. Herrera vd. (2010) tarafından üretilen YSA modeli günlük sıcaklık, rüzgâr hızı, atmosferik basınç ve yağış verileriyle eşlenik biçimde çalışmaktadır.

Babel ve Shinde (2011) Bangkok (Tayland) şehrinde günlük ve aylık su talebi tahmini için YSA girdileri olarak hava durumu değişkenlerinin etkisini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar günlük tahminlerde, modellerine yağış, ortalama sıcaklık ve bağıl nem gibi iklimsel parametreleri dahil ettiklerinde tahmin doğruluğunda önemli bir fark oluşmadığını tespit etmişlerdir. Tabesh ve Dini (2009) çalışmalarında en iyi sonuçların, girdi olarak sadece geçmiş su talebi değişkenlerini dikkate alan YSA modelleri ve nöral-bulanık yaklaşımlarla elde edildiğini raporlamışlardır.

Hidrolojik tahmin literatüründe topluluk olasılıklı tahminler sağlamak için çok yakın zamanda önerilen hibrit bir yaklaşım, önyükleme tabanlı YSA (BANN) yöntemidir (Tiwari

vd., 2010a; Tiwari vd., 2011). Önyükleme yöntemi, rastsallığı taklit ederek belirsizliğin azaltılmasına izin vermektedir (Efron, 1979) .Genel olarak BANN yöntemi, uzun vadeli akış, (Sharma ve Tiwari, 2009) akış ve taşkın tahminleri (Han vd., 2007) gibi hidrolojik tahmin uygulamalarında kullanıldığında normal YSA yaklaşımlarından daha iyi sonuçlar sağlamaktadır (Tiwari vd., 2010b).

Adamowski ve Karapataki (2010) YSA modellerinin haftalık en yüksek su talebi tahminleri için çoklu doğrusal regresyon modellerinden daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Nasseri vd. (2011) Tahran'da aylık su talebi tahmini için genişletilmiş Kalman filtresini genetik programlama ile birleştiren hibrit bir model geliştirmişlerdir.

Campisi-Pinto vd. (2012) dalgacık gürültüsü giderme ile birleştirilmiş YSA'ları kullanarak bir ila altı aylık tedarik süreleri için talep tahminleri üretirken uygun bir dalgacık dönüşümü ve ayrışma seviyelerinin seçilmesini kullanarak veri ön işlemenin önemini göstermişlerdir. Mohammed ve Ibrahim (2012) Amerika Birleşik Devletleri'nin Tampa şehrinde günlük ve aylık belediye su talebi tahmini için dalgacık tabanlı YSA (WANN) hibrit modelleri geliştirerek hem günlük hem de aylık tahminleri için doğru tahminler üretmişlerdir.

Adamowski vd. (2013) kentsel su talebinin zamansal modelindeki değişiklikleri ve bunun potansiyel meteorolojik etmenlerini belirlemek için sürekli dalgacık dönüşümünün kullanımını araştırırken, düşük yağışlı bölgelerde yaz aylarında kentsel su talebi ile yağış arasında ters bir ilişki olduğunu bulmuştur.

WANN'ler de dahil olmak üzere YSA'ların, su talebi tahmini için çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve otoregresif bütünleşmiş hareketli ortalama (ARIMA) gibi geleneksel modellerden daha doğru sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte topluluk (ensemble) tahmin yöntemleri, kentsel su talebi tahmin literatüründe detayları henüz belirgin olmayan ve yeni yeni kendini gösteren bir yaklaşımdır. Topluluk tahmin yöntemleri, kentsel su talebi tahminiyle ilişkili bir belirsizlik sağlayarak karar vermeye yardımcı olmaktadır (Donkor vd., 2014).

WANN modelleri bugüne kadar bölgesel kuraklık tahmini (Kim ve Valdes, 2003) yağış-akış tahmini ve nehir akışı tahmini (Kamruzzaman vd., 2013; Nayak vd., 2013; Tiwari ve Adamowski, 2013) aylık yeraltı suyu seviyesi tahmini (Adamowski ve Chan, 2011) ve kısa vadeli ve uzun vadeli kentsel su talebi tahmini (Adamowski vd., 2012; Huang vd., 2013;

Odan ve Reis, 2012) araştırmalarda yoğun biçimde ele alınmıştır. Kentsel su talebi tahmin uygulamalarında WANN yönteminin daha da geliştirilmesi beklenmektedir.

Antunes vd. (2018) ve Pesantez vd. (2020) diğeryntemlerle birleştirilmiş RF tabanlı bir teknik geliştirerek, geliştirdikleri bu hibrit bir tekniğinyksek düzeyde verimlilik ve doğruluk sağladığını raporlamışlardır. Vijai ve Sivakumar (2018) da YSA yönteminin basit RF ve diğeryntemler de dahil olmak üzere diğeryntemlerden daha iyi bir performans sergilediğini ifade etmektedirler.

Hibrit yöntemin diğeryntemleri, Bata vd. (2020) tarafından önerilen ve kendi kendini organize eden haritalar (SOM) ve bir regresyon ağacından (RT) oluşan örnekleridir. Bu modelde, su tüketimi verilerini kümeler halinde gruplandırmak için SOM yöntemi kullanılmıştır ve RT yöntemi bu grupları dikkate alarak su talebini tahmin etmektedir. SOM kullanımından elde edilen çıktılar, bağımsız RT ve SARIMA modellerinin performansını önemli ölçüde iyileştirmektedir.

Shirkoohi vd. (2021) kısa dönem kentsel su talebi tahmini için Quebec eyaletinin (Kanada) iki şhrindeki su tüketiminin tahmininde kullanılan hibrit bir yöntem önermişlerdir. Araştırmacılar YSA modelinin hiper-parametrelerinin optimizasyonu için Genetik algoritmayı (GA) kullandılar ve bu modelin performansını ARIMA ve FAF (tamamen uyarlanabilir tahmin) modeli olarak adlandırılan bir modelle karşılaştırdılar. Elde edilen sonuçlara göre, YSA modelinin hiper-parametrelerinin Genetik algoritma ile optimizasyonunun tahminin doğruluğunu artırabileceğı ifade edilmektedir.

Pandey vd. (2021) saatlik ve aylık su taleplerini tahmin etmek için iki hibrit model geliştirdiler. İlk model, EEMD (topluluk ampirik mod ayrıştırma) ve DPSF (fark örüntü dizisi tahmin) yöntemlerini birleştirirken ikincisi, EEMD, DPSF ve ARIMA kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu iki modelin performansını değerlendirmek için güneydoğu İşpanya'daki bir şhrin saatlik su tüketimi ve Hindistan'ın Nagpur kentinin aylık su tüketimini içeren iki veri seti kullanılmıştır. Bu iki yöntemin sonuçları ise PSF, ARIMA, DPSF ve ANN modelleri dahil olmak üzere bir dizi mevcut modelden elde edilen tahminlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, tahmin doğruluğu açısından EEMD-DPSF yönteminin diğeryntemlerden daha iyi performans sergilediğini göstermiştir.

2.5.8. Kentsel su tüketiminin tahmininde etmen tabanlı modelleme

Geçtiğimiz on yıllarda, evsel su kullanımının tahminine yönelik çok çeşitli metodolojiler geliştirilmiştir, ancak tüm yöntemlere ilişkin belirli kısıtlamalar bulunmaktadır. Mevcut yöntemlerin çoğunun açıklayıcı güçleri genellikle sınırlıdır çünkü nedensellikten ziyade korelasyona dayalıdır ve bu nedenle evsel su talebini oluşturan nedensel ilişkileri dikkate alınmamaktadır (Galán vd., 2009).

Bu tez çalışmasının bir adımı olarak, Web Of Science ve Science Direct veri tabanlarınca sunulan literatürde bulunan ve su kaynakları yönetiminde Etmen Tabanlı Modelleme (ETM) uygulamalarının geliştirildiği bilimsel çalışmaların bir kronolojisi oluşturulmuştur (Aybuğa ve Yücel Işıldar, 2022). Araştırmada kullanılan yöntem, sistematik derleme yaklaşımının araştırma konusunun gereklilikleri doğrultusunda uyarlanmış bir versiyonudur. Yayınlar, fen bilimleri ve sosyal bilimleri kapsayan geniş bir bilimsel literatürden derlenmiştir.

Literatürde 1999 yılından günümüze hemen hemen her yıl su kaynaklarının yönetiminde ETM yaklaşımının araştırıldığı dergi makaleleri, konferans bildirileri ve kitap bölümleri ile karşılaşılabilir. Ancak 2012 yılından itibaren yayınların sayısı ve çeşitliliği artmıştır. 2018 ve 2019 yılları ise ilgili yayınlara yönelik en yoğun dönemi teşkil etmektedir (Çizelge 2.1).

Konunun tarihsel gelişimine paralel olarak, yayınların başlangıçta su kaynakları yönetiminde ETM kullanımına yönelik perspektif görüş bildiren makalelerden ibaretken, uygulamayı içeren çalışmaların 2010'lu yıllardan itibaren arttığı gözlemlenmiştir.

Mevcut durum, saha çalışmalarıyla birlikte sistem yaklaşımı esaslı disiplinler arası araştırmaların arttığını göstermektedir. Örneğin lojistik, su temini ve enerji dağıtım sistemleri gibi kritik altyapıların birbirine bağımlılığı güncel araştırma konuları arasındadır. Etmen tabanlı modellemeyle ilişkili en popüler konulardan birinin de bu tez çalışmasının da konusu olarak belirlenen su talebinin tahminine ilişkin araştırmalar olduğu anlaşılmaktadır (bkz; Çizelge 2.1).

Diğer önemli araştırma konuları arasında politika analizi, tarımsal sulama yönetimi, çatışma yönetimi, yeraltı suyu yönetimi, altyapı yönetimi, su kaynakları yönetimi gibi başlıkların

öne çıktığı görülmektedir. Ancak bu tez çalışmasının konusu doğrultusunda özellikle talep tahmini, yönetimi ve modellenmesi konusundaki araştırmalara ilişkin bilgiler burada paylaşılacaktır.

Çizelge 2.1. Literatürde Etmen Tabanlı Modelleme ile İlişkili Araştırmalar
(Aybuğa ve Yücel Işıldar, 2022).

Su ile ilişkili terimler	Makale Sayısı	İlişkili Diğer Terimler
Agricultural management	6	Agricultural economics, agricultural water management, agriculture
Conflict management	5	Conflict resolution
<u>Demand management</u>	13	<u>Domestic water demand, Dynamic demand, Demand tree analysis, Water demand forecasting, Residential water demand, Water demand strategies, Water demand system</u>
Groundwater management	10	Groundwater
Irrigation management	12	Agricultural irrigation, Irrigation system viability, Irrigation
Policy analysis	6	Policy assessment, Policy check, Water management policies, Sustainability policy
Public health and sanitation	3	Water infrastructure safety, Contamination, Epidemics, Public health effects, Water sanitation
Public participation	2	Stakeholder engagement, Negotiation
Reservoir management	2	-
River basin management	2	-
Stakeholder behavior	6	Social learning, Participatory modeling, Participatory ABM, Role-playing games, Theory of planned behavior, Game theory
Stormwater management	1	-
Supply management	9	Water supply system, Urban water supply, Water distribution system, Water distribution system management,
Urban water management	8	Urban water resources management
Wastewater management	2	-
Water allocation	5	Water allocation optimisation
Water infrastructure management	3	Coupled human-nature systems, Critical infrastructures, Water infrastructure planning, Interdependencies of critical infrastructures
Water quality management	8	Eutrophication, Risk management, Water quality, Water quality trading
Water-related innovation	3	Technology diffusion, Decentralized water technologies, Innovation adoption, Rainwater harvesting
Water resources management	16	Collaborative water management, Domestic water management, Water resources, Water resource management, Water governance
Water reuse	1	-
Water rights	1	-
Water scarcity	2	Water availability
Water security	7	-
Water trading	6	-
Watershed management	6	Wildlife support, Natural systems restoration

2000’li yılların başlarından itibaren gelişen süreçte, su talebine yönelik araştırmalarda Etmen Tabanlı Modelleme yaklaşımının kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Tillmann

vd., (1999) su temini sistemlerinin aktörleri ile doğal çevre arasındaki etkileşimlerin etkisini araştırmak üzere bir etmen tabanlı simülasyondan faydalanmışlardır.

Barthel vd. (2005) ETM metodolojisini kullanarak, iklim değişikliğinin etkisini araştırmak için yukarı Tuna nehri havzasında su tedarik modelini oluşturmuşlardır. GLOWA-Danube Projesi kapsamında yürütülen araştırmanın temel amacı, DANUBIA adlı tam entegre bir karar destek aracı geliştirmektir.

Galán vd. (2009) İspanya'nın Valladolid metropol bölgesi için bir vaka çalışması yürüterek, ETM simülasyonunun metropol alanlarda evsel su yönetimi sorunlarıyla ilgili çözümler geliştirmek için kullanışlı bir yöntem olduğunu göstermişlerdir. Araştırmacılar “Sosyal modelleri, kentsel dinamik modelleri, su tüketimi ve teknolojik fikir yayılımını” birleştirerek bunları coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ile ilişkilendirmişlerdir.

Yuan vd. (2014) Pekin'deki evsel su talebini tahmin etmek için "evsel su talebi tahmin modeli" (HWDP) adlı bir ETM geliştirmişlerdir. Model, “hükümet” ve “ev” etmenleri olarak iki etmen rolünü bünyesinde barındırmaktadır. Hükümet temsilcisi, hanehalkı temsilcisinin su tüketimini optimize etmesini sağlamak için ekonomik ve propaganda araçları kullanmaktadır. Yazarlar, araştırmalarının sonuçlarına dayanarak su yönetimi için politika önerilerinde bulunmaktadır.

Kanta vd. (2015) operasyonel politikaları ve kaynak planlamasını etkileyen su tedarik sisteminden geri çekilmeyi etkilemek için tüketimlerini değiştiren tüketici temsilcilerini simüle etmek için bir CAS çerçevesi geliştirmişlerdir. Çerçeve, Teksas, Arlington'daki bir vaka çalışmasında gösterilen "evrimsel hesaplama dayalı çok amaçlı metodoloji" ile birleştirilmiştir.

Ponte vd. (2015) aracı tabanlı bir yaklaşımla su talebi tahminine yapay zekayı dahil eden bir tahmin sistemi geliştirmişlerdir. Yazarlar, uzun vadeli tahminlerden ziyade “saatlik tahminlerin sürekli kullanılabilirliği” gerekliliğinden yola çıkarak, tahmin sistemlerini “Box-Jenkins, Holt-Winters, Çok Katmanlı Perceptron Ağları ve Radyal Bazlı Fonksiyon Ağları” gibi tahmin yöntemlerini esas almışlardır”.

Al-Amin vd. (2016) değişen su talepleri ve sınırlı yeraltı suyu kaynakları arasındaki etkileşimleri analiz etmek için bir ABM çerçevesi sunmuşlardır. Etmenler, iç/dış su kullanım ve su kullanımı azaltma özelliklerine sahip hanelerden oluşmaktadır. Politika yapıcılar, su kullanımı kısıtlamalarını zorunlu kılan veya teşvik eden yönetim kurumlarını temsil etmektedir. Yönetim stratejileri “yeraltı suyu seviyeleri”, “güvenli verim” ve “iklim değişkenleri”ne göre test edilmiştir. Çerçeve, Arizona'daki Verde Nehri Havzasındaki belediyelere uygulanmıştır.

Athanasiadis vd. (2005) su fiyatlandırma politikalarını değerlendirmede politika yapıcılarını desteklemek için hibrit bir model olarak DAWN'ı ele almaktadırlar. DAWN, konut su taleptedarik zincirini simüle etmek için geleneksel ekonometrik modelleri "etmen tabanlı sosyal model" ile birleştirerek farklı politika senaryolarının değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Koutiva ve Makropoulos (2016a) bir sosyal simölasyon modelinin ve bir kentsel su yönetimi aracının entegre edildiği bir metodoloji sunmaktadırlar. Araştırmada su talebi yönetimi önlemlerine yanıt olarak evsel su kullanıcılarının davranışlarını simüle etmek için bir ABM geliştirilmiştir.

Koutiva ve Makropoulos (2016b) ETM'yi uygulayarak hane halkının su tasarrufu konusundaki tutumlarını incelemişlerdir. Bir vaka çalışması olarak araştırmacılar, modelin sosyal yapıyı ve sosyal etkileri temsil etme yeteneğini test etmek için Yunanistan'ın Atina kentinde 1988'den 1994'e kadar olan kuraklık dönemine ait tarihsel verileri kullanmışlardır.

Darbandsari vd. (2017) konut su kullanıcılarının özelliklerini ve etkileşimlerini simüle etmek için bir ETM çerçevesi üretmişlerdir. Yazarlar, çerçeveyi, evsel su kullanıcılarının hidrolojik koşullar hakkındaki bilinç düzeyi, su fiyatlandırması, reklam politikaları, sosyal etkileşimler ve iletişim gibi değişkenlere tepkilerini değerlendirmek için kullanılabilecek bir karar verme aracı olarak önermişlerdir.

Al-Amin vd. (2018) su yöneticileri ve tüketiciler arasındaki etkileşimleri ve paylaşılan yeraltı suyu kaynakları üzerindeki çevresel etkileri analiz etmek için bir ETM çerçevesiyle bir yeraltı suyu modelini birleştirmişlerdir. Çerçeve, su temini sistemindeki iyileştirmeler ile

havza düzeyindeki su tablası değişiklikleri arasındaki etkileşimleri araştırmak için bir yeraltı suyu akiferine erişimi paylaşan Verde Nehri Havzası Belediyelerine uygulanmıştır.

Xiao vd. (2018) bir nehir havzasında su talebi yönetimi (WDM) için su kullanıcılarının davranışlarını değerlendirmek üzere bir ETM yaklaşımı önermektedir. Bu modelde araçlar, bir ilk tahsis şemasına dayalı olarak daha iyi bir ekonomik getiri elde etmek için daha fazla su tasarrufu yapmak veya daha fazla su tüketmek için stratejiler kullanmaktadır.

Huber vd. (2019) ETM tabanlı bir simülasyon aracı olan Aqua.MORE'u havza ölçeğinde insan-su sistemlerinin anlaşılmasını, yorumlanmasını ve senaryo geliştirilmesini destekleyebilecek bir havza yönetimi aracı olarak sunmaktadırlar.

Koutiva ve Makropoulos (2019) tüketicilerin su talebi davranışını ve talep yönetimi stratejileri ile kuraklık koşullarının bunu nasıl etkilediğini simüle etmek için Kentsel Su Ajanlarının Davranışı (UWAB) adlı bir ETM aracı kullanmışlardır. UWAB modeli su talebi yönetimi stratejilerinin etkisini araştırmak için Yunanistan'ın Atina kentinde uygulanmıştır.

Perello-Moragues vd. (2021) kentsel alanlarda evsel su kullanımına ilişkin yapısal ve sosyo-bilişsel faktörleri ve geleneksel su koruma önlemlerini araştırmak için ETM kullanmışlardır. Araştırmacılar, Barselona kentine ait verileri kullanarak, makul demografik ve kültürel eğilimleri içeren üç farklı senaryoyu değerlendirmişlerdir.

Wang vd. (2021) evsel su kullanımını tahmin etmek için iki etmen grubuna sahip bir ETM geliştirmişlerdir. Bunlardan devlet yetkilisi gelir artış oranını belirleyip, su fiyatlarını ayarlayarak, su tasarruflu cihazları teşvik ederken tüketiciler de su tüketmektedir. Modelde kentleşme ve iklim değişikliğinin su kullanımı üzerindeki etkisini yakalamak için, konut birimlerinin kullanım işlevi, ekonomik koşullara bağlı taban suyu kullanımı ve iklim koşullarına duyarlı mevsimsel su kullanımı olarak ikiye ayrılmaktadır.

Noori vd. (2021) Tajan havzasında su tahsisini optimize etmek için Genetik Algoritma (GA), işbirlikçi oyun teorisi ve ETM dahil olmak üzere üç farklı yaklaşım kullanmışlardır. Araştırmacılar, önerilen ETM'nin "talep yönetimi ve optimum su tahsisi için hidrolojik-çevresel bir insan ilişkisi yaratabilecek paydaş faydasını hesaplamak ve etkileşimlerini simüle etmek için yeni bir denklem" olduğunu öne sürmüşlerdir.

Huber vd. (2021) İtalyan Alpleri'ndeki bir örnek çalışma alanına havza ölçeği ve günlük zamansal çözünürlük için tasarlanmış su temini ve talep modeli Aqua.MORE'u uygulamışlardır.

2.5.9. Model validasyonu ve hata göstergeleri

Su tüketiminin modellenmesi ve tahmininde, veriler ve kullanılan yöntemler kadar önemli bir diğer unsur da modellerin validasyonu için kullanılan hata göstergeleridir. Hata göstergeleri, bir modelin gerçek değerleri üretmedeki başarısını göstermektedir. Bütün kestirim yöntemlerinin başarısı tahmin değeri ile gerçek değer arasındaki fark olan tahmin hata oranı üzerinden hesaplanmaktadır. Hata indikatörleri, tahmin yönteminin doğrulanmasında ve seçiminde kilit bir rol oynamaktadır.

Literatürde sıklıkla kullanılan doğrulama indekslerini özetlemek gerekirse, en yoğun şekilde kullanılan hata ölçütlerinin, ortalama hatanın karesi (RMSE), belirleme katsayısı (R^2), ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE), ortalama mutlak hata (MAE) ve Nash-Sutcliffe ve verimlilik (NSE) endeksleri olduğu görülmektedir.

Bu hata ölçütlerinin hesaplama yöntemleri olduğu kadar, bu hesaplama yöntemlerine bağlı olarak araştırmacıya sundukları bilginin de türü ve yönü değişiklik göstermektedir. Örneğin RMSE ne kadar düşükse, modelin gözlenen verilere uyumu o kadar iyidir. RMSE'nin ölçeğe bağlı olduğunu ve prensipte sadece aynı veri setini kullanan modelleri karşılaştırmak için uygun olduğu unutulmamalıdır. Diğer taraftan R^2 , 0 ile 1 arasında boyutsuz bir sayıdır ve tahmin modeli tarafından açıklanan gözlemlenen değişkenliğin oranıdır. Bu nedenle, R^2 1'e ne kadar yakınsa, model performansı o kadar iyidir.

MAPE, hatayı yine boyutsuz bir ölçü olan oranlar veya yüzdeler cinsinden ele alır. MAPE değeri ne kadar düşükse, tahmin o kadar iyi olur. MAE kriteri, RMSE'ye benzer, ancak mutlak değeri dikkate alır. Bu nedenle MAE, değerlerinin karesi alınmadığından toplamadaki bireysel hatalara karşı RMSE'den daha toleranslı olacaktır.

NSE, ortalamaya göre modeli kullanmanın kazancını temsil etmektedir. $NSE = 1$, mükemmel uyum durumunu, $NSE = 0$ ise modelin tarihsel zaman serisinin ortalamasına benzer bir performansa sahip olduğunu işaret etmektedir (Niknam vd., 2022).

2.6. Su Talebinin Tahmini Konusunda Türkiye’de Gerçekleştirilen Çalışmalar

Su talebinin tahmini konusunda Türkiye’de yürütülen çalışmalar birbirinden farklı zamansal çözünürlükteki veriler üzerinden ve otogregresif hareketli ortalama (ARIMA), çoklu lineer regresyon (MLR) ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), yapay sinir ağları (ANN), kaskad korelasyon sinir ağı (CCNN), genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN), ileri besleme sinir ağları (FFNN), radyal temel sinir ağları (RBNN) ve destek vektör makinesi (SVM) gibi yapay sinir ağları ve zaman serisi analizi temelli hibrit yöntemlerden faydalandığı görülmektedir.

Altunkaynak vd. (2005), zaman serisi analizinde Markov ve ARIMA modelleri kullanarak gelecek aylık su tüketimi tahmininde bulanık mantık yaklaşımını esas alarak geliştirdikleri ve durağanlık ve ergodisite varsayımlarına ihtiyaç duyulmayan yöntemlerinde tüketimin %10 hata ile tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Yurdusev ve Fırat (2009), İzmir verileri için su tüketimi modellemesinde sosyo-ekonomik ve iklimsel faktörleri dikkate alan ANFIS yöntemini kullanarak, modelin su tüketimi modellemesinde başarıyla kullanılabildiğini ifade etmişlerdir.

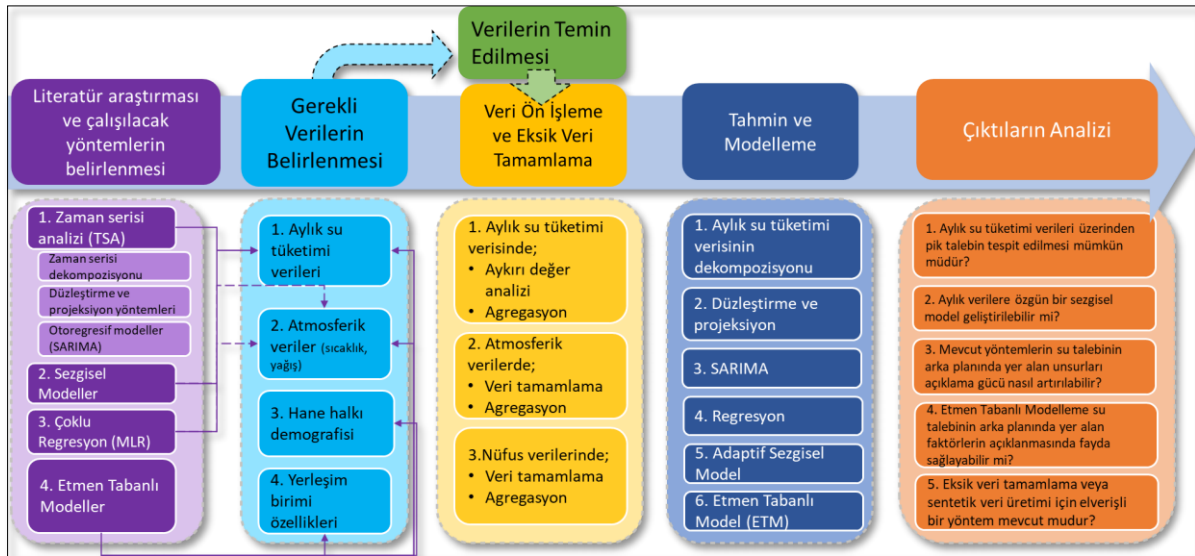
Fırat vd. (2010), çeşitli ANN teknikleri kullanarak, modellerin performansını karşılaştırmışlar ve CCNN modelinin daha düşük NRMSE değerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Yaşar vd. (2012) tarafından Adana ili su tüketim verilerine uyarladıkları doğrusal olmayan regresyon modeli için en iyi bağımsız değişkenlerin seçimini konu alan araştırmalarında, kademeli regresyon yönteminin NLR modeli için en iyi bağımsız değişkenleri seçmede başarılı olduğunu tespit etmişlerdir.

Yalçıntaş vd. (2015) ARIMA yöntemini kullandıkları araştırmalarında İstanbul için konut suyu talebinin toplam su kullanımının % 80’ini oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Altunkaynak ve Assefa (2017), ANN ve dalgacık dönüşüm modeli kullanımının su tüketimi tahminindeki doğruluğun artırılmasındaki önemine vurgu yapmışlardır.

Taştan (2018), İstanbul’da su talebinin arka planındaki faktörleri incelediği araştırmasında farklı su fiyatlandırma rejimlerinin etkinliğini analiz etmiştir. Bulgulara göre İstanbul’da su talebinin fiyat elastik olmadığı değerlendirilmiştir.

3. YÖNTEM

Bu tezin amacı; literatürde yer alan ve genel olarak su talebinin tahmininde kullanılan yöntemlerin hem tahmin gücü hem de su tüketiminin arka planında yer alan ve doğrudan ya da dolaylı olarak su tüketimini etkileyen unsurları açıklama gücü bakımından değerlendirilerek; bu iki amaca da hizmet edebilecek hibrit bir modelleme çerçevesinin geliştirilmesidir. Genel olarak, konutlardaki kullanımın konut dışı kullanıma oranla daha az değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle özellikle etmen tabanlı modelleme sürecinde değişken sayısının kontrolsüz biçimde artışının önüne geçebilmek, simülasyon hesaplama yükünün aşırı artmasını engellemek ve kodlama karmaşıklığını azaltmak üzere bu tezin kapsamı, konutlardan gerçekleşen su tüketimi ile sınırlandırılmıştır. Yöntemsel olarak tezin temel hareket noktası, literatürde yer alan ve su tüketiminin tahmininde hem zamansal ölçek bakımından birbirinden farklı verilere hitap eden (sezgisel modeller gibi) yöntemlerin hem de sıcaklık ve yağış gibi dışsal faktörlerle ilişkilendirme konusundaki olanaklar sunabilen (regresyon gibi) yöntemlerin sunmuş olduğu farklı olanakların birlikte kullanılmasıdır. Bu bağlamda tezde ilk olarak, zaman serisi verilerinin analizindeki temel araç takımı olarak nitelendirilebilecek ayrıştırma, düzleştirme ve otoregresif modeller gibi zaman serisi analizi yöntemlerinin hibrit model çerçevesinde nasıl kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Tezde izlenen yönteme ilişkin genel gidişat Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Tezin yöntemi

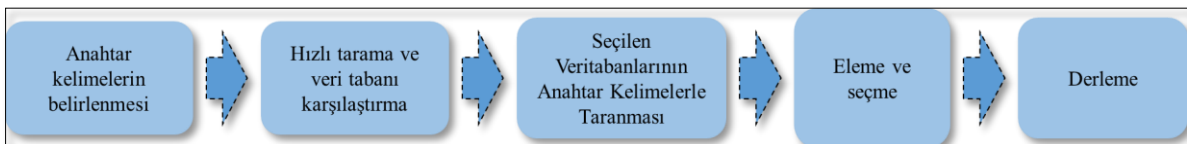
3.1. Literatür Araştırması ve Çalışılacak Yöntemlerin Tespiti

3.1.1. Literatür araştırması

Bu tez kapsamındaki literatür taraması iki farklı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerden ilki tez çalışması ile doğrudan ve dolaylı olarak ilişkili benzer araştırmaların tespit edilmesine dayalı klasik araştırma yaklaşımını esas almaktadır. Bu yöntem, özellikle zaman serisi analizi yöntemlerini kapsayan araştırmaların derlenmesinde etkili olmuştur. Etmen tabanlı modelleme ile ilişkili çalışmaların derlenmesi ise daha karmaşık bir süreç gerektirdiğinden sadece klasik literatür tarama yöntemi yeterli olmamıştır. Ayrıca, su talebinin tahmini hem fen bilimleri hem de sosyal bilimlerle ilişkili yatay bir çalışma alanının (bütüncül su yönetimi) konusu olduğundan, yalnızca birkaç temel araştırmadan hareketle bütün alana ilişkin hakimiyet sağlanması mümkün değildir.

Bu nedenle etmen tabanlı modelleme yöntemine ilişkin literatür araştırması, bu konuda Palmatier vd. (2018) ve Watson vd. (2018) tarafından geliştirilmiş “sistemik inceleme” yaklaşımlarının bu teze uyarlanmış bir versiyonu ile yürütülmüştür (Aybuğa ve Yücel Işıldar, 2022). Bu kapsamda, bu tezde kullanılan yöntemde, ilişkili araştırmalarda tanımlanan sistemik inceleme yaklaşımının teknik ve tematik yönlerine ilişkin birkaç uyarlama yapılmıştır (Şekil 3.2.).

En önemli değişiklik “anahtar kelime” seçimiyle ilişkili yaklaşımın önceden tanımlı terimler yerine “basit anahtar kelimeler” kullanılarak, makalelerin incelenmesine daha fazla zaman ayrılmasıdır. Bu yaklaşımın bir dezavantajı çok fazla alakasız sonuç üretmesidir. Ancak ilişkili araştırmaların gözden kaçırılması riskine karşın alakasız araştırmaların el yordamıyla elenmesi gibi zahmet gerektiren bir süreç benimsenmiştir.



Şekil 3.2. Uyarlanmış sistemik derleme yöntemi

İlişkili literatürün derlenmesi, “hızlı tarama” ve “karşılaştırma” olarak tanımlanabilecek adımlarla gerçekleştirilmiştir. Hızlı tarama, belirlenen veri tabanlarının konuyla ilgili olası araştırmalara yönelik hızlı bir bakış sunmaktadır. Bu adımda temel maksat araştırma için olası örneklem büyüklüğünün belirlenmesidir. Birbirinden farklı veri tabanlarındaki örnek büyüklüklerinin karşılaştırılması, daha derinlemesine analiz için hangi veri tabanlarının seçilmesi gerektiğine yönelik bir öngörü sunmaktadır. Bu yaklaşımın önemli bir diğer faydası da araştırmacıların konunun genel sınırlarına yönelik hızlıca sezgi geliştirmesine olanak sağlamasıdır.

Arama süreci, seçilen veritabanlarında anahtar kelimelerin aratılarak elde edilen sonuçların ön tarama için derlenmesiyle başlamaktadır. Sonuçlar, daha ileri aşamalar için MS Excel tabanlı bir veri tabanında tutulmuştur. Eleme adımında, sonuçların kapsamı bu araştırmanın kapsamıyla örtüşene kadar makale sayısının daraltıldığı daha derinlemesine inceleme yapılmıştır.

Derleme aşamasında, Water Resources Management (WRM) kategorisi, coğrafi ve zamansal kapsam, kullanılan yazılım, varsa konuya özel model geliştirme başlığı ve bilimsel literatüre yapılan katkı başlıklarındaki bilgiler derlenmiştir. Sürecin son adımında ise çıktıların araştırma hedeflerine uygunluğu puanlanarak yüksek puan alan araştırmalar kapsama dahil edilmiştir.

Anahtar kelimelerin belirlenmesi

Anahtar kelimelerin belirlenmesi hem ilgili sonuçlara erişebilmek hem de farklı arama motorlarından elde edilen sonuçların tutarlı olması bakımından önemli bir adımdır. Bu konuda ilk olarak, genel arama motoru kullanım sistematığı benimsenmiş ve elde edilen sonuçların tutarlılık durumuna göre anahtar kelimeler optimize edilmiştir. Bu bağlamda, Science Direct için arama dizisi (“Agent Based Model” AND Water) şeklinde oluşturulmuştur. Web of Science için arama dizisi şu şekilde oluşturulmuştur: (“Agent Based” AND Water).

Hızlı tarama ve veri tabanı karşılaştırma

Su kaynakları yönetimi (WRM), birçok sosyal ve fen bilimleri alt disiplini ile ilişkili bir araştırma konusu olduğundan, ilişkili araştırmaların en genel görünümünü oluşturabilmek için bilimsel literatürün kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu maksatla, Genişletilmiş Bilim Atıf Dizini (SCI-Genişletilmiş), Sosyal Bilimler Atıf Dizini (SSCI), Konferans Bildirileri Atıf Dizini (CPCI-S), Yükselen Kaynaklar Atıf Dizini (ESCI), Konferans Bildirileri Atıf Dizini-Sosyal Bilimler dahil olmak üzere olası tüm bilimsel dizinler Beşeri Bilimler (CPCI-SSH), Science Direct (SD) ve Web of Science (WoS) aracılığıyla taranmıştır. Diğer taraftan elde edilen sonuçların teyidi bakımından daha geniş ama bazen ilişkisiz sonuçlar sunabilen Google Akademik (GS) akademik arama motorundan alınan sonuçlar da karşılaştırmaya dahil edilmiştir.

Seçilen veritabanlarının taranması

Hızlı tarama ve karşılaştırma adımıyla elde edilen örneklem büyüklüğü hem sayı hem de bağlam açısından arama motorları arasında büyük farklar olduğunu göstermektedir (Çizelge 3.1). Özellikle GS için ilk 50 sayfada getirilen sonuçlara hızlı bir şekilde göz atıldığında sonuçların araştırma kapsamıyla ilişkili bulunmayan çok sayıda makaleyi içerdiği görülmüştür. Bu nedenle daha detaylı araştırma için WoS ve SD tarafından sunulan sonuçların tek tek incelenmesi yöntemiyle yürütülmesi kararlaştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Seçilen veritabanları ve makale sayıları

Veritabanlı/Arama Motoru	Agent Based Model AND Water	Agent Based ANDWater	Seçilen makale sayısı
GS (Articles with the exact phrase in the title of the article, Any type)	55	177	-
SD (Title, abstract, keywords)	183	345	70
WoS (Title, abstract, Keyword+)	256	735	71

* 13 makale hem WoS hem de SD alanlarında yer almaktadır.

Eleme ve seçme

Eleme ve seçme sürecinde ilk olarak, SD ve WoS'den elde edilen sonuçların daha ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Bu aşamada makaleler, Çizelge 3.2'de verilen kriterlere göre listelenmiştir.

Çizelge 3.2. Eleme ve seçme kriterleri

	Kriter
Araştırma türü	Peer-reviewed empirical and theoretical/conceptual studies, journal, or conference manuscripts
Bilimsel İndeks	SCI-Expanded, SSCI, CPCI-S, ESCI, CPCI-SSH
Dil	English
Tarih	All available history
Tez konusuyla ilişki düzeyi	Not relevant; not related to WRM Low relevance; reference to auxiliary or technical aspects of WRM Moderate relevance; related to WRM with lack of application of ABM High relevance; complete theoretical consistency with WRM and practice of ABM Full relevance; main paper of the domain via scientific contribution and practice

Eleme ve seçme adımımda ilk aşamada WRM kategorisi ile ilişkili bulunan 168 makaleye ulaşılmıştır. Yazarlar tarafından yapılan çapraz kontrol ile sonuçların veri tabanına dahil edilip edilmeyeceği değerlendirilmiştir. “Tam ilişkili” (full relevance) ve “ilişkisiz” (non-relevance) olarak belirlenen bir ölçekte makaleler yeniden değerlendirildiğinde ise ilişkili makalelerin nihai sayısı 128 olmuştur.

Derleme

Derleme aşamasında makalelerin başlık, yazar isimleri, yayın yılı, yayıncı, anahtar kelimeler ve özet gibi önemli bilgilerini içeren bir MS Excel tablosuna kaydedilmiştir. Makaleler “urban water management”, “irrigation management”, “watershed-river basin management” ve “global management of water resources” temalarına göre gruplandırılmıştır. Diğer taraftan vaka çalışmalarının coğrafi kapsamı, simülasyonların zamansal kapsamı, kullanılan yazılımlar ve araştırmacılar tarafından sağlanan ekler de dahil olmak üzere suyla ilgili ABM uygulamalarının birçok teknik yönüne ilişkin bilgilere de oluşturulan veritabanında yer verilmiştir.

3.1.2. Çalışılacak yöntemlerin belirlenmesi

Bu tez kapsamında benimsenen araştırma yöntemi, aylık su talebinin modellenmesi ve tahmini konusunda literatürde yer alan yöntemlerin gerek veri ihtiyacı gerekse tahmin doğruluğu yönünden değerlendirilerek hem veri tahmini hem de su tüketiminin arka planında yer alan faktörlerin açıklanmasına elverişli hibrit bir modelleme çerçevesinin geliştirilmesidir. Bu bağlamda değerlendirildiğinde Çizelge 3.3'te verilen hangi amaca yönelik olarak hangi yöntemin kullanılacağı nedenleri ile açıklanmıştır.

Çizelge 3.3. Seçilen yöntemler ve kullanım amaçları

Yöntem	Kullanım Amacı
Zaman serisi analizi	Verideki trend (eğilim), mevsimsellik ve hata gibi bileşenlerin hem varlığının ortaya konulması hem de büyüklüklerini (dolayısıyla modelleme sürecine yönelik etkilerini) ifade edebilmesi bakımından en temel araç
Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) yöntemi Sezgisel modeller	Su tüketiminin dışsal faktörlerle olan ilişkisinin ortaya konulması Tek boyutlu veri analizi araçlarına benzer şekilde, zaman serisinin modellenmesi konusunda su tüketimi verisinin kendisi dışında başka verilere ihtiyaç duyulmaması ve doğrudan su talebinin yönetimi konusundaki çalışmaların bir ürünü olması nedeniyle bu tezde önemli bir yer edinmiştir. Sezgisel modellerin tezdeki en temel işlevi, veri çözünürlüğünün artırılması konusundaki faydaları nedeniyle (aylık verilerin haftalık ve günlük verilere dönüştürülebilmesi) etmen tabanlı modellerin çıktılarının doğrulanmasına hizmet etmesidir.
Etmen tabanlı Modelleme	Su tüketiminin arka planındaki faktörlerin açıklanması konusunda sundukları olanaklar nedeniyle bu tezin nihai araç takımını teşkil etmektedir. Su tüketimi sürecinin nasıl gerçekleştiğine yönelik sorulabilecek pek çok soruya simülasyon yönteminin getirdiği birçok araçla cevap üretme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda bu tezin nihai çıktısını teşkil eden hibrit modelleme çerçevesinin en kapsamlı aracı durumundadır.

3.2. Çalışma Alanının Tespiti ve Çalışma Alanına İlişkin Bilgiler

Bu tezde, Ankara İli, Etimesgut İlçesi sınırları içerisinde yer alan Ahimesut Mahallesi araştırma sahası olarak seçilmiştir. Araştırma sahasının belirlenmesindeki en temel gerekçelerden biri Ankara İlinin gelişen nüfus dinamikleri ve sosyo-ekonomik yapısının araştırma koşullarına uygun olmasıdır.

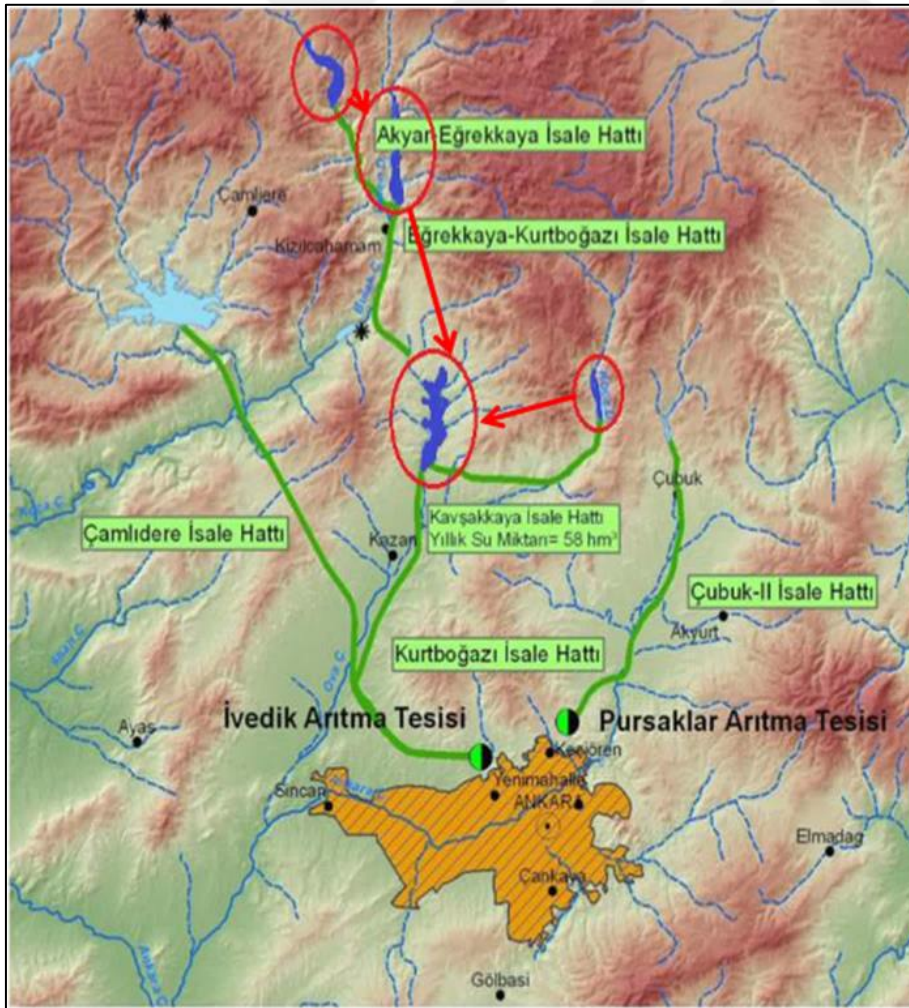
Temel olarak Ankara Türkiye'nin İstanbul'dan sonra en büyük nüfusu barındıran şehri durumundadır. Ankara Başkent olması nedeniyle “memur kenti” olarak tabir edilen “orta sınıfın” yaygın sosyal sınıf olduğu bir şehirdir. Etimesgut İlçesi, Cumhuriyet'in ilanından bu yana tarihsel olarak bir örnek-uydu kent ve sonrasında da Ankara'nın gelişen cazibe merkezlerinden biri olmuştur. Ahimesut Mahallesi, özellikle etmen tabanlı model geliştirme safhasında ihtiyaç duyulan verilerin görece olarak daha kolay elde edilebildiği ve hali hazırda mevcut olmayan veriler için de dolaylı da olsa varsayımlar yapılabilecek bir alt ölçüm bölgesi (DMA) durumundadır. Diğer taraftan etmen tabanlı modellemenin doğasından ileri gelen karmaşık süreçleri modelleme yetisi, simülasyon aşamasında hesaplama yükünün hızla artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle simülasyonu üretilecek nüfusun hem bölgedeki demografiyi doğru biçimde yansıtabilecek hem de ağır hesaplama yükü getirmeyecek büyüklükte olması tercih edilmiştir. Ayrıca Ahimesut Mahallesi, sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyi bakımından Türkiye ortalamasının üzerinde bir yapıya sahiptir. Diğer taraftan konut yoğun bir yerleşim durumundadır. Bu özellikleri nedeniyle bölgenin su tüketimine ilişkin davranışsal desenlerinin kestirilebilir düzeyde olması beklenmektedir.

3.2.1. Ankara ili su kaynaklarının durumu ve iklimsel özellikleri

Çalışma alanı coğrafi ve iklimsel özellikleri bakımından da Ankara İli merkeze bağlı bir ölçümlenebilir alan (DMA) durumundadır. Bu durum hem üretilen çıktıların temsil gücü hem de simülasyon hesaplama yükünün uygun bir aralıkta tutulması bakımından bir denge noktası oluşturmaktadır. Diğer taraftan Ankara İli genelinde ve çalışma alanındaki tüm su hizmetleri ASKİ tarafından verilmektedir. Bu doğrultuda, bu bölümde veri mevcudiyetiyle ilişkili biçimde, Ankara İli, Etimesgut İlçesi ve Ahimesut Mahallesi genel özellikleri verilmiştir. Türkiye'nin başkenti Ankara, başkent ilan edilişinin üzerinden geçen 100 yılı aşkın zamansal süreçte birçok değişim geçirerek bugün İstanbul'un ardından, ülkenin en

büyük nüfusuna ev sahipliği yapan şehir konumuna ulaşmıştır. Başkent olduğunda nüfusu 30 bin civarında olan (ASKİ, 2024) Ankara'nın 2023 yılı sonu itibariyle nüfusu yaklaşık 5 milyon 800 bine ulaşmış durumdadır (TÜİK, 2024).

Ankara başkent oluşunun ardından Çubuk 1 Barajı gibi pek çok önemli proje hayata geçirilerek kentin su temin sistemi günümüzdeki modern altyapısına ulaşmıştır (Ankara Büyükşehir Belediyesi, 2018). 1937 yılında işletmeye alındığında Türkiye'nin ilk barajlarından biri olan Çubuk I Barajı Ankara'nın su ihtiyacını karşılayabiliyorken, 1940-1959 yıllarını kapsayan süreçte yaşanan su temin sorunları nedeniyle 1949'da kurulan Ankara Sular İdaresi tarafından yürütülen faaliyetler neticesinde günlük temin edilen su miktarı 120.000 m³ seviyesine ulaşmıştır. Ankara'nın su altyapısını oluşturan barajlardan Çubuk 2 Barajı 1964 yılında, Bayındır Barajı 1965 yılında, Kurtboğazı Barajı da 1967 yılında DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır (Şekil 3.3).



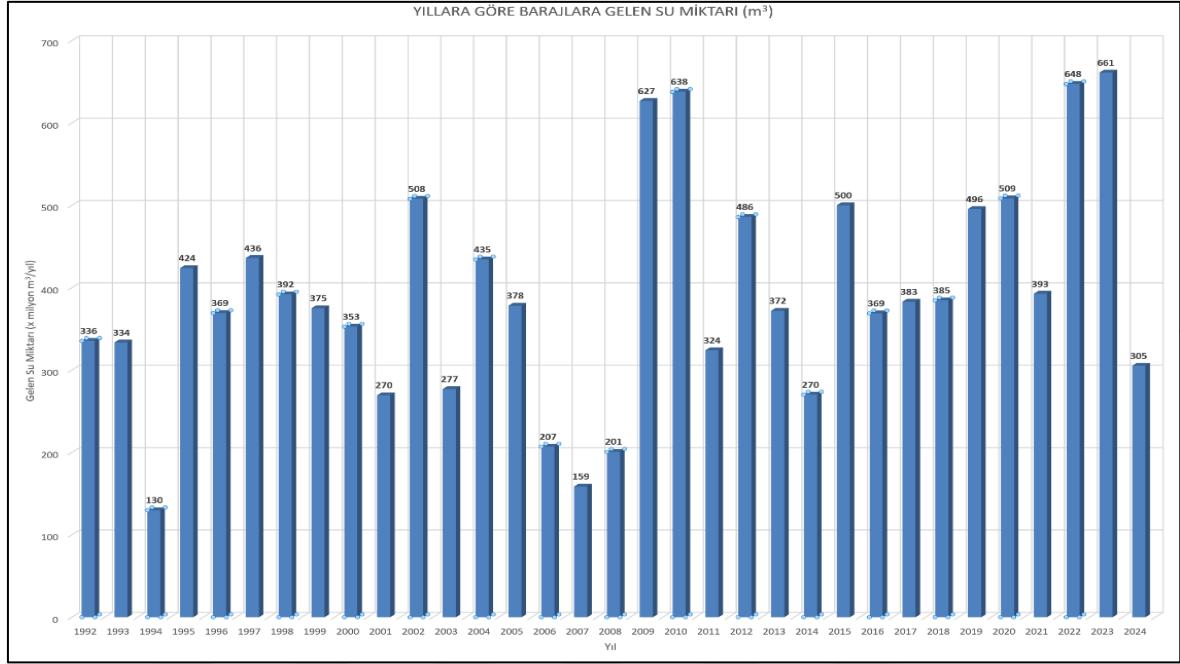
Şekil 3.3. Ankara içme suyu sistemi (Ünver, 2024)

Ankara'nın en büyük içme suyu kaynağı olan Çamlıdere Barajı 1985'te faaliyete geçmiştir (ASKİ, 2018). Günümüzde Ankara'nın günlük 1 milyon 400 bin metreküp düzeyindeki (AA, 2024) su ihtiyacı Çamlıdere, Eğrekkaya, Kurtboğazi, Kavşakkaya, Akyar, Çubuk-2 ve Elmadağ yeraltı Barajı'ndan karşılanmaktadır.

Coğrafi bakımdan hem güney doğu hem de kuzey batı yönlerinden kente su getiren iki farklı koldan oluşan temin sisteminde, gelen sular arıtma tesislerinden geçtikten sonra farklı noktalardan kente verilmektedir. 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 sularda azalma gözlemlenmektedir. Bu nedenle zaman zaman şehrin güneyinde kalan bölgelerden geçen 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 yükseltilmesine ihtiyaç duyulmasıdır. *“2020 yılı Ocak ayı itibarıyla su alınmaya başlanan, 31,5 kilometre uzunluğunda ve 4,5 metre çapındaki Gerede Tüneli ile Gerede havzasındaki Ulusu Çayı üzerinde yapılan Işıklı Regülatörü'nden temin edilen su, Gerede Tüneli vasıtasıyla hiçbir enerji tüketmeden, cazibeli olarak 1 milyar 220 milyon metreküp kapasiteli Çamlıdere Barajı'na aktarılmaktadır”* (ASKİ, 2024).

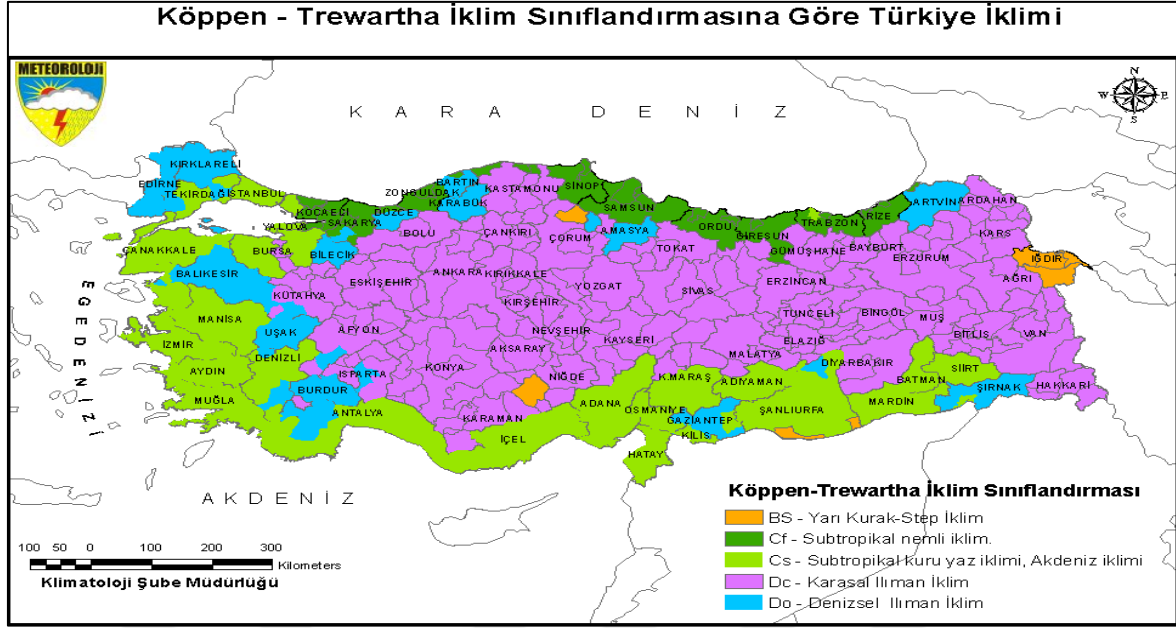
Ankara içme suyu temin sistemine giren toplam su miktarları değerlendirildiğinde (Şekil 3.4), yarı kurak iklim bölgesi özellikleriyle uyumlu şekilde barajlara gelen toplam su miktarının yıllara göre geniş bir aralıkta değişim gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.4. Ankara barajlara gelen su miktarı (ASKİ, 2024)

Bu durum, 20-30 yıllık zamansal perspektifte değerlendirildiğinde gelen su miktarının ekstrem şekilde azaldığı kurak dönemlere karşı hazırlıklı olunması gerekliliğini göstermektedir. Ayrıca Ankara'nın bulunduğu İç Anadolu Bölgesinin karasal iklim özelliği göstermesinin de bu durumun arka planında temel faktör olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Ankara İlının iklim yapısı, genel olarak Türkiye coğrafyasının genel yapısının bir getirisi durumundadır. 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 (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024). Ankara İli ise genel olarak kurak, yarı kurak ve yarı nemli kategoride değerlendirilmektedir (Şekil 3.5).

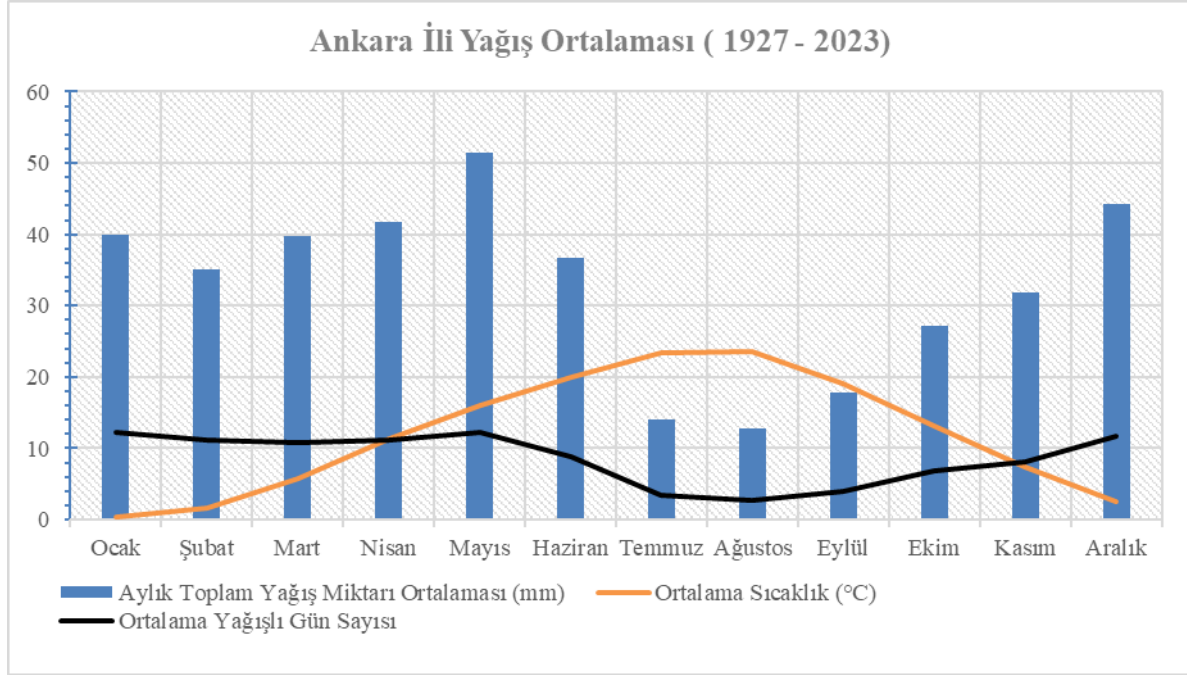


Şekil 3.5. Ankara iklim sınıflandırması (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2014)

Yarı kurak iklim bölgeleri, yıllık 500 mm'den daha az yağış alan, çöllerden sonraki en kurak bölgeler olarak değerlendirilmektedir (Moll, 2017). Yarı kurak bölgelerde yağışın % 30 kadarı kullanıma elverişlidir (Birleşmiş Milletler, 2012). Bu bakımdan, Ankara için geçerli olan iklimsel koşulların önemli ölçüde Türkiye'nin içinde bulunduğu coğrafya ve iklim kuşağıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Türkiye'de ortalama yıllık yağış miktarı 574 mm'dir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024). Bu değer dünya ortalamasının (800 mm) altındadır. Ankara bölgesi ise bundan daha az yağış almaktadır (392,4 mm) (Doğa Koruma Merkezi, 2013).

Ankara İli uzun dönem yıl içi yağış değişimini gösteren grafikten (Şekil 3.6) yıl içi yağış ve sıcaklık değişimlerinin tipik yarı kurak iklim bölgesine uygun şekilde değişim gösterdiği açık biçimde görülmektedir. Bu bağlamda yağışın aylar arasındaki değişimi hem birbirinden farklı seviyelerde gerçekleşmekte hem de sıcak dönemlerle yağışsız dönemlerin değişimleri birbiriyle örtüşmektedir.

Bölgenin iklimsel özelliklerinin bir yansıması olarak, Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Ankara bölgesi topraktaki su potansiyeli bakımından "su fazlası olmayan veya pek az olan" kategorisinde sınıflandırılmış durumdadır. Bu durum, tarımsal faaliyetler konusunda sınırlı ve dönemsel uygunluğu ifade etmektedir.

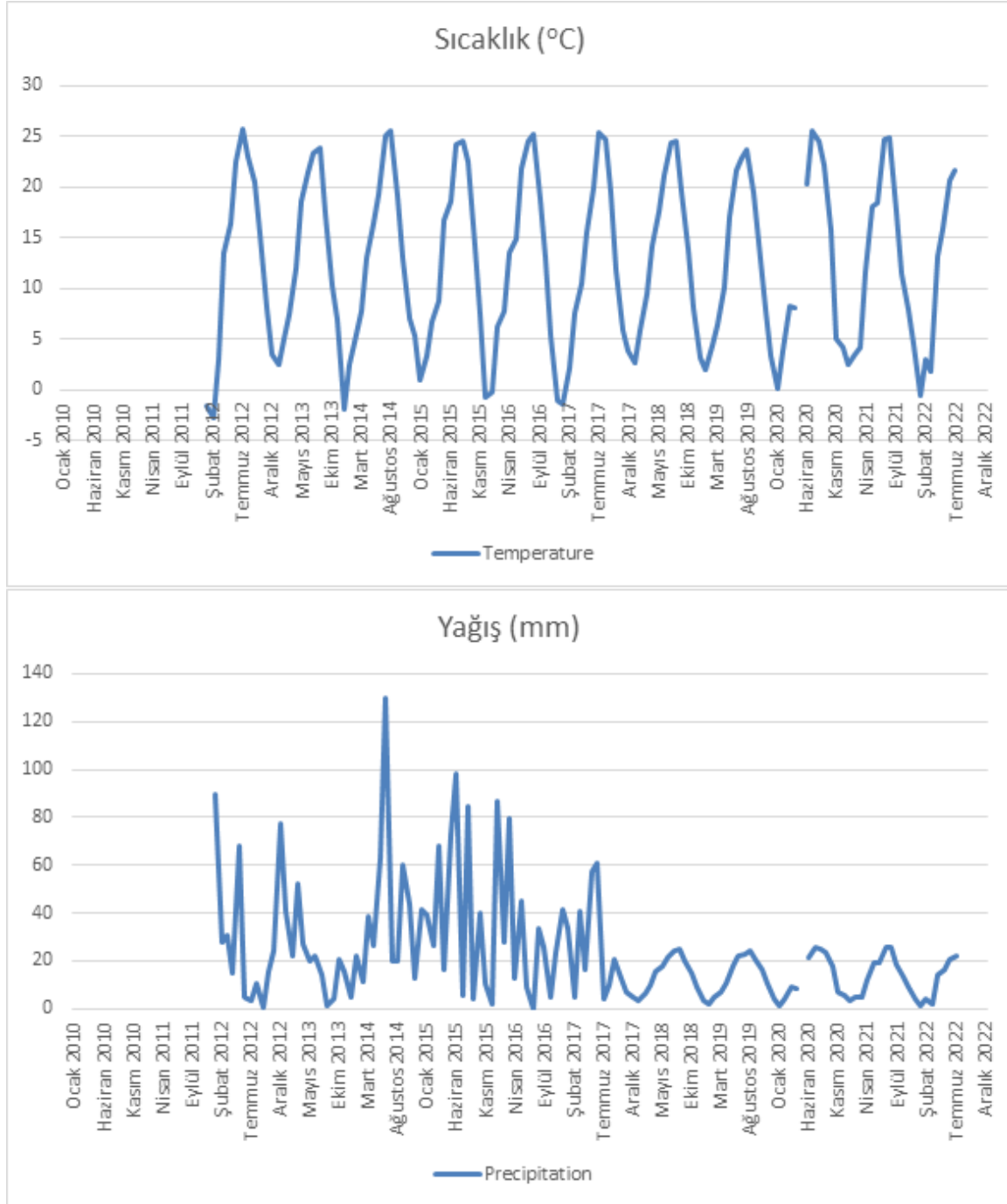


Şekil 3.6. Ankara yıllık alansal yağış ortalaması (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024)

Genel olarak, iklimsel anlamdaki bu yetersiz potansiyelin kurak zamanlarda içme suyu şebekesine bir yansımasının olması kaçınılmaz bir durumdur. Her ne kadar, mevcut altyapının Ankara içme suyu ihtiyacını 2050 yılına kadar karşılayabileceği tahmin edilse de (DSİ, 2024) su tüketiminin hızlı biçimde artışa geçtiği paradigma değişimleri yaşanabilmektedir. Örneğin, 2019 yılı sonu itibariyle başlayan COVID-19 pandemisi nedeniyle ortaya çıkan “eve kapanma süreci” gibi toplumsal hayatı topyekûn etkisi altına alan değişimler veya “6-7 Şubat Depremleri” gibi bölgesel ölçekte etkin olan afetlerin bile beklenmedik şekilde Ankara’nın su tüketimini artırması söz konusu olabilmektedir (GASKİ, 2024; Sağıroğlu vd., 2023). Bu bağlamda, toplumsal bakımdan kritik altyapılardan biri olan su temin sistemlerinin işletimi ve sistemi sektöre uğratabilecek olumsuzluklardan korunması bakımından, su tüketimine ilişkin genel gidişatın ortaya konulması bir zaruret arz etmektedir. Ancak, veri eksikliği, verilere ulaşmada yaşanan problemler, mevcut bilişim altyapısındaki eksiklikler ve nitelikli insan kaynaklarındaki sorunlar nedeniyle bu çalışmalar, daha küçük ölçekli saha araştırmaları düzeyinden yürütülebilmektedir.

Bu tezde de Ankara İli, Etimesgut İlçesi’ne bağlı bir yerleşim alanına ait (Ahimesut Mahallesi) konut aylık su tüketimi verileri üzerinden su talebinin tahminine ilişkin mevcut yöntemlerin uygunluğu değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda bundan sonraki bölümlerde mevcut veriler ışığında araştırma sahasına ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Ancak mahalle

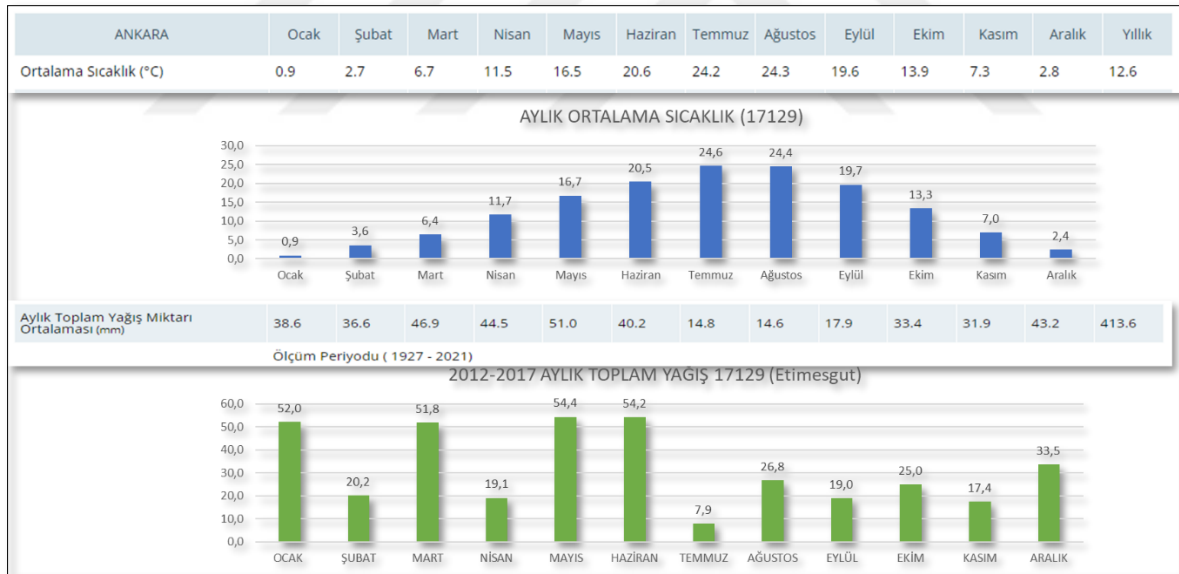
veya ilçe düzeyinde yeterli verilerin bulunmadığı durumlarda Ankara İline ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak Şekil 3.7’de verilen Etimesgut İlçesine ait yıllık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri değerlendirmeye alınmıştır.



Şekil 3.7. Etimesgut İlçesi (2010-2022) sıcaklık ve yağış değişim grafiği (17129 numaralı istasyon)

Genel olarak 2010-2022 yılları arasında Etimesgut İlçesi ortalama sıcaklıklarının durağan bir seyrinde devam ettiği görülmektedir. COVID-19 pandemisine denk gelen süreçte (2020) meteoroloji istasyonundan verilerin alınamamasına bağlı olarak haziran ayı civarında eksik veriler olduğu görülmektedir. Diğer taraftan aynı döneme ait yağış verileri incelendiğinde, 2017 yılı ortalarından itibaren yağış deseni kayda değer bir değişime uğradığı görülmektedir. Yıllık toplam yağış miktarıyla birlikte yağışların miktarına ilişkin değişkenlik de azalmıştır.

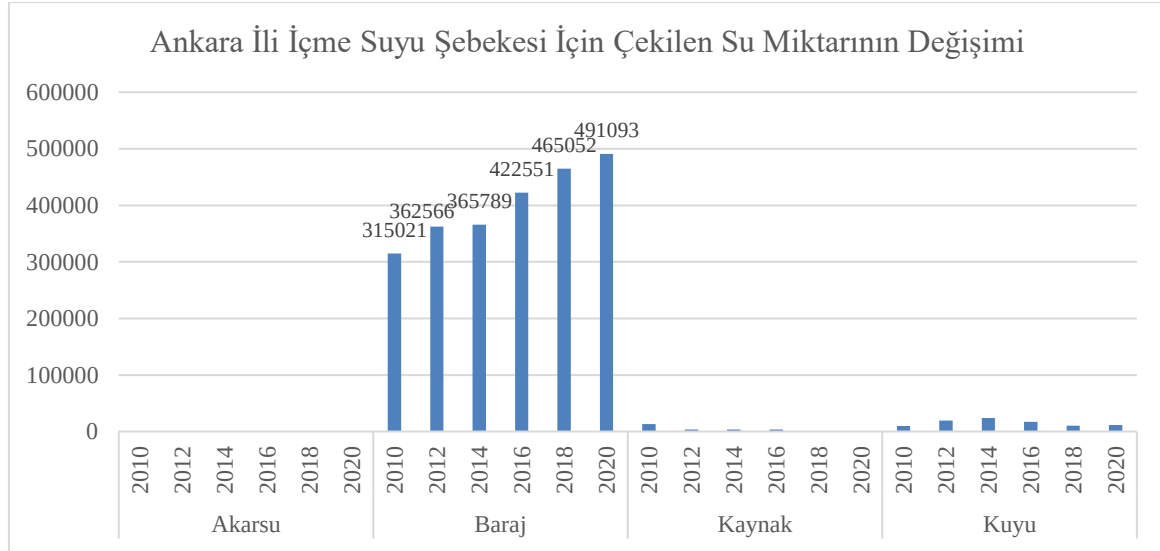
Su tüketiminin yaygın bir özelliği; mevsimsel, aylık, haftalık ve günlük değişimlere uğraması ve bu değişimlerin dönemsel olarak tekrar etmesidir. İklimsel bakımdan değerlendirildiğinde hava sıcaklığı ve yağışın sergilediği dönemsel değişimler, su talebinin değişiminde etkili olan unsurlardır. Bu bağlamda, 17129 numaralı meteorolojik gözlem istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış grafikleri de önemli bilgiler sunmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Etimesgut İlçesi uzun yıllar aylık sıcaklık ve yağış değişim grafiği (17129 numaralı istasyon)

Aylık sıcaklık ortalamaları 13 °C'nin altı ve üstünde seyreden iki döneme işaret etmektedir. Yıllık perspektifte Kasım-Mart ayları arasındaki görece soğuk ayların ortalamasının 13 °C'nin altında seyrettiği, Ekim-Nisan arasındaki sıcak aylarda ise ortalama sıcaklıkların 25 °C'nin altında kaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, yağışların aylara dağılımı konusunda ise karasal iklim özelliklerinin belirgin olmasıyla birlikte, 2012-2017 yılları arasında haziran

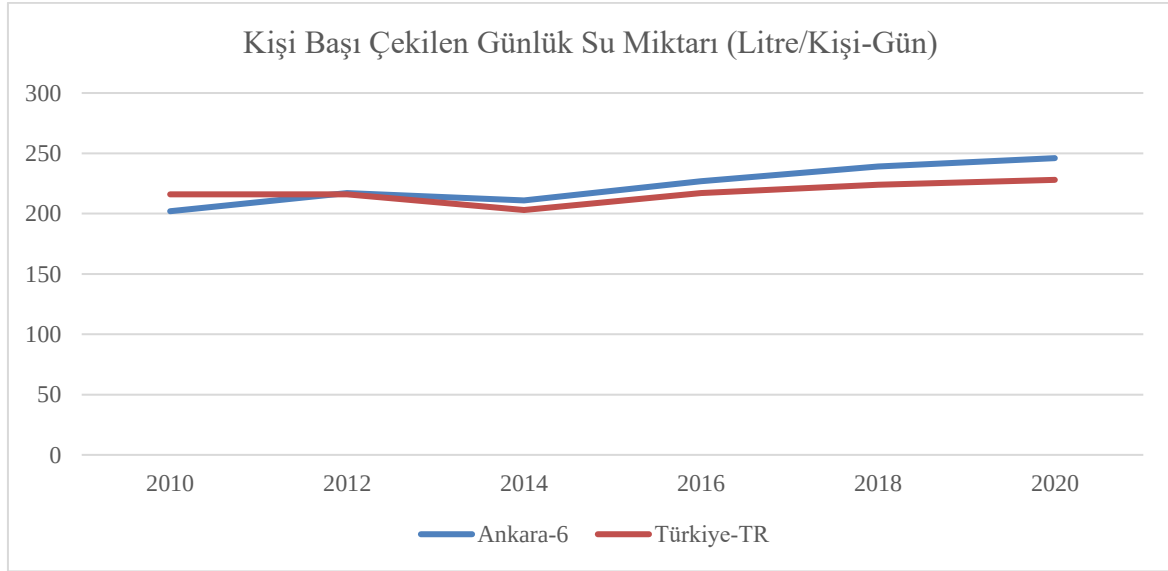
ayının yoğun biçimde yağışlı geçtiği görülmektedir. Sonuç olarak hem yıllara sâri biçimde hem de yıl içerisinde hem sıcaklığın hem de toplam yağış miktarının bir dönemsellik gösterdiğini söylemek mümkün hale gelmektedir. Diğer taraftan 2010-2020 yılları arasında içme suyu şebekesine verilen su miktarına ilişkin bilgiler dikkate alındığında (Şekil 3.9), talebin düzenli bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.9. Ankara İli şebekeye verilen su miktarının yıllara sâri değişimi (TÜİK, 2021)

Sonuç olarak araştırma sahasının 2010-2020 yıllarını kapsayan zamansal perspektifte yağış rejiminde bir değişimin olduğu, benzer biçimde yıl içi yağış dağılımı konusunda da mevsimsel normallere kıyasla bazı sapmaların ortaya çıktığı görülmektedir. Bu esnada talep de giderek artmış, yıl içi yağış talep dengesini etkileyecek değişimler ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan aynı dönem için kişi başı çekilen su miktarının da günlük 250 litre seviyesine ulaştığı anlaşılmaktadır.

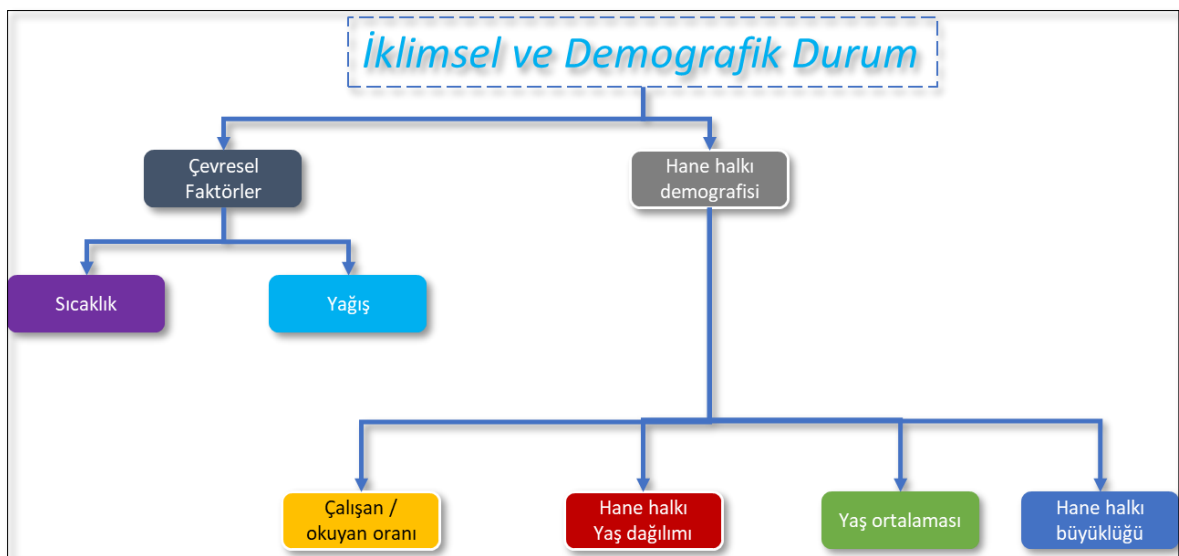
Kişi başı çekilen su miktarı, her ne kadar hane halkı tüketimini doğrudan yansıtan bir değer olmasa da genel olarak içme suyu şebekelerinden alınan suyun miktarını gösterdiğinden, yardımcı parametre olarak değerlendirilebilecek bir veridir. Türkiye geneli su tüketiminin ise bir miktar azalarak 250 litre/gün seviyesinin altına düştüğü görülmektedir. Bu bağlamda genel olarak Ankara İli su tüketiminin Türkiye geneli su tüketiminden giderek ayrılmaya başladığı değerlendirilmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Ankara İli kişi başı çekilen su miktarı yıllara sâri değişimi (TÜİK, 2021)

3.2.2. Ankara İli ve çalışma alanının demografik durumu

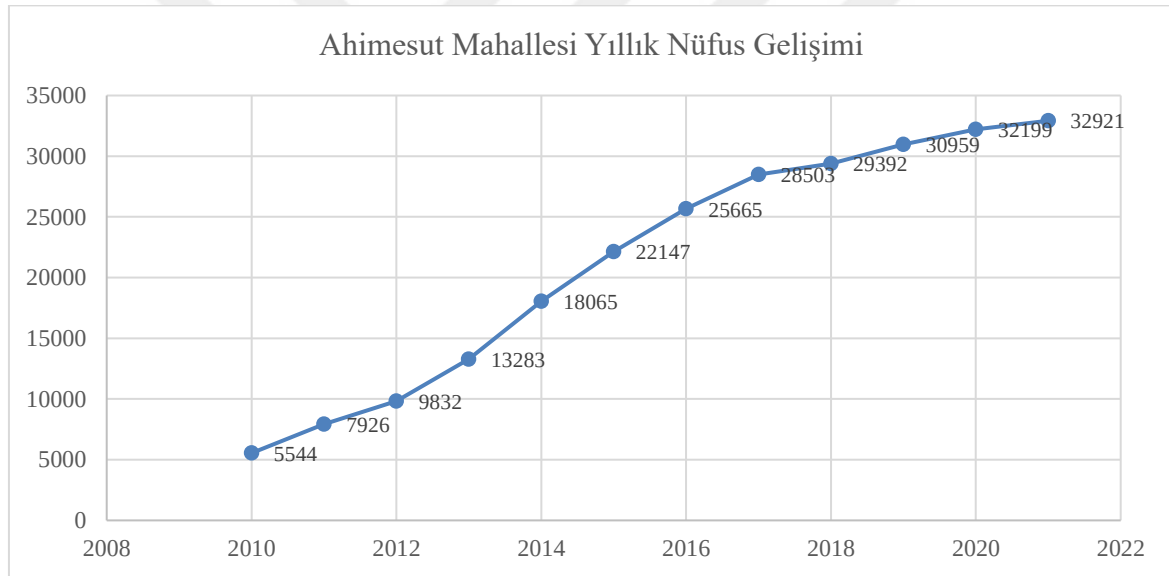
Su talebinin arka planında yer alan toplumsal unsurların anlaşılabilmesi bakımından, araştırma sahasının çevresel koşullarla birlikte demografik durumunun da anlaşılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmaya konu edilen saha olan Ankara İli, Etimesgut İlçesi, Ahimesut Mahallesi “demografik durumu” ulaşılabilir kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında Şekil 3.11’de yer verilen parametreler üzerinden değerlendirilmiştir.



Şekil 3.11. İklimsel ve demografik durum

Demografik durum hem saha koşullarının anlaşılması hem de etmen tabanlı model girdilerinin şekillendirilmesi ve çıktıların da değerlendirilmesi bakımından önem arz etmektedir. Demografik özellikler bir bölgenin eğitim, nüfus, istihdam, ekonomik refah, sağlık ve benzeri hususlardaki genel durumunun anlaşılmasına yardımcı olan belirleyici özelliklerdir.

Bir yerleşim biriminin su tüketimine ilişkin en temel bilgilerden biri, barındırdığı nüfustur. Genel olarak nüfusun gelişimindeki gidişat, su tüketimine yönelik muhtemel artışlar veya varsa tüketimin dengeleneceği zamansal perspektife ilişkin kabaca bir öngörü sunabilmektedir. Ahimesut Mahallesi nüfus gelişimine ilişkin bilgiler Şekil 3.12’de yer almaktadır.



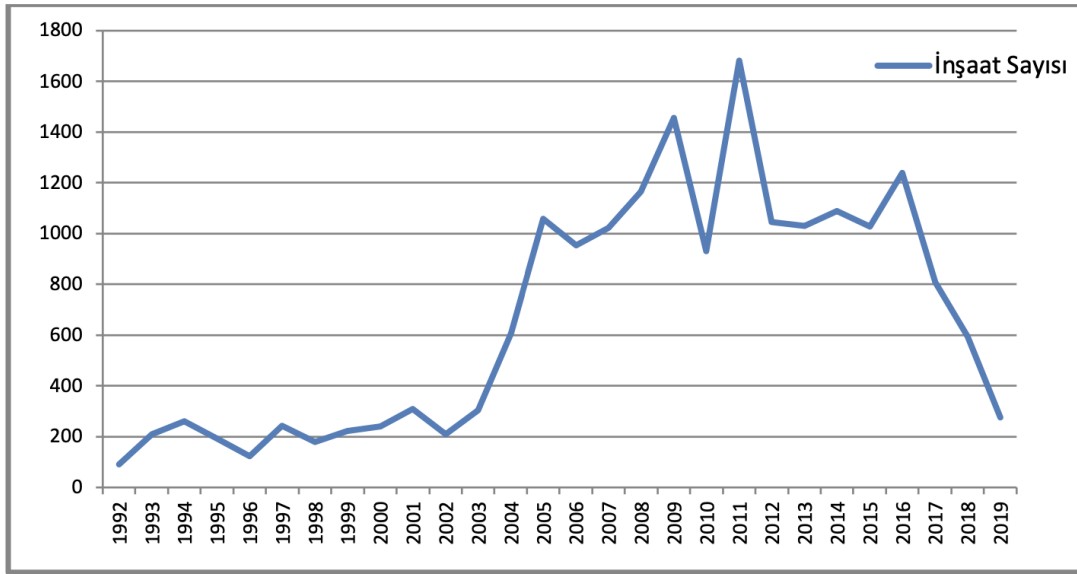
Şekil 3.12. Ahimesut Mahallesi nüfusunun yıllara sâri değişimi (Anonim, 2017) (TÜİK, 2021)

Buna göre nüfusun gelişimi 2012-2017 yılları arasında görece daha doğrusal gelişim göstermiş olup, 2022 yılı itibariyle bu gelişimin çok az arttığı görülmektedir. Diğer taraftan, nüfusun yıllara sâri değişiminin 2010-2020 yılları arasında dengeli bir seyir gösterdiği görülmektedir (Yakut, 2020).

Nüfus verileri, TÜİK ve açık kaynaklardan derlenen verilerdir. Bu veriler yıllık zamansal çözünürlükte ve geçerli yıl sonu itibariyle mahalle nüfusunu ifade etmektedir. Dolayısıyla bu araştırma kapsamında kullanılabilecek bir zaman serisi özelliği göstermemektedir. Bu

bağlamda hem nüfus verisi hem de Ahimesut mahallesinin hane halkı demografisine ilişkin diğer bazı başlıklarda ENDEKSA kuruluşuna ait tamamlayıcı nitelikteki veriler dikkate alınmıştır. ENDEKSA yetkililerince, sunulan bilgilerin makine öğrenmesi yöntemiyle üretilmiş bilgiler olduğu ve yasal geçerliliği olmadığı beyan edilmiştir. Ancak söz konusu verilerin resmi veriler ile uyum içerisinde olduğu ve Ahimesut Mahallesinin hane halkı demografisine yönelik açıklayıcı bilgileri kapsadığı görülmektedir. Bu bilgiler Bölüm 4.6. altında etmen tabanlı model geliştirme aşamasında kullanılmıştır.

Nüfus artışının yapılaşmayla yakın ilişkisi göz önüne alındığında, bölgeye ilişkin yapılaşmanın bir yavaşlama eğilimi gösterdiğini söylemek mümkündür. Nitekim Şekil 3.13'te yer alan bilgiler ışığında Etimesgut İlçesindeki yapılaşmanın 2017 yılı itibariyle genel anlamda düşüş eğilimi göstermektedir.



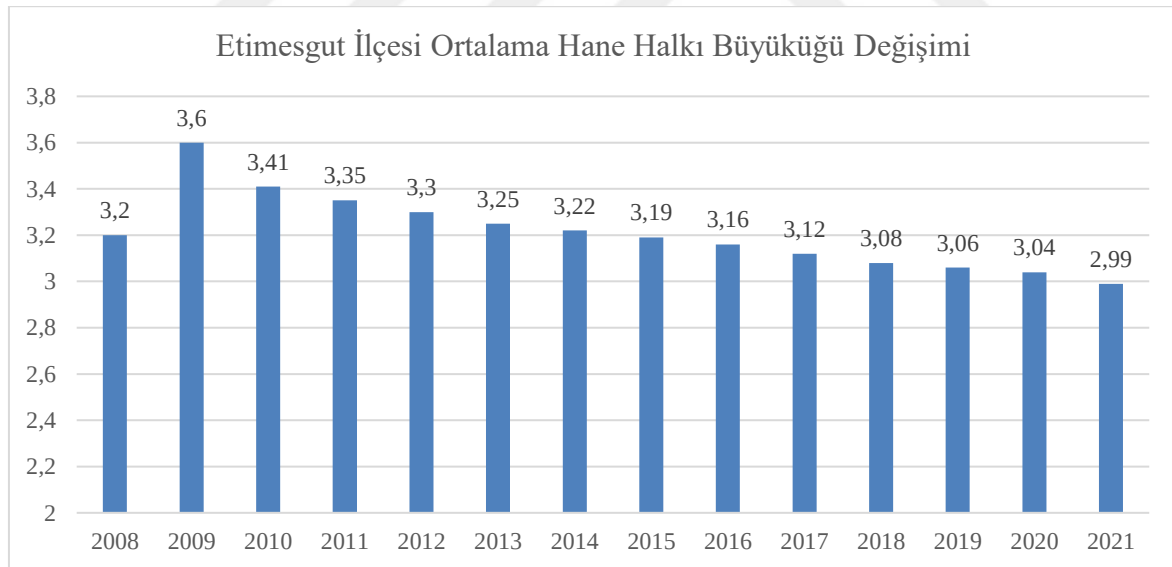
Şekil 3.13. Etimesgut İlçesi yapı ruhsatlarının tarihsel gelişimi (Özdemir vd., 2020)

Konutlardaki su tüketimini doğrudan etkilediği düşünülen en önemli faktör hane halkı büyüklüğü ve demografisidir. Hane halkı demografisi; hanede yaşayan bireylerin yaşı, cinsiyeti, çalışma-okul durumu, emeklilik gibi özelliklerinin dağılımını ifade etmektedir. Tek kişilik hane bireyleri ile daha kalabalık ailelerde yaşayan bireylerin hem genel tercihleri ve gündelik davranışı hem de bunların su tüketimine olan etkisi bakımından farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde bireylerin eğitim durumu ve hane halkı gelirinin de değişen oranlarda su tüketimi etkilediği bilinmektedir. Ancak hem literatürdeki bulgular ışığında değerlendirildiğinde hem de bu konudaki veri varlığı göz önünde

bulundurulduğunda, araştırma hedefleri bakımından eğitim ve gelir gibi davranış değişikliğini hedef alan faktörlere bu tezde yer verilmemiştir.

Hane halkı demografisinin en temel göstergesi hanede yaşayan birey sayısıdır. Hane halkı tek kişilik veya iki, üç, dört ve daha fazla birey sayısına sahip olabilmektedir. Tek kişilik hanelerde yaşayan bireyin yaşı, cinsiyeti ve gelir durumu belirgin bir desen oluşmasını sağlayabiliyorken, iki ve üzeri sayıdaki bireylerden oluşan hanelerin kompozisyonunda bir belirsizlik bulunmaktadır. Örneğin iki kişilik bir hanenin; yeni evli bir çift, emekli bir çift veya boşanmış bir anne/baba ve bir çocuktan oluşması mümkündür. Benzer bir durum üç ve daha fazla bireyden oluşan hane halkı için de geçerlidir.

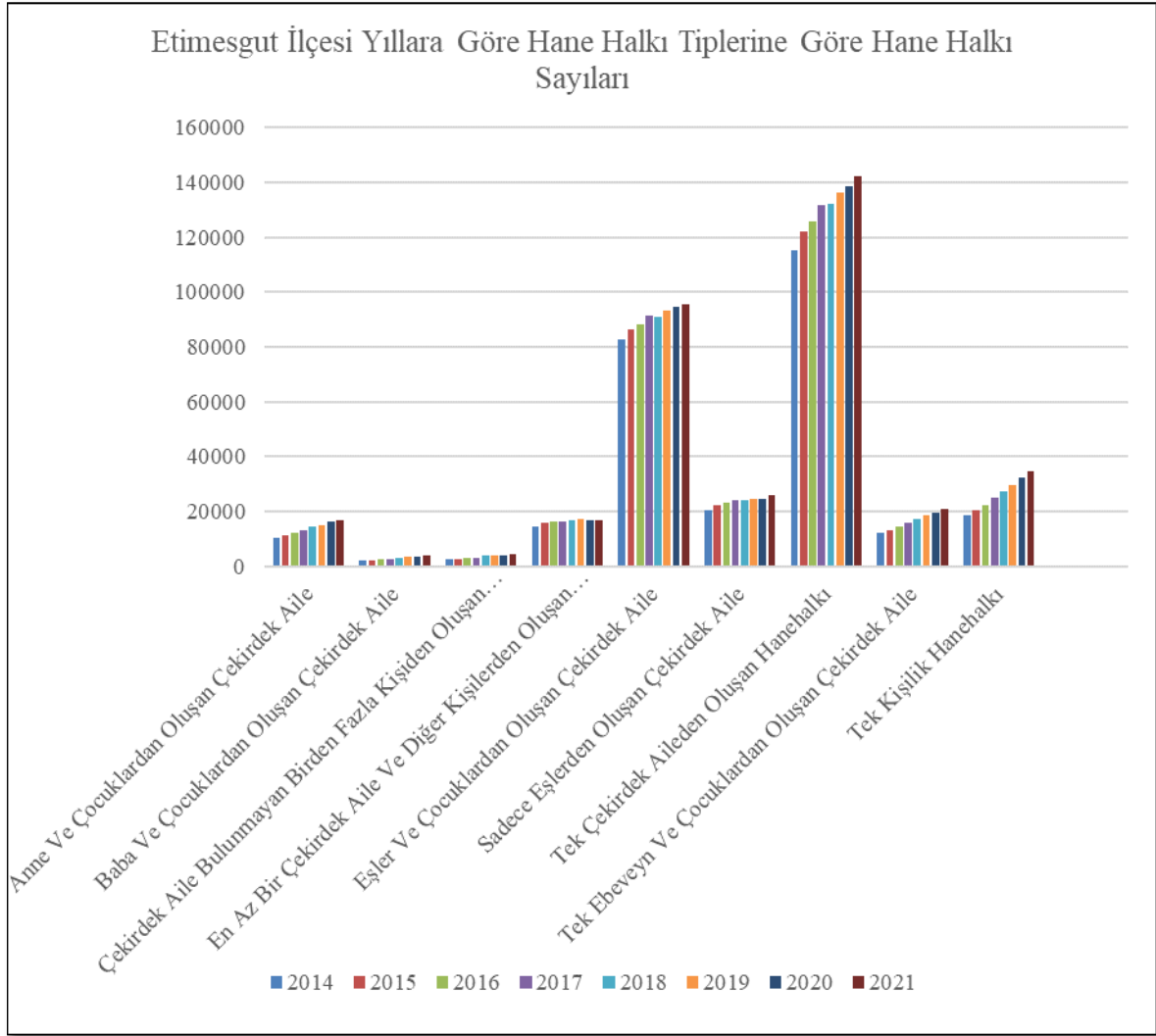
Hane halkı büyüklüğünün yıllara göre değişimi (Şekil 3.14); tipik olarak çocuklu ailelerin yoğun olduğu bir dağılıma işaret etmektedir. 2011 yılı öncesindeki seyrin değişken olduğu, ancak 2011 yılı itibariyle genel gidişatın azalma yönünde daha kararlı bir hale geldiği görülmektedir.



Şekil 3.14. Etimesgut İlçesi yıllara sâri hane halkı büyüklüğünün değişimi (TÜİK, 2021)

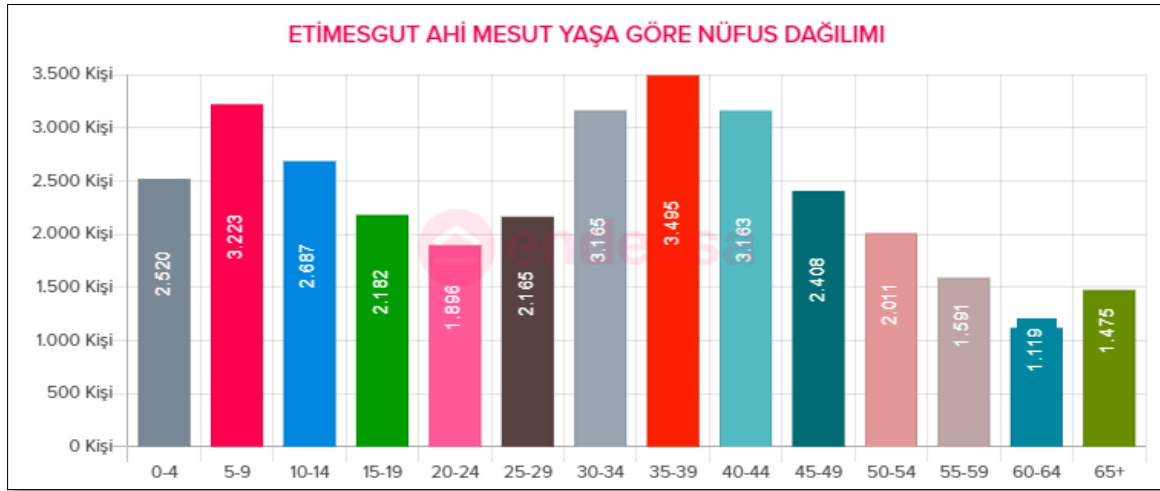
Ahimesut mahallesine ait ENDEKSA firması tarafından üretilen 2023 yılı hane halkı büyüklüğü 3,35 olarak verilmektedir. Burada Ahimesut Mahallesi hane halkı büyüklüğü ile Etimesgut İlçesi en yakın değeri olan 2021 yılına ait hane halkı büyüklüğünün (2,99) bir miktar farklılık gösterdiği görülmektedir.

Anne, baba, eş, kadın, erkek, çocuk, emekli vb. tüm toplumsal rollerin getirmiş olduğu çeşitli davranışsal desenler bulunduğundan, farklı kompozisyona sahip aynı birey sayısındaki iki hanenin su tüketimi de farklı olacaktır. Bu bağlamda, hane halkı tiplerine yönelik bilgiler önemli hale gelmektedir. Etimesgut İlçesinin hane halkı tiplerine göre hane halkı sayılarının yıllara sâri değişimi Şekil 3.15'te verilmiştir.



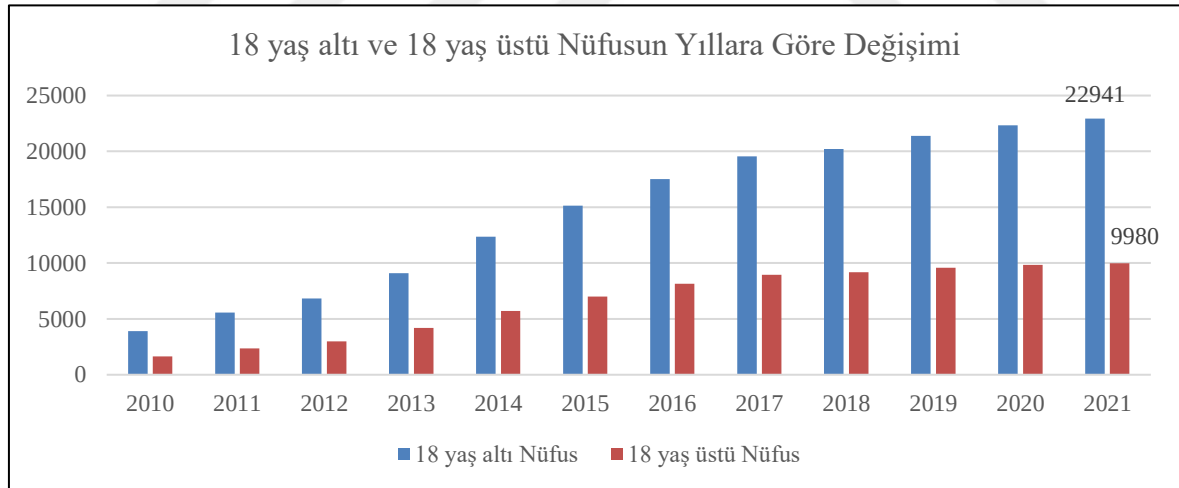
Şekil 3.15. Etimesgut İlçesi hane halkı tiplerine göre hane halkı sayıları (TÜİK, 2021)

Buna göre çekirdek aileden oluşan hane halkı tipi ve eşler ve çocuklardan oluşan hane halkı tipi Etimesgut İlçesi için baskın durumdadır. Diğer taraftan tek kişilik hane halkı, sadece eşlerden oluşan hane halkı ve tek ebeveyn ve çocuklardan oluşan hane halkının dağılımının da birbirine yakın olduğu görülmektedir. Hane halkı demografisinin en net şekilde ifade edildiği veri ise Şekil 3.16'da verilen ENDEKSA firmasının sunmuş olduğu yaşa göre nüfus dağılımı verisidir.



Şekil 3.16. Ahimesut Mahallesi yaşa göre nüfus dağılımı (ENDEKSA, 2024)

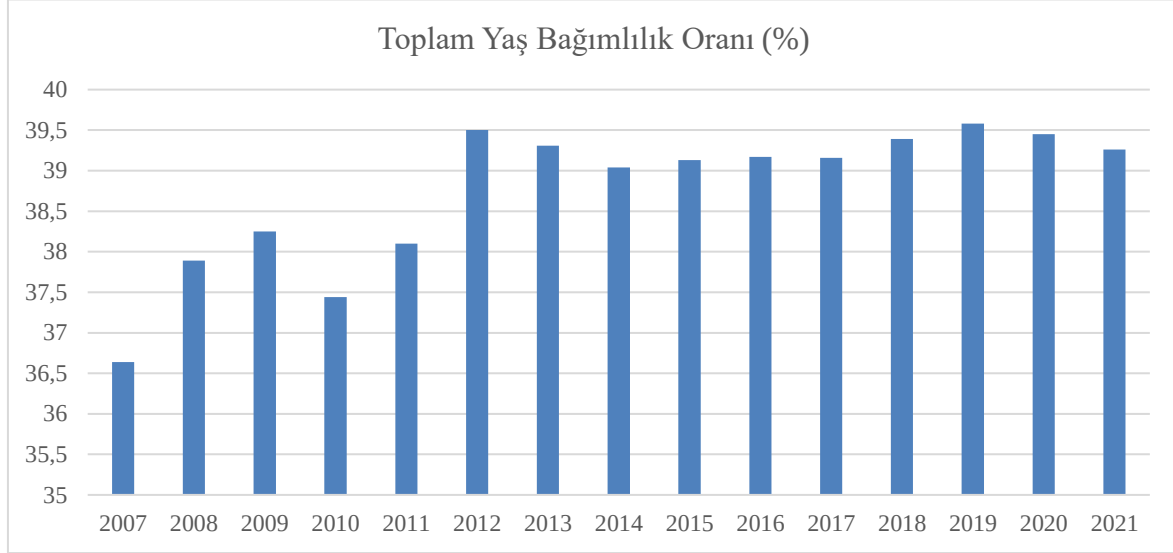
Bu bilgiler, etmen tabanlı simülasyon sürecinde yerleşim biriminin yaş dağılımı üzerinden hane halkı demografisinin ayarlanması konusunda esas alınmıştır. Hane halkının genel davranışı ve su tüketimi eğilimleri konusunda belirleyici olan unsurlardan biri de çalışan/okuyan birey sayısı ve bununla ilişkili biçimde 18 yaş altı ve 65 yaş üstü (emekli) nüfusun oranıdır (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).



Şekil 3.17. Etimesgut İlçesi 18 yaş altı/üstü nüfusun yıllara göre değişimi (TÜİK, 2021)

Bu bilgiler; bağımlı nüfusun oranı, 18 yaş altı ve 65 yaş üstü bağımlı nüfusun oranı gibi parametrelerle ilişkili biçimde ortaya konulabilmektedir. 18 yaş üstü (yetişkin) nüfusun 18 yaş altına oranı % 45 civarındadır. Bu veri doğrultusunda okuyan veya okul çağında bulunan nüfusun oranının tahminen % 55 civarında olduğu varsayımına ulaşılabilmektedir. Diğer

tarafından yetişkinler tarafında 65 yaş üstü bireyler de bulunduğundan, daha belirleyici bir veri olan toplam yaş bağımlılık oranının genel görünümü de önem arz etmektedir (Şekil 3.18).



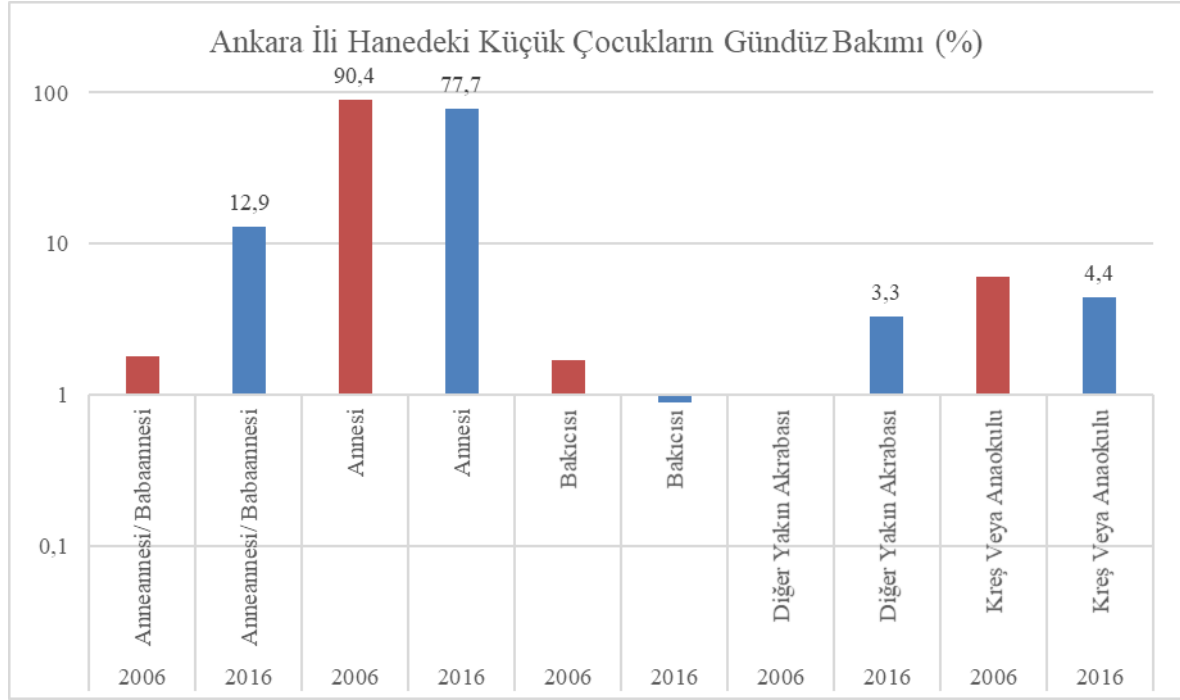
Şekil 3.18. Etimesgut İlçesi toplam yaş bağımlılık oranının yıllara göre değişimi (TÜİK, 2021)

Bağımlı nüfus, çalışma çağına gelmemiş (genç) bireyler ve emekliler gibi iş gücü bakımından etkin olmayan nüfus oranını ifade etmektedir. Bu tez çalışması açısından bu durumun bir önemi bulunmayıp, bu bilgi hane halkı demografisinin genel görünümüne ilişkin bir fikir vermesi bakımından kapsama dahil edilmiştir. Bağımlı nüfusun dağılımı (18 yaş altı ve 65 yaş üstü) hane halkı su tüketimini farklı şekilde etkileyen değişkenlerdendir. Genel olarak emekli bireyler gibi belli bir yaştan üzerindeki bireylerden oluşan hane halkının su tüketiminin, daha genç çiftlerden veya çocuklu ailelerden farklı olması beklenmektedir.

Su tüketimini etkileyen faktörlerden biri de hane halkının gelir durumudur. Hane halkı geliri, bir su tüketimi tahmin parametresi olarak literatürde yaygın olarak başvuru bilgilerdendir. Hane halkı geliri ile ilişkili olarak mevcut bulunan resmi bilgiler mahalle düzeyinde olmadığından, bu konuda resmi bir bilgi bulunamamıştır. Bu nedenle suyun fiyatının su tüketimine olan etkisi, geliştirilen etmen tabanlı modelde kapsam dışı bırakılmıştır.

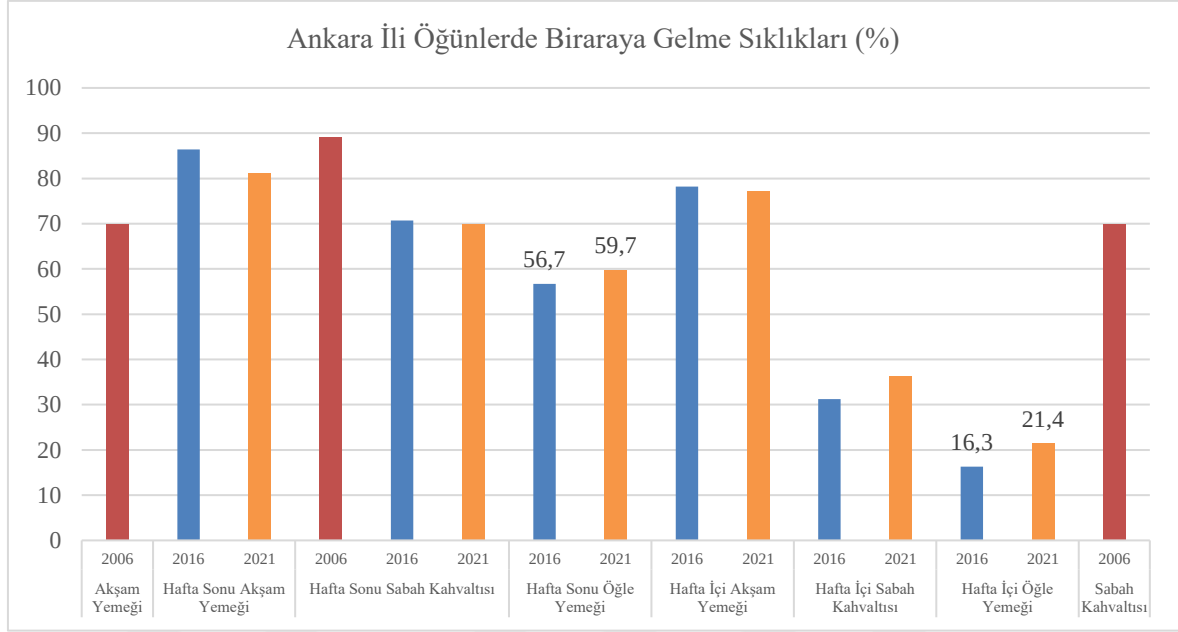
Su talebinin tahmini konusunda, demografik durumla ilişkili biçimde hane halkının gündelik hayatına yönelik detaylar da önem arz etmektedir. Çünkü evde yemek pişirme, bulaşık makinası kullanımı veya hanedeki çocukların bakımı gibi gündelik hayatın genel gidişatına yönelik bilgiler sayesinde su tüketiminin genel hatlarına ilişkin ipuçları elde etmek mümkün

hale gelmektedir. Bu doğrultuda başta Şekil 3.19’da verilen “Ankara İli Hanedeki Küçük Çocukların Gündüz Bakımı” başta olmak üzere sahanın gündelik yaşayışına ilişkin mevcut bilgiler değerlendirilmiştir.



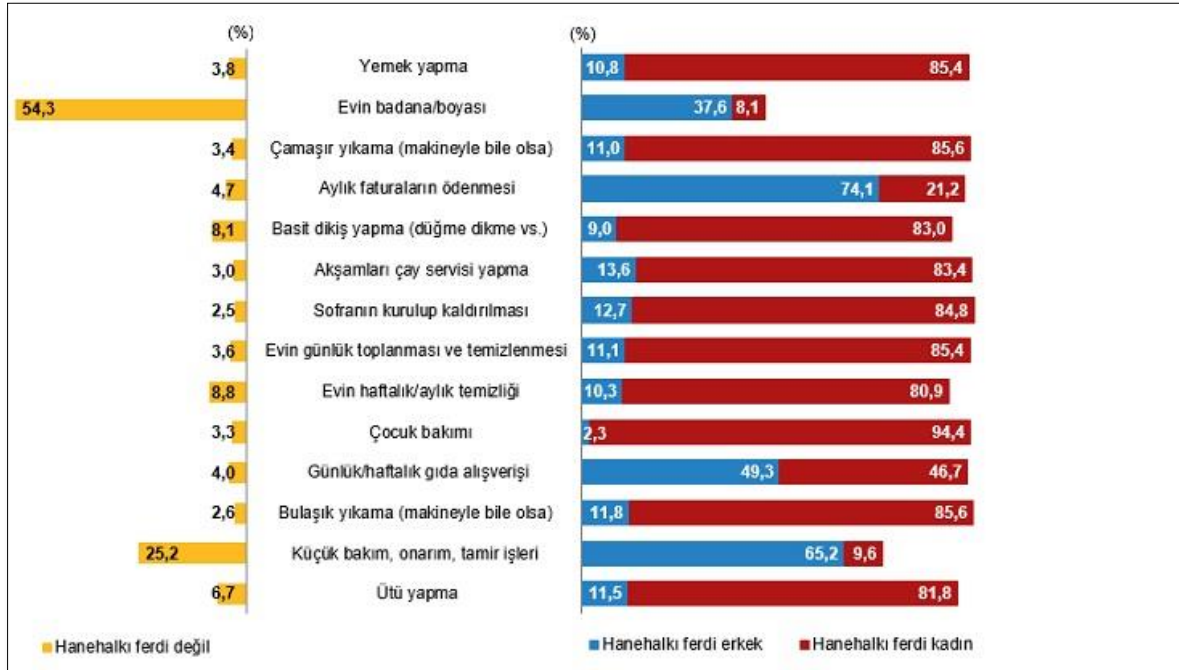
Şekil 3.19. Ankara İli hanedeki küçük çocukların gündüz bakımı (TÜİK, 2020)

Ankara ili genelinde 2006 ve 2016 yıllarına ait olmak üzere annesi veya aile büyüklerinden biri tarafından gündüz bakımının üstlenildiği çocukların oranının da artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Her ne kadar 2021 ve sonrasına ait güncel bir veri bulunmasa da genel eğilim olarak kreş ve anaokulunda gündüz bakımının sonraki süreçte de artışta olduğu değerlendirilmektedir. Benzer şekilde öğünlerde bir araya gelme sıklıkları, hane halkının su tüketimine yönelik temel faaliyetlerinden olan yemek yeme / yemek pişirme ve bulaşık yıkama döngülerine ilişkin ipuçları vermektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Ankara İli öğünlerde bir araya gelme sıklıkları (TÜİK, 2021)

Hane içerisinde yürütülen işlerin dağılımı, su tüketimine neden olan faaliyetlerin ne kadarının dışarıdan hizmet alımı ile gerçekleştirildiğine ilişkin fikir vermesi bakımından önemlidir (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. Hane halkının ev işlerindeki paylaşımı (TÜİK, 2021)

Bununla birlikte, hane halkı ferdi olmayanlarca gerçekleştirilen işler doğrudan yemeğin dışarıdan söylenmesi, dışarıdan yıkama hizmeti alınması gibi yorumların yapılmasına müsait değildir.

3.3. Verilerin Temin Edilmesi

Talep tahmin çalışmaları; hem veri kaynaklı kısıtlar hem bilişim altyapısı hem de insan kaynakları bakımından daha küçük ölçekli saha araştırmaları düzeyinden yürütülebilmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada sıcaklık, yağış gibi çevresel faktörler ile nüfusu, nüfus yapısı, hane halkı demografisi, sosyo-demografik veriler gibi bilgiler Ankara İli, Etimesgut İlçesi, Ahimesut mahallesi ölçeğinde temin edilmiştir. Temin edilen veriler, ilgili kurum veya kuruluşlar ve veriler üzerinde gerçekleştirilen işlemlere ilişkin detaylar Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kullanılan veriler

Veri Başlığı	Kaynak	Veriye ilişkin bilgiler
Aylık Su Tüketim Verileri (m ³)	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (ASKİ)	-ASKİ aylık su tüketim verileri esas alınmıştır. - konutların geçerli ay içerisindeki tüketimleri nedeniyle faturalandırılan su miktarını ifade etmektedir. - Bu veriler model çıktılarının karşılaştırılmasındaki temel veri grubudur ve bu verilerin zamansal ölçeği nedeniyle araştırmanın zamansal ölçeği aylık düzeyde belirlenmiştir. Veri İşleme: Aykırı değer analizi ve yıllık veriye tamamlama (agregasyon) uygulanmıştır.
Günlük Toplam Yağış (mm)	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)	-17129 numaralı Etimesgut Havalimanı istasyonundan alınmıştır. Veri İşleme: Veri tamamlama ve agregasyon -Gerektiği durumlarda diğer yakın istasyonlardan veri tamamlama veya pandemi gibi hiç ölçüm bulunmayan durumlarda geçmiş yılların ortalaması gibi değerlerle tamamlama yöntemi uygulanmıştır.

Çizelge 3.4. (devam) Kullanılan veriler

Veri Başlığı	Kaynak	Veriye ilişkin bilgiler
Günlük Ortalama Sıcaklık (°C)	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)	-17129 numaralı Etimesgut Havalimanı istasyonundan alınmıştır. -Gerektiği durumlarda diğer yakın istasyonlardan veri tamamlama veya pandemi gibi hiç ölçüm bulunmayan durumlarda geçmiş yılların ortalaması gibi değerlerle tamamlama yöntemi uygulanmıştır. Veri İşleme: Veri tamamlama ve agregasyon uygulanmıştır.
Ankara içme suyu sistemi özellikleri	Ankara Büyükşehir Belediyesi, İlhami Ünver	
Ankara barajlara gelen su miktarı	ASKİ	Bu bilgiler çalışma alanı genel karakteristiklerinin anlaşılması bakımından gereklidir.
Ankara iklim sınıflandırması	MGM	
Ankara yıllık alansal yağış ortalaması	MGM	
Ankara İli şebekeye verilen su miktarı	TÜİK	
Ankara İli kişi başı çekilen su miktarı	TÜİK	
Nüfus	TÜİK (Açık kaynaklar)	Verilerin yıllık düzeyde olması nedeniyle doğrusal enterpolasyon yöntemiyle verilerin çözünürlüğü aylık düzeye getirilmiştir.
Yerleşim birimi özellikleri	TÜİK-Endeksa	Yerleşim birimi ve hane halkının demografisine yönelik bilgiler temelde etmen tabanlı modelin parametrelerinin değişim aralıklarının belirlenmesi, simülasyon çıktılarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır.
Hane halkı büyüklüğü	TÜİK-Endeksa	
Ahimesut Mahallesi Hane halkı demografisi (yetişkin, yaşlı, çocuk oranları)	Endeksa	
Etimesgut İlçesi yapı ruhsatlarının yıllar içindeki değişimi	Özdemir, M.H.; Özav, L.; Yasak, Ü., 2020	Bu bilgi, Etimesgut ilçesinin konut/nüfus gelişiminin genel durumunu göstermektedir.
Etimesgut ilçesi hane halkı tiplerine göre hane halkı sayıları	TÜİK	Bu bilgiler simülasyonda hane halkının nasıl yapılandırılacağı konusunda referans alınmaktadır.
Etimesgut ilçesi 18 yaş altı/üstü nüfusun yıllara göre değişimi	TÜİK	
Etimesgut ilçesi toplam yaş bağımlılık oranı	TÜİK	
Ankara İli hanedeki küçük çocukların gündüz bakımı	TÜİK	
Ankara İli öğünlerde bir araya gelme sıklıkları	TÜİK	
Hane halkının ev işlerindeki paylaşımı	TÜİK	

3.4. Veri Ön İşleme / Eksik Veri Tamamlama

Su dağıtım sistemlerinin yönetimi için oluşturulan izleme ve denetim sistemleri, farklı sensör türlerinden toplanan veriler sayesinde tüm sistemin gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak sunarak, su temin altyapısının pek çok bileşenine ilişkin zaman serilerinin üretilmesini mümkün hale getirmektedir. Ancak verilerin kalitesi nedeniyle sistemin gerçek durumu ile üretilen modeller arasında sapmalar ortaya çıkabilmektedir. Bu durumun temel sebeplerinden biri türetilmiş verilerle çalışılması veya uygulanan veri işleme yöntemleri nedeniyle verilerin gerçek durumu temsiliyet oranının azalmasıdır. Ancak, verilerin hiçbir ön işleme tabi tutulmaksızın kullanılması neticesinde de çeşitli sapmalar ortaya çıkabilmektedir. Doğal sistemlerin yapısındaki kaotik süreçlerin bir etkisi olarak ortaya çıkan aykırı değerler gibi çeşitli “hata” faktörlerinin elimine edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, su tüketim verileri başta olmak üzere araştırmada kullanılacak tüm veriler aşağıda belirtilen kriterler doğrultusunda dikkatli biçimde değerlendirilmiştir:

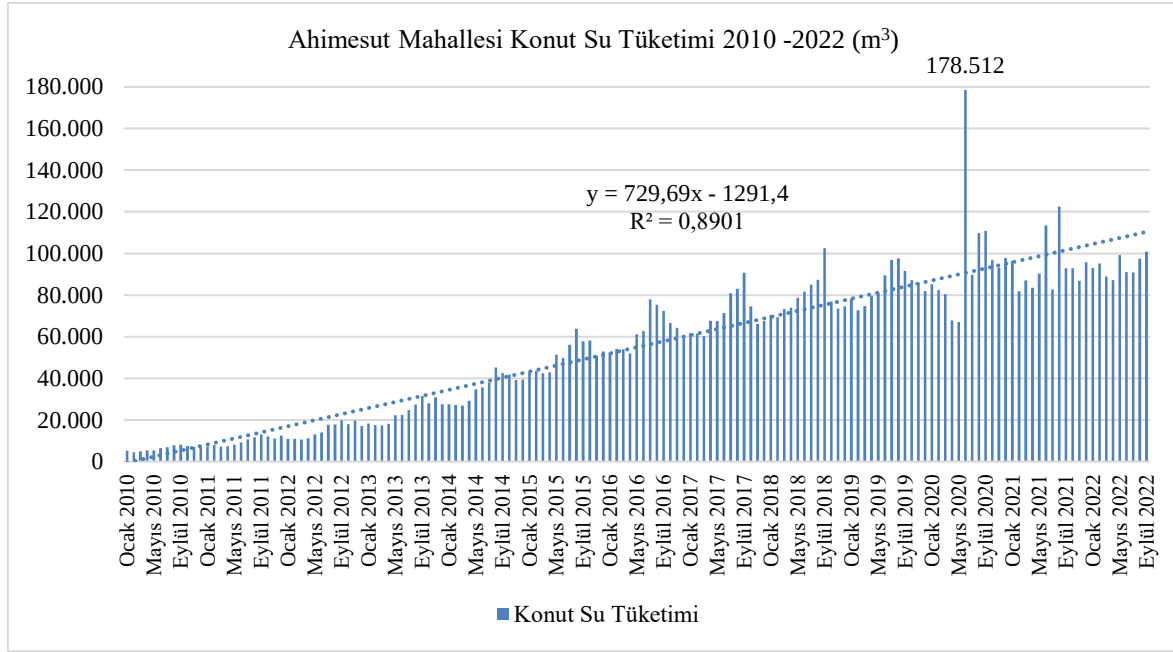
- Su tüketim verileri metreküp biriminden aylık su kullanımını ifade etmektedir. Etmen tabanlı modelde etmen sayısı ölçeklenmemiş olup, doğrudan su tüketim verilerindeki hane halkı sayıları esas alınmıştır. Bu nedenle su tüketim verilerinde herhangi bir birim dönüşümü ya da logaritmik dönüşüm benzeri veri ölçeklendirmesi öngörülmemiştir.
- Su tüketimi aylık kümülatif verilerdir. Araştırma bu veriler üzerinden yürütülmektedir. Ancak etmen tabanlı model ile üretilen sonuçların yorumlanmasında kolaylık sağlaması bakımından aylık hane halkı tüketimi ve hesaplanmış nüfus verileri üzerinden aylık kişi başı tüketim verileri de kullanılmıştır.
- Araştırmadaki hiçbir veri üzerinde birim dönüşümü uygulanmamıştır.
- Etmen tabanlı model ile günlük su tüketimi verisi üretilmektedir. Bu verilere, ASKİ verileriyle karşılaştırılmak üzere önce haftalık, sonra da aylık agregasyon uygulanmıştır.
- Yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler için eksik verilerin tamamlanmasında ortalama ile değiştirme, en yakın istasyondan veri alma gibi ikame yöntemlere başvurulmuştur.
- Araştırmada su tüketim verilerinin analizi için yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler ile hane halkı büyüklüğü, çocuk sayısı, yaşı gibi demografik parametrelerden yararlanılmıştır. Bu değişkenlerin su tüketimi ile bire bir ilişkisinin değerlendirilmesine imkân sağlayan regresyon yöntemi kullanılmıştır.

- Zaman serisi analizine konu olan su tüketim verilerinde eşit zaman aralıklı (aylık) veriler kullanılmıştır. Ancak yağış verilerinde yağış olayının doğasından kaynaklanan kesikli verilerle çalışılmıştır. Doğal bir süreç olarak yağışın yapısındaki bu durumun araştırmaya olan tüm etkileri ve oluşturabileceği yanlılıklar ihmal edilmiştir.
- Su tüketim verilerinde zaman serisinin genel gidişatına aykırı görünen 1 değer mevcuttur. Aykırı değer için istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Aykırı değer dikkate alındığı bir yöntem uygulanmamıştır.
- Su tüketimi; saatlik, günlük, haftalık, aylık, mevsimsel, yıllık veya birkaç yıllık düzeyde dönemsellikler gösterebilen bir veridir. Bu araştırma kapsamında etmen tabanlı modelin günlük çıktıları haftalık ve aylık dönemlere dönüştürülerek ASKİ verileriyle uyumu denetlenmiştir.
- Su tüketimi verileri zamansal ölçekte kararlı bir artış eğilimi sergilerken, yağış verilerinde geriye dönük 10 yıllık süreçte iki farklı dönemin mevcudiyeti göze çarpmaktadır. Bu durumun yöntemsel bir değişimden ziyade sürecin kendi içindeki değişiminden ileri geldiği değerlendirilmektedir.
- Aylık su tüketim verilerinde otokorelasyon mevcuttur. Otokorelasyon, bir zaman dilimindeki su tüketiminin, kendinden önceki su tüketimleriyle ilişkili olarak değişim gösterdiğini ifade etmektedir. Otokorelasyon hem su tüketimi hem de sıcaklık verilerinde mevcuttur. Otokorelasyon verinin geleceğe yönelik kestirimlerin yapılabilmesini mümkün hale getiren doğal süreçlerin bir yansımasıdır. Hali hazırda bu tezin kullandığı SARIMA ve benzeri zaman serisi analizi yöntemlerinin temel varsayımı verilerde otokorelasyon bulunmasıdır.

Bu değerlendirmeleri müteakip, bu bölümde araştırma için kullanılacak verilerin sunulması, araştırmanın kapsamını ilgilendiren çeşitli hususların anlaşılması bakımından gerekli görülmektedir.

3.4.1. Aylık su tüketimi ve nüfus verilerinin analizi

Araştırmada kullanılan temel veri, aylık su tüketim miktarıdır. Verinin iki temel bileşeni bulunmaktadır. Bunlar konutlar düzeyinde abone sayısı ve bu konutların toplam aylık su tüketimidir. Aylık su tüketim verilerinin değişimi Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri

Grafiğe göre 2010 yılı Ocak ayından 2022 Temmuz ayına kadarki süreçte Ahimesut Mahallesi su tüketiminin doğrusal biçimde arttığı görülmektedir. Yıl içinde su tüketiminin yoğun biçimde yüksek ve düşük artışlar sergilediği dönemlerin varlığı açıkça görülmektedir. Bu dönemsellikler su tüketimi verilerinin doğası gereği ortaya çıkmaktadır ve zamansal ölçek haftalık, günlük veya saatlik düzeye indirildiğinde daha belirgin hale gelebilmektedir. Ancak, su tüketim verileri yalnızca aylık ölçekte temin edilebilmektedir.

Verinin zamansal derinliği konusunda ilgili İdare yetkilileriyle yapılan görüşmelerde, mahalle düzeyinde yalnızca aylık ölçekte veri mevcut olduğu ifade edilmiştir (ASKİ, 2022). Bu nedenle araştırma düzeyinde ortaya çıkan ilk problem, modelleme çalışması sonucunda üretilen günlük veya haftalık çıktıların, aylık su tüketimi ile karşılaştırılması esnasında ortaya çıkabilecek dönemselliklerin yakalanamaması riskidir. Bu doğrultuda araştırma tasarımı etmen tabanlı modellemenin yanı sıra zaman serisi analizinden yararlanılması hedeflenmiştir.

Zaman serisi analizi, verinin mevsimsel değişim ve trend arz eden kısımlarının ayrıştırılmasına ve bir modele uygunluğu konusunda yorum yapılmasına olanak sunmaktadır. Ancak zaman serisi analizi zamansal çözünürlüğün geriye dönük şekilde iyileştirilmesine (yıllık verilerden aylık, aylık verilerden haftalık veya günlük verilerin

üretilmesi) yönelik bir olanak sunmadığından, verilerdeki bu handikap ısı transfer fonksiyonu kullanılarak aşılmaya çalışılmıştır.

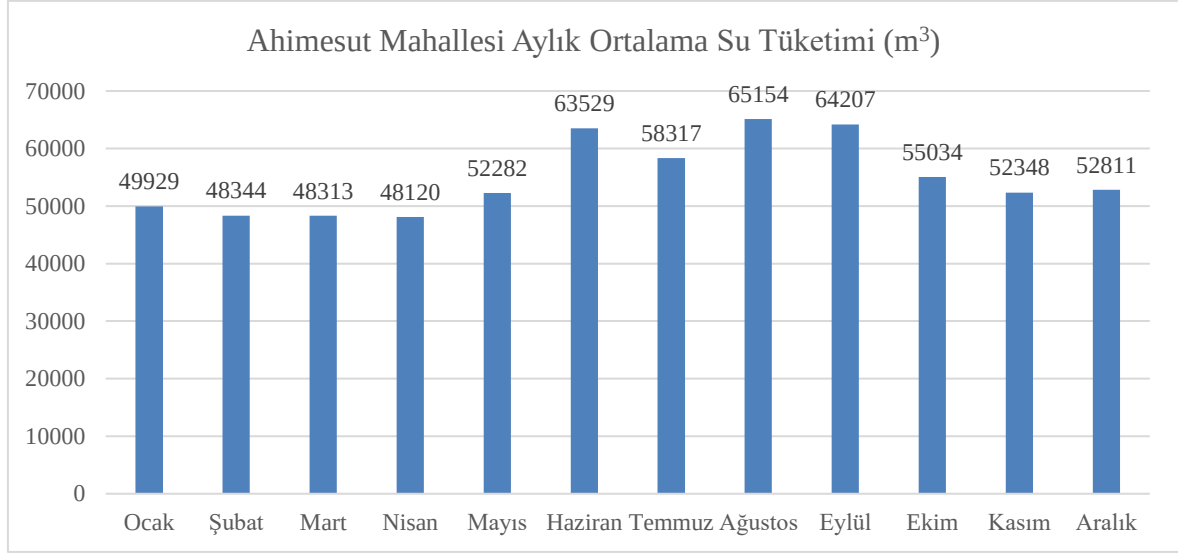
Maidment vd. (1985) tarafından önerilen ısı transfer fonksiyonu ve yağışlı dönemlerdeki değişimler kullanılarak su tüketiminin haftalık ölçekte ortalama gösterdiği sapmalar tespit edilerek haftalık su tüketimine yansıtılması sağlanmıştır. Diğer taraftan geliştirilen etmen tabanlı modelin çıktıları da bu haftalık değişimleri yakalayabilecek zamansal ölçeklerde (günlük, haftalık ve aylık) üretilmiştir.

Araştırmada kullanılan su tüketim verilerinin aylık değişimlerine değinmek gerekirse, Şekil 4.24'te görüldüğü üzere verilerin istikrarlı gidişatı bütün veri seti boyunca yalnızca 1 noktada (Haziran 2020) sekteye uğramaktadır. Haziran 2020 dönemine ait su tüketim verisi 2010-2022 arası haziran ayı ortalaması olan 63.529 m³ ile değiştirildiğinde ve Mayıs 2020 ve Temmuz 2020 dönemlerinin ortalaması ile değiştirildiğinde verilerin genel görünümü Çizelge 3.5'teki gibi olmaktadır. Her ne kadar 153 adet veriden oluşan bir zaman serisindeki bir değer değişimi tüm serinin genel gidişatını çok az miktarda etkileme potansiyeline sahip olsa da önceki/sonraki ayların ortalamasının, Haziran ortalamasına kıyasla R² değerinde daha büyük iyileşmeye neden olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.5. Aykırı değer düzeltilmesindeki alternatifler

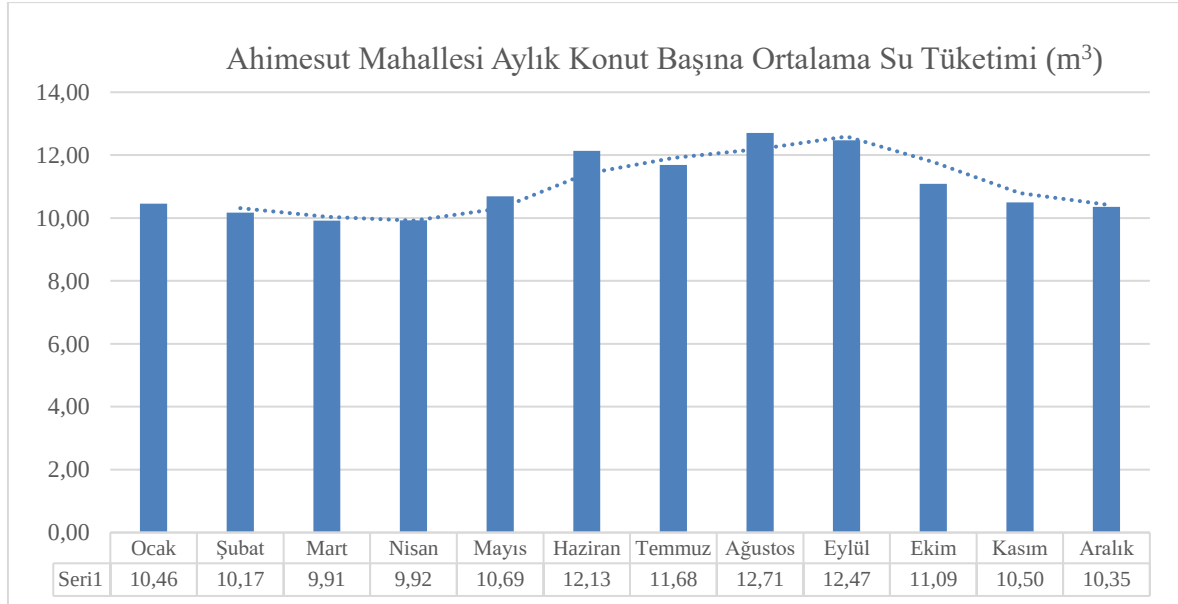
Yöntem	Yeni Değer	R ²
Haziran ortalaması ile değiştirme	63.529	0,9238
Önceki/sonraki ay ortalaması ile değiştirme	78.378	0,9273

Toplam su tüketiminin aylık değişimi (Şekil 3.23) incelendiğinde aylık toplam su tüketimi ortalamasının en yüksek (Eylül) ve en düşük olduğu (Nisan) dönemler arasında % 36'ya varan farkların ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durum, aylık su tüketiminin yadsınamaz biçimde farklılık arz ettiği bir yıl içi dönemselliğe işaret etmektedir. Ayrıca konut başına aylık ortalama su tüketiminin değişimi (Şekil 3.24) de aynı dönemselliği teyit etmektedir.



Şekil 3.23. Ahimesut Mahallesi aylık toplam su tüketiminin değişimi

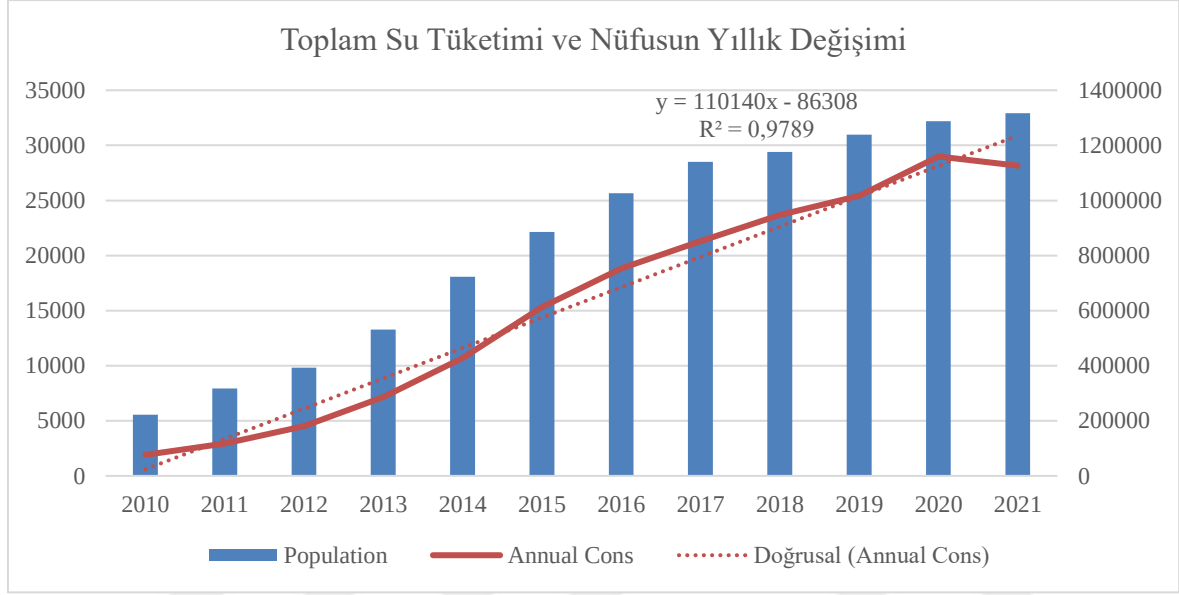
Konut başına aylık ortalama su tüketiminin en yüksek (Ağustos) ve en düşük (Mart) olduğu dönemler açık biçimde su tüketiminin birbirinden farklı olduğu iki veya daha fazla döneme işaret etmektedir. Burada da en düşük ve en yüksek değerler arasında yaklaşık %28 oranında farklılık olduğu görülmektedir. Bu durum, konutların ortalama su tüketiminde de toplam aylık tüketime benzer şekilde bir dönemsellikle karşılaşıldığını göstermektedir.



Şekil 3.24. Ahimesut Mahallesi aylık toplam su tüketiminin değişimi

Ahimesut mahallesi nüfus / su tüketim ilişkisi (2010- 2021)

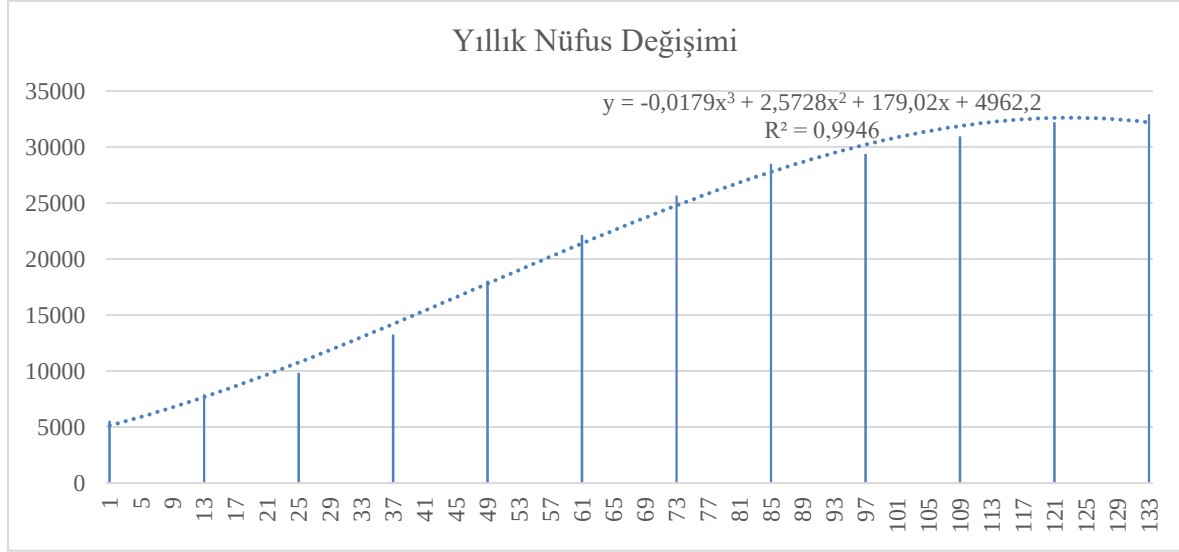
Su tüketiminin yıllara sâri değişimi ve nüfusun gelişimi (Şekil 3.25) bir arada değerlendirildiğinde su tüketiminin nüfusla doğru orantılı biçimde artış kaydettiği görülmektedir.



Şekil 3.25. Ahimesut Mahallesi yıllık toplam su tüketimi ve nüfusun değişimi (ASKİ, 2022)

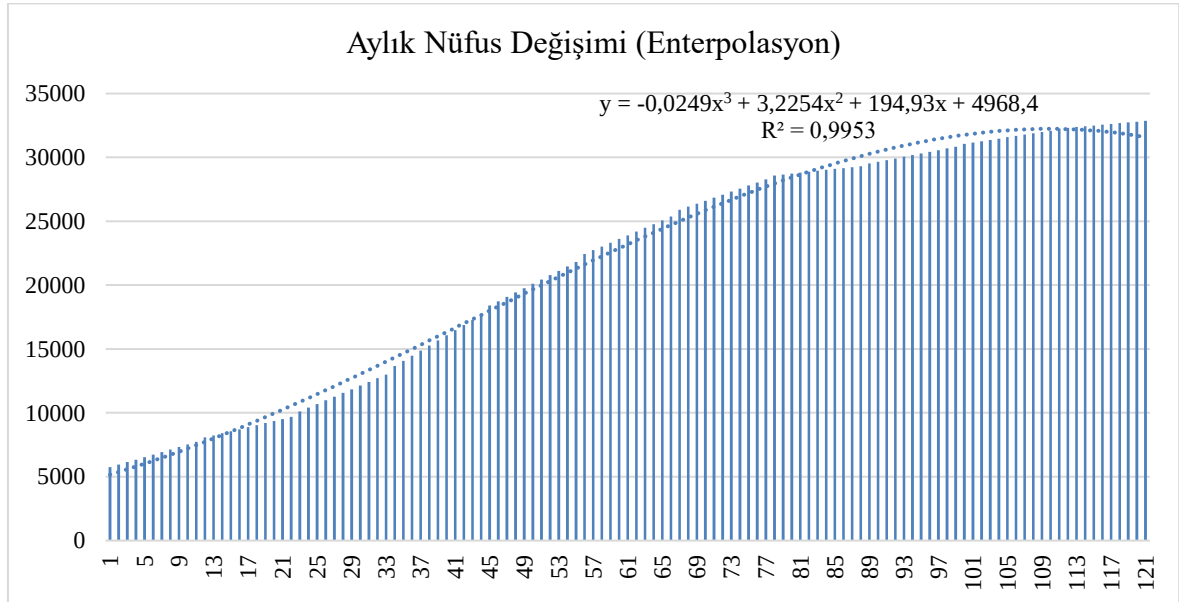
2010 yılından itibaren gerçekleşen hızlı kentleşme (Şekil 3.13) ve nüfus yoğunluğunun artışı (Şekil 3.26) gözetildiğinde, nüfusun aylık düzeyde doğrusal biçimde artış gösterdiği kabulünün yapılması makul bir yaklaşım olmaktadır (Şekil 3.27).

Daha detaylı biçimde değerlendirildiğinde su tüketimi ve nüfusun yıllık değişimlerinin büyük oranda doğrusal bir ($R^2 = 0,978$) şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan 2020 yılından itibaren nüfusun gelişiminin tamamlanma eğilimine girdiği, bu doğrultuda su tüketiminin de görece dengeli bir seyire ulaşması mümkün görünmektedir. Nitekim su tüketim verileri de bu durumu teyit etmektedir.



Şekil 3.26. Ahimesut Mahallesi yıllık nüfus değişimi

Bu tezde kullanılan temel veriler olan su tüketim verilerinin zamansal çözünürlüğü aylık düzeyde olduğundan, nüfus dahil diğer bütün verilerin aylık düzeydeki verilere dönüştürülmesi gerekmektedir. Nüfus verileri açısından bu durum, verilerin yıl içerisinde öngörülebilir bir değişim gösterdiğinin kabul edilerek, enterpolasyon yöntemiyle aylık nüfus verisi üretilmesini gerektirmektedir (Şekil 3.27).



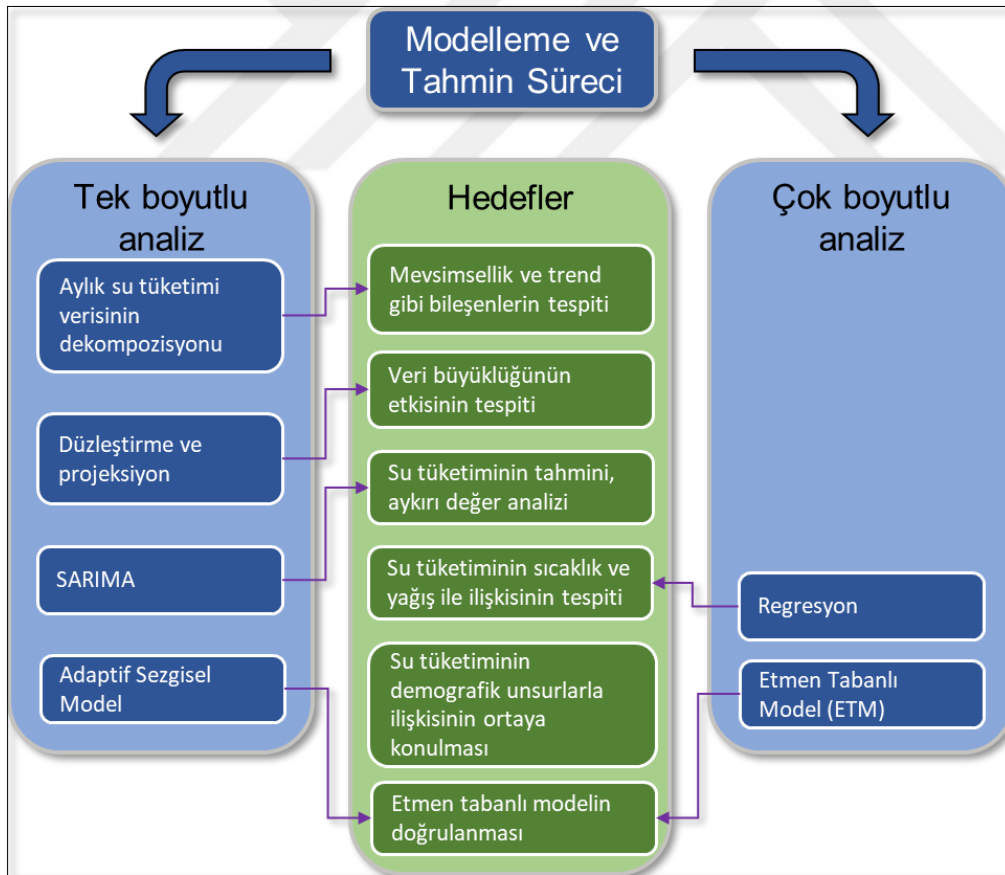
Şekil 3.27. Ahimesut Mahallesi aylık toplam su tüketiminin değişimi

Aylık nüfus verilerinin enterpolasyonunda quadratik dönüşüm fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon türü yıllık verilerdeki “sigmoidal” olarak nitelendirilebilecek genel yapıyı

yansıtma özelliği nedeniyle tercih edilmiştir. Aylık nüfus verilerinin kestirimi özellikle Etmen Tabanlı Model aşamasında üretilen nüfus bilgilerinin doğruluğunun teyit edilmesi bakımından önem arz etmektedir.

3.5. Tahmin ve Modelleme

Tahmin ve modelleme süreçlerinin temel amacı, aylık su tüketiminin tahminine ve konutlarda su tüketimini etkileyen faktörlerin açıklanmasına yönelik mevcutta kullanılan yöntemlerin (zaman serisi analizi, Adaptif Sezgisel Model ve regresyon) bir araya getirilerek bu yöntemlerden elde edilen bilgiler doğrultusunda hibrit bir tahmin-model (etmen tabanlı modelleme) çerçevesi oluşturulmasıdır. Bu yöntemleri yalnızca su tüketim verisinin kullanıldığı ve sıcaklık, yağış gibi diğer verilerin de kullanıldığı iki başlık altında sınıflandırmak mümkündür (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Modelleme ve tahmin sürecinde kullanılan yöntemler ve hedefler

Bunlardan ilki, sadece aylık su tüketim verileri kullanılarak oluşturulan (tek boyutlu) modellerdir. Bu modellerin temel hedefi, (ayrıştırma yoluyla) verilerin (mevsimsellik, trend, otokorelasyon vb.) genel özelliklerinin ortaya konulması, (veri düzeltme ve projeksiyon yöntemleri ile) veri büyüklüğünün sürece etkisinin analiz edilmesi, (otoregresif modeller-SARIMA kullanılarak) su tüketiminin tahmini ve (sezgisel modeller ile) etmen tabanlı modellerin doğrulanmasıdır.

Aylık su tüketimine ilaveten sıcaklık, yağış veya hane halkı demografisi gibi diğer unsurların kullanıldığı (çok boyutlu) modellerde ise su tüketimini etkileyen unsurların tespit edilmesi ve bunların su tüketimine olan etkisinin açıklanması hedeflenmektedir. Örneğin regresyon (MLR) ile aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verilerinin, aylık su tüketimi üzerindeki etkisi analiz edilmektedir. Çok boyutlu analiz ve modelleme sürecinin nihai çıktısı olan etmen tabanlı modeller ise hem tek boyutlu analiz süreçlerinden gelen bilgiler hem de demografik unsurlara yönelik bilgiler üzerinden şekillendirilen simülasyon süreçleri sonucunda, gündelik hayatın su tüketimi üzerindeki etkisinin analiz edilmesini sağlamaktadır.

3.5.1. Tek boyutlu analiz

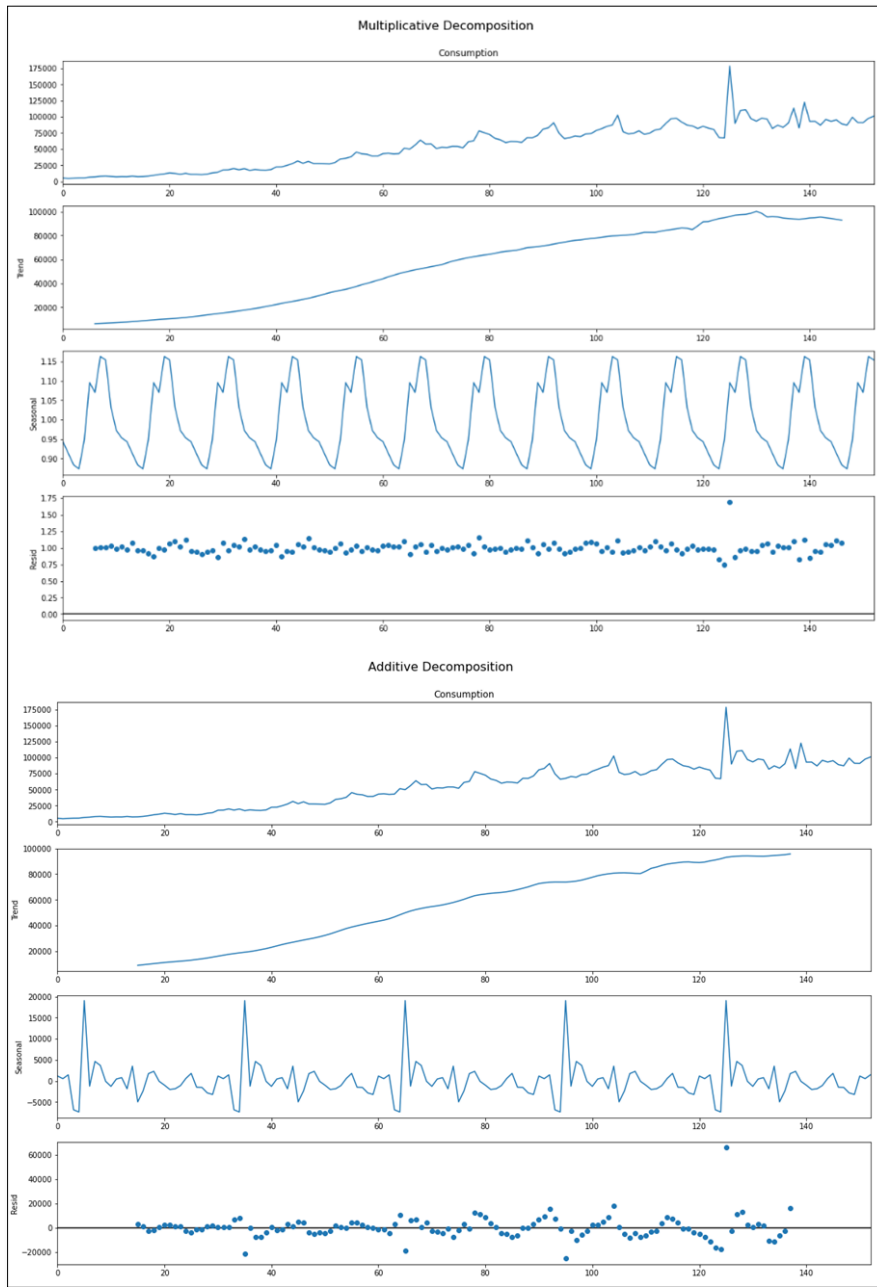
Zaman serisi analizinde tek değişkenli (univariate) yani sadece zaman serisinin kendisine ait verilerin bulunduğu durumlarda uygulanabilecek yöntemler;

- zaman serisi ayrıştırma,
- düzeltme (smoothing) yöntemleri ve Box-Jenkins modelleri olarak da bilinen ARIMA modelleridir.

Bu modeller mevsimsel (SARIMA) veya dış etkenlerin sürece dahil edildiği (ARIMAX) gibi birbirinden farklı uygulamaları kapsamaktadır. Bununla birlikte tüm ARIMA modellerinin geçerliliğinin temelinde yatan bir dizi varsayım bulunmaktadır. Bunlardan ilki, serinin normal dağılıma sahip olup olmadığıdır. Diğer taraftan ARIMA süreci, seri değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayımına dayanmaktadır. Ayrıca serinin durağan olup olmaması da modelin kurulumundaki adımları etkilemektedir. Bu nedenle Bölüm 3.5.1.3 Otoregresif Modeller ve SARIMA altında verilerin durağanlık analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Zaman serisi ayrıştırma

Zaman serisi analizi, verinin mevsimsel değişimler ve trend arz eden kısımlarının ayrıştırılmasına ve bir modele uygunluğu konusunda yorum yapılmasına olanak tanıdığından ilk olarak verilerin eğilim, mevsimsellik ve kalıntı gibi bileşenlerinin elde edilmesini sağlayan dekompozisyon yöntemi uygulanarak kalıntı (residual) değerlerinin dağılım durumu kontrol edilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Ankara Ahimesut Mahallesi su tüketimi zaman serisi ayrıştırma detayları

Bu maksatla Ankara şehir şebekesine bağlı 2023 yılı itibariyle nüfusu 33 bin olan Ahimesut Mahallesinin 2010 ve 2022 yıllarını kapsayan su tüketim verilerine ilk olarak zaman serisi ayrıştırma yöntemi uygulanmıştır. Bu maksatla veriler bir Python kodlama ortamı olan Spyder üzerinde numpy, pandas, scipy, statsmodel, matplotlib gibi temel veri analizi kütüphanelerinin ilişkili fonksiyonları kullanılarak işlemeye uygun hale getirilmiştir. Statsmodel kütüphanesinin seasonal_decompose fonksiyonu kullanılarak su tüketim verilerinin toplamsal ve çarpımsal ayrıştırma üretilmiştir.

Toplamsal ve çarpımsal ayrıştırma terimleri zaman serisinin karakteristikleri doğrultusunda oluşturulabilecek iki farklı modeli temsil etmektedir. Şekil 3.29'da 153 adet aylık su tüketimi verisinden oluşan zaman serisinin ayrıştırma detayları verilmiştir.

Buradan su tüketiminin trend ve mevsimsel bileşenlere sahip olduğu görülmektedir. Kalıntı (residual) değerlerinin ise rastsal biçimde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, verilerin bir sonraki bölümde değinilecek olan SARIMA yöntemiyle modellemeye elverişli durumda olduğunu göstermektedir.

Düzleştirme yöntemleri

Su tüketimi verileri gibi bir zaman serisi arz eden veri gruplarıyla yapılan projeksiyon ve kestirimlerin arka planındaki temel fikir “*gelecekteki koşulların geçmiştekiler gibi olması*” durumunda isabetli tahminler yapılabileceği” düşüncesidir. Özellikle su talebi için, nüfusa bağlı düzenli bir artışın olması, yıl içi mevsimselliklerin mevcut olması ve tüketimin bir nevi döngüsel (sinüzoidal) bir değişime sahip olması da tahminlerin gücünü artırmaktadır.

Bütün kestirim faaliyetinin temelinde deneme yanılma yöntemi bulunmaktadır. Yani gelecekteki koşulların geçmiştekilere benzer olacağı varsayımına dayanarak, eldeki veriyi tahmin gücünün en yüksek olduğu projeksiyon yönteminden yararlanılarak tahminlerin üretilmesidir. Doğal sistemlerin yapısındaki karmaşıklık ve değişkenlik bir tarafa bırakılırsa, tahminlerin doğruluğunu etkileyen en önemli hususlardan biri verilerin kalitesidir. Bozuk verilerle yapılan bir çalışmada, kullanılan yöntemler doğru olsa bile üretilen sonuçlar gerçek durumu yansıtmayacaktır. Dolayısıyla veri büyüklüğünün tahmin doğruluğu üzerindeki etkisinin belirlenmesi de bu tez kapsamında önemli bir araştırma konusu haline gelmektedir. Bu tezde EMA, WMA, LTP, QTP, Holt's DES ve Holt-Winters gibi düzleştirme

yöntemlerinin, verilerin sahip olduğu varyans miktarını açıklama oranı üzerinden veri büyüklüğünün tahmin doğruluğuna etkisi değerlendirilmiştir.

Bu doğrultuda seçilen projeksiyon yöntemleriyle seçilen hata göstergelerinin birlikte değerlendirildiği bir “kestirim doğruluğu” matrisi oluşturulmuştur. Bu araştırmada kullanılan projeksiyon yöntemleri ve bu yöntemlerin tahmin doğruluğunu tespit etmek amacıyla kullanılan hata göstergeleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Projeksiyon yöntemleri ve hata göstergeleri

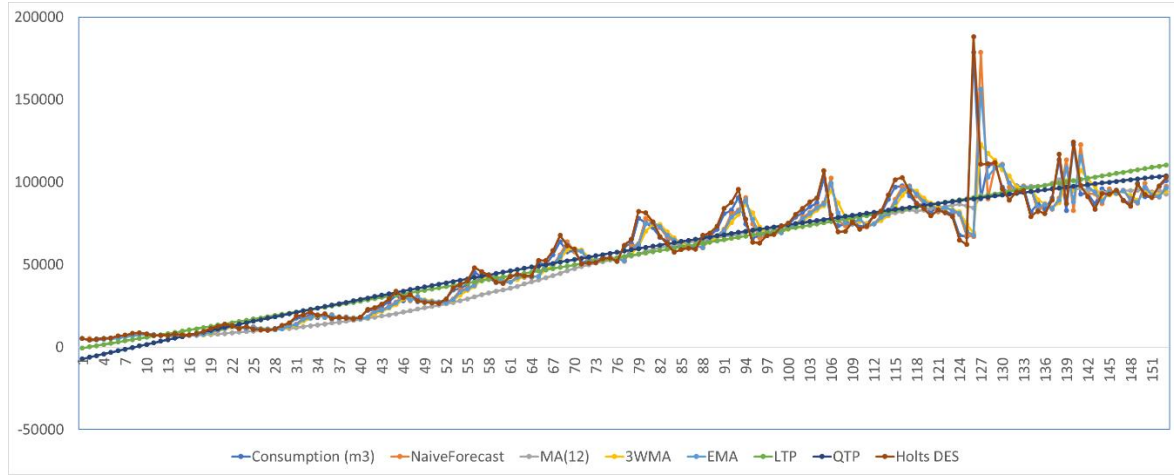
	Hata Göstergeleri				
Yöntem	MAE	MSE	MAPE	sMAPE	MASE
Naïve	Her yönteme ilişkin hata skorlarının değişimi				
EMA					
WMA					
LTP					
QTP					
Holt’s DES					
Holt-Winters					

Naïve dönüşüm diğer yöntemlerin başarı düzeyinin değerlendirilmesinde bir ölçüt olarak ele alınmaktadır. Ağırlıklı hareketli ortalama (WMA) ise örneğin daha güncel verilerin ağırlığı daha yüksek alınarak, üretilen serideki etkisi artırılabilir. Üstel hareketli ortalama Naïve yaklaşım veya WMA gibi hareketli ortalama ölçülerinden farklı olarak hesaplamalar, önceki tahminler de hesaba katılarak gerçekleştirilmektedir.

Bu yöntemde, bir önceki zaman aralığına ait gerçek veri ve tahmin değerleri, ikisinin toplamı 1 olacak şekilde ağırlıklandırılmaktadır. Doğrusal modelde (LTP) verilerin zamanla değişiminin düzenli olduğu değerlendirilmektedir. Temel varsayım, her bir (t) zamanda ölçümlenen değerin belirli bir miktar artması veya azalmasıdır.

Doğrusal olmayan trend projeksiyonu, doğrusal trend testinde aşırı düşük R^2 değeri elde edildiğinde uygulanabilecek bir yöntemdir. Ancak doğrusal trend projeksiyonu gibi doğrusal olmayan projeksiyonlarda da veriye aşırı uyumlanma (overfitting) söz konusu olabilmektedir.

Holt İkili Üstel Projeksiyon (Holt's DES) yönteminde düzleştirme yöntemleriyle hesaba katılmayan eğilim (trend) bileşeni de hesaplamaya katılmaktadır. Holt-Winter's veya Üçlü Üstel Düzeltme yönteminde (Triple Exponential Smoothing), Holt DES yöntemindeki modele bir mevsimsel bileşen eklenmektedir. Şekil 3.30'da bu tez kapsamında incelenen düzleştirme yöntemlerinin veri üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 3.30. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri ve düzleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması

Genel olarak bir eğilim (trend bileşeni) elde etme konusunda hareketli ortalamanın zaman penceresinin veriye uygun biçimde seçilmesi gerektiği açık biçimde görülmektedir. Örneğin bu tezde kullanılan aylık su tüketimi verilerinin 12 aylık bir ölçekte mevsimsellik göstermesi nedeniyle MA12 hareketli ortalamasının net biçimde eğilim (trend) bileşenini tespit etmeye elverişli olduğu görülmektedir.

Veri analizi ve modelleme süreçlerinin nihai noktası eldeki modeller ile üretilen çıktıların hata düzeyinin raporlanmasıdır. Raporlamada çok çeşitli hata ölçüleri kullanılmaktadır. Bu araştırmada birden fazla hata ölçüsüyle raporlama yapılması tercih edilmiştir. Bunun temel nedeni ise raporlanan bilgilerin anlamlılık düzeyiyle birlikte araştırmada kullanılan projeksiyon setinin de birden fazla hata ölçüsü kullanımını gerektirmesidir. Örneğin Naïve yaklaşım temel karşılaştırma kriteri olarak belirlendiğinden, MASE hata ölçüsünün kullanılması da zorunlu hale gelmektedir. Çünkü MASE hata ölçüsü, Naïve yaklaşım için “1” kabul edilerek diğer projeksiyonların başarımı da bu ölçü üzerinden değerlendirilmektedir.

Örneğin 1'den büyük MASE değeri, projeksiyonun Naïve yaklaşıma göre hata oranının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumda, projeksiyon yönteminin veri setini tahmin konusunda Naïve yaklaşımdan daha az başarılı olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, veri analizi ve tahmin konusunda temel bir hareket noktası teşkil eden Naïve yaklaşımın ürettiği hata serilerinin incelenmesi de verilerin genel gidişatını gösteren ve daha ileri tekniklerin seçimi konusunda fikir verebilecek bir yöntemdir.

MAE ölçüsünün en temel özelliği, orijinal veriyle aynı birimde olmasıdır. Bu nedenle anlaşılması kolay bir performans kriteridir. Diğer taraftan başka birimlerde verilen ya da farklı ölçekler kullanılan zaman serileriyle karşılaştırılma olanağı kısıtlıdır. MAE ile benzer şekilde model performansının veriyle aynı birim üzerinden değerlendirilmesini sağlayan diğer bir ölçüt de RMSE'dir. RMSE, hataların karesel değerlerinin toplamını gösteren MSE bileşeninin hesaplama sonunda karekök alınmasıyla elde edilmektedir. MAPE ile hataların yüzdelere üzerinden ifade edilmesinin veriyi standartlaştırıcı etkisinden yararlanılmaktadır.

sMAPE gerçek değer ile tahminin orta noktasını vermektedir. sMAPE hesaplaması bir anlamda tahmini değer ile gerçek değerlerin ortalamasını almak anlamına gelmektedir. sMAPE ölçütünün de hata değerlerini standartlaştırması nedeniyle bu ölçütün kullanılması, projeksiyon yöntemlerinin değerlendirilmesinde önemli bir avantaj sunmaktadır. MASE ölçütü ile diğer projeksiyon yöntemlerinin Naïve yaklaşıma göre veri tahminindeki performansı değerlendirilmektedir.

MASE ölçütünün önemli bir özelliği ölçek veya birimden bağımsız olmasıdır. Diğer taraftan sıfırın yaygın olduğu veri kaynakları için de uygulanabilir bir ölçüttür. Diğer taraftan bazı hata ölçütlerinin pozitif ve negatif değerler ya da küçük veya büyük hata değerleri arasındaki farkların artırma veya azaltma gibi etkileri MASE ölçütünde bulunmamaktadır. MASE hata ölçütünün nihai özelliği Naïve yaklaşımla karşılaştırma olduğundan, Naïve yaklaşım için MASE ölçütü 1 olarak bulunmalıdır. Çünkü Naïve yaklaşım hatalarının toplamı yine kendisiyle karşılaştırılmaktadır.

Otoregresif modeller ve SARIMA

Bir zaman serisinin birbirini takip eden zaman dilimleri içerisindeki değişimlerinin birbirine katkısı, bu zaman serisinin gözlemleri arasındaki otokorelasyonu ifade etmektedir. Bu

otokorelasyonun modellenmesi, otoregresif bir modelin üretilmesi anlamına gelmektedir. Bir zaman serisinin AR yani “autoregresif” modelinin oluşturulmasında serinin durağan olmasının yanı sıra doğrusal karakteristikte olması da gerekmektedir.

Otoregresif model, bir önceki bölümde ele alınan hareketli ortalama (MA) yöntemleriyle entegre edildiğinde (I), ARIMA modeli ortaya çıkmaktadır. Bu model ARIMA (Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama) genel adıyla bilinmektedir. ARIMA modelinin temel varsayımı, zaman serisinin (x_t) değerinin, kendisinden önceki x_{t-1} , x_{t-2} , x_{t-i} gibi geriye dönük gecikme değerlerine bağımlı olduğudur. ARIMA modellerinin genel formülü aşağıdaki gibidir:

$$AR(p)+MA(q) = ARMA(p,q) \quad (3.1)$$

Modelin otoregresif kısmı ($AR(p)$) ile ilişkili olarak p değeri modeldeki anlamlı düzeyde bağımlılık bulunan en yüksek gecikme değerini ifade etmektedir. Diğer taraftan zaman serisinin hata serilerinin de belirli sayıda gecikme ile önceki hata bileşenleriyle ilişkili olduğu varsayımından hareketle, bu gecikmeyi ifade eden q değeri de modelin hareketli ortalama bileşenini ($MA(q)$) ifade etmektedir.

Mevsimsel olmayan ARIMA modelleri genellikle ARIMA (p, d, q) olarak ifade edilmektedir ve burada p, d ve q negatif olmayan tam sayılardır. “p”, otoregresif modelin sırası (gecikme sayısı), “d”, farkın derecesi (verilerin geçmiş değerlerinin çıkarılma sayısı) ve “q”, hareketli ortalama modelinin sırasıdır. ARIMA mevsimsel modelleri, ARIMA (P, D, Q) m olarak yazılır, burada “m”, mevsimsel dönemlerin sayısını (örneğin 12 ay üzerinden bir yıllık dönemsellik için m=12 gibi) ve büyük P, D, Q harfleri, benzer şekilde, otoregresyon, farklılaşma ve hareketli ortalama terimlerini ifade etmektedir. Model aşağıda verilen adımlar sonucunda kurulmaktadır:

- 1) Veri setinin durağan olup olmadığı kontrol edilir. Veri seti durağan değilse fark alma yöntemi uygulanarak verinin durağan hale getirilmesi sağlanır. Verilerin durağan hale geldiği fark alma işleminin derecesi “d” parametresini vermektedir.
- 2) Akaike enformasyon kriterinin (AIC) almış olduğu değer doğrultusunda (en düşük AIC değeri) “p” ve “q” parametreleri seçilir.

- 3) Modelin geçerliliği, model fit etme işlemi sonucunda ortaya çıkan kalıntı (residual) serisinin beyaz gürültü (white noise) olup olmadığı kontrol edilir. Kalıntılar beyaz gürültü ise model geçerlidir.
- 4) Son olarak geçerlenmiş model kullanılarak kısa bir kestirim ufkunda tahminler üretilmektedir.

Mevsimsellik içeren zaman serilerinin analizi için ise verideki bu mevsimselliğin dikkate alındığı bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Kısaca *SARIMA* (seasonal ARIMA) olarak adlandırılan bu modelde $I(d)$ entegrasyon katsayısı, mevsimsellikten arındırılmış durağan bir seri elde etmek için kaç kez fark alma işlemi yapıldığını ifade etmektedir. “Mevsimsel Otoregresif Hareketli Ortalama Modeli” olarak adlandırılan bu modelin gösterimi $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q,s)$ şeklindedir.

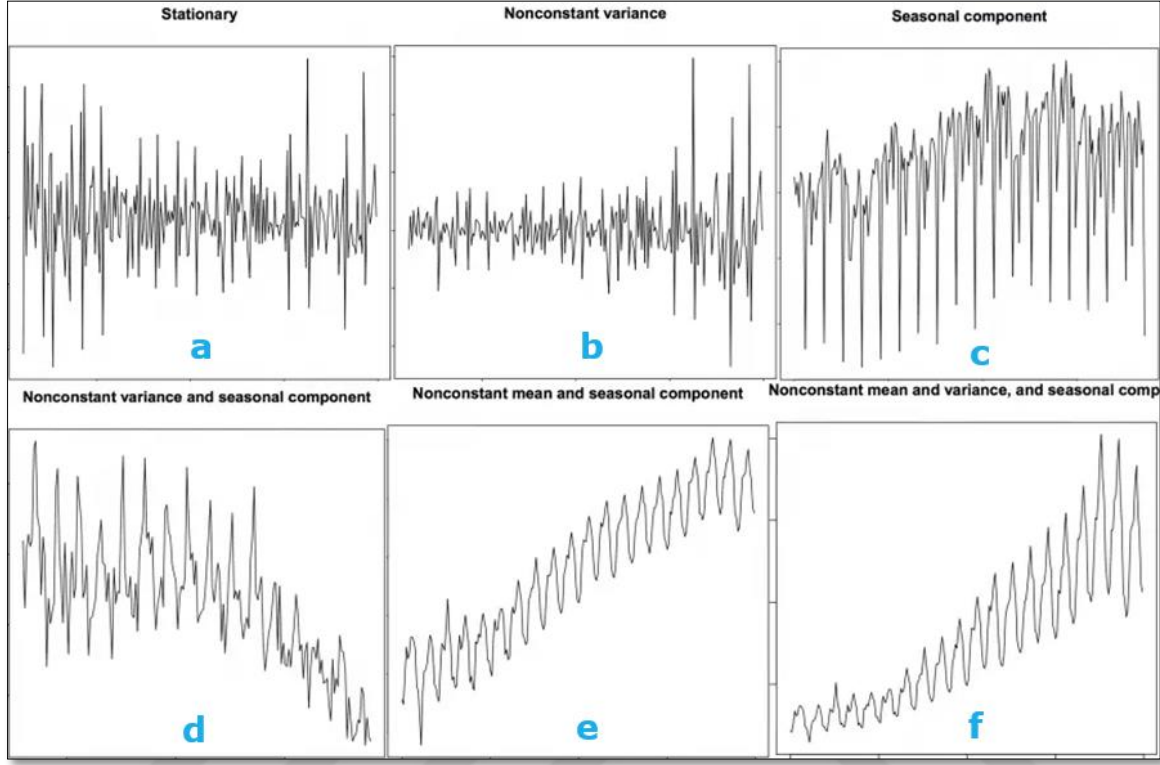
$$S(s)+AR(p)+I(d)+MA(q) = SARIMA(p,d,q)(P,D,Q,s) \quad (3.2)$$

$S(s)$ bileşenindeki “s” değeri, serinin mevsimsel bileşeninin uzunluğunu ifade etmektedir. Örneğin haftalık bir dönemselliğin günlük zaman serileri verileri üzerinden ifadesi için “s” değerinin 7 olarak alınması gerekir. P, D, Q bileşenleri ile ARIMA modelindeki parametrelerin mevsimsel bileşen için ayrıca ifade edilmektedir. “P” değeri serinin mevsimsel bileşeninin otoregresyon düzeyini ifade etmektedir ve PACF (partial autocorrelation function) grafiği üzerinden tespit edilmektedir. PACF grafiğine bakıldığında, mevsimsel bileşenin uzunluğuyla ilişkili şekilde “1s”, “2s”, “3s” gibi periyotlarda tekrar eden gecikme sayısı P değerini ifade etmektedir. “D” parametresi mevsimsel entegrasyonun derecesini ifade etmek üzere 0 veya 1 değerini almaktadır. “Q” parametresi, serinin hareketli ortalama bileşeninin derecesini ifade etmektedir.

Ahimesut su tüketim verilerinin durağanlık testi

Bir zaman serisinin durağan olması, ortalama, varyans ve otokorelasyon değerlerinin zamanla eşit değişim göstermesine bağlıdır. Durağan zaman serilerinin temel özelliği, serinin değerinin zamandan bağımsız olması, yani x değişkenin aldığı değerlerin “zaman” ile değişmemesidir. Diğer taraftan durağan zaman serilerinin, mevsimsellikten de bağımsız olması gerekmektedir (Şekil 3.31). Böylelikle bir x değişkenindeki değişimin yegâne

kaynağı değişkenin aldığı önceki değerler haline gelmektedir. Bu sayede bir zaman serisi durağan ise mevcut değerlerden hareketle tahminler yapılabilir.

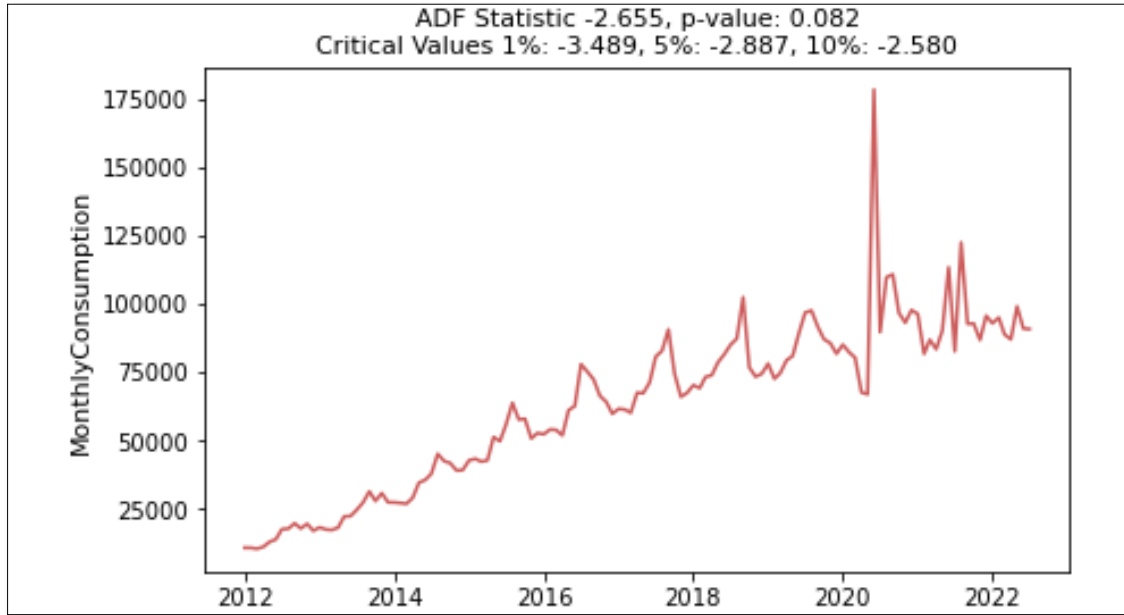


Şekil 3.31. Durağan zaman serilerinin özellikleri (MachineLearningPlus, 2024).

Şekil 3.31.a’da durağan bir zaman serisinin görünümü verilmektedir. Burada serinin değişiminin (varyans) ve ortalamasının tüm seri boyunca aynı olduğu, farklılaşma olmadığı görülmektedir. Diğer taraftan b) resminde varyansın birbirinden farklı olduğu iki bölge görülmektedir. c)’de ortalama ve varyansın sabit olmadığı ve değişken bir eğilim (trend) varlığı göze çarpmaktadır. Benzer şekilde d)’de varyans değişken ve azalan bir eğilim mevcutken, e)’de artan bir trend ve değişken ortalama söz konusudur. f)’de değişken ortalama ve varyans ile artış eğilimi birlikte görülmektedir.

Pek çok istatistiksel tahmin yöntemi durağan seriler üzerinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yöntemlerin kullanılabilmesi için eldeki verilerin durağan hale getirilmesi gerekmektedir. Durağanlığın test edilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. ADF, KPSS, PP gibi testler bu maksatla yaygın biçimde kullanılmaktadır.

ADF (Augmented Dickey-Fuller Test) bu tez kapsamında kullanılan test yöntemidir. Bu testte hesaplanan test istatistiği değerinin kritik eşik değerlerinden herhangi biri için anlamlılık durumu değerlendirmeye alınır. Eğer hesaplanan test istatistiğinin değeri seçilen kritik değerden daha düşük değere sahipse serinin bir birim köke sahip olmadığına karar verilir. Bu durumda serinin arka planındaki sürecin, serinin değerlerinin birbiri arasındaki otokorelasyon olduğu kabul edilir. Şekil 3.32’de Ahimesut su tüketim verilerinin ADF testi sonuçları görülmektedir. Serinin istatistiksel bakımdan % 5 anlamlılık düzeyinde kritik değerden daha yüksek ($df\tau=-2,655$) test istatistiği değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda zaman serisinin durağan olmadığı değerlendirilmektedir.



Şekil 3.32. Su tüketimi zaman serisinin ADF testi sonucu

Zaman serilerinin durağan hale getirilmesi için fark alma veya veri dönüşümü gibi yöntemlerin kullanılması mümkündür. Bunlardan yaygın olanı bir serinin yaklaşık da olsa durağan seri özellikleri sergilediği bir hale gelinceye kadar farkların alınması işlemidir. X farklar serisinin bir değeri olmak üzere, X_t değerinden X_{t-1} çıkarılarak serinin tüm elemanlarına uygulanır.

$$X = X_t - X_{t-1} \quad (3.3)$$

Fark alma yönteminin arka planındaki teorik temel, istatistiksel standart modelin sıfır ortalama etrafında bir birim sapma (varyans) ile tanımlanabilen $\mu(0,1)$ normal dağılımı

üretmesidir ve bu dağılımdan örneklenen seri durağan özelliktedir. Yukarıdaki şekilde ifade edilen;

$$x_t = \rho \cdot x_{t-1} + e_t \quad (3.4)$$

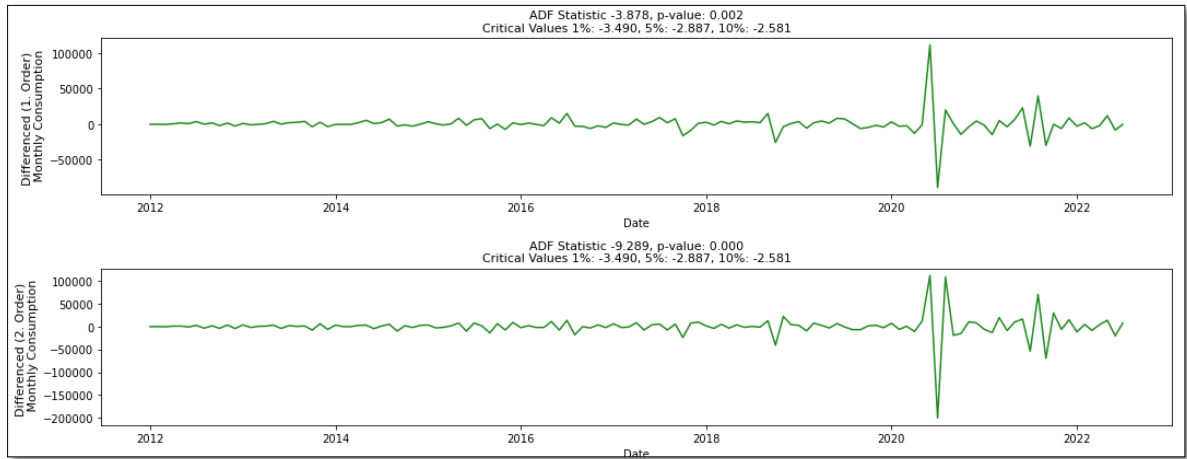
Otokorele zaman serisinin;

$$x_t - x_{t-1} = (\rho - 1) \cdot x_{t-1} + e_t \quad (3.5)$$

Birinci dereceden farklar serisi; $\rho = 1$ kritik değerinde durağan bir beyaz gürültü serisi vermektedir.

$$x_t - x_{t-1} = e_t \quad (3.6)$$

Böylelikle orijinal serinin stokastik doğasını bünyesinde barındıran ve aynı zamanda durağan hale getirilmiş farklar serisi üzerinden tahmin yapma olanağı sağlanmaktadır. Bu tezde Ahimesut su tüketim verilerine uygulanan fark alma yöntemiyle üretilen seriye ait grafikler Şekil 3.33'te verilmiştir.

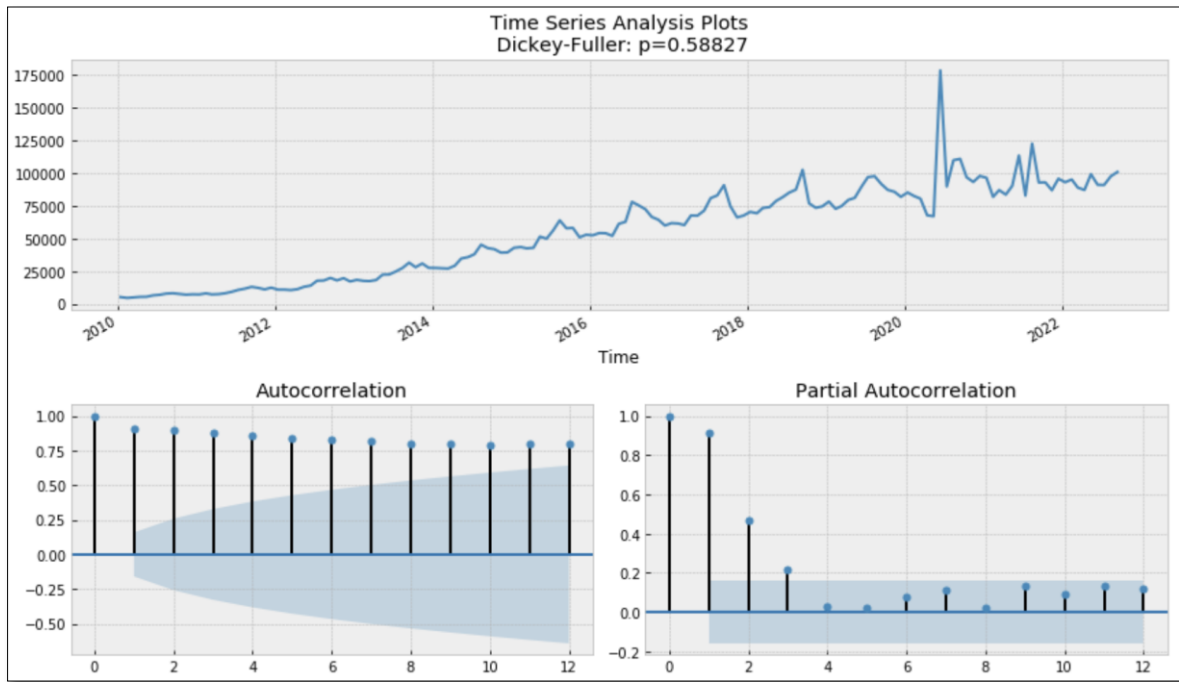


Şekil 3.33. Su tüketiminin birinci (üstte) ve ikinci derece (altta) fark serisi yöntemi ile üretilen zaman serileri

Birinci dereceden ve ikinci dereceden farklar serisi için ADF test istatistiğinin değeri tüm kritik değerlerden daha düşük (-3,878 ve -9,289) çıkmaktadır. Bu durumda artık ikinci dereceden farklar serisinin durağan bir seri özelliği gösterdiği kabulü yapılabilmektedir.

Model kurulumu ve Akaike bilgi kriteri (AIC)

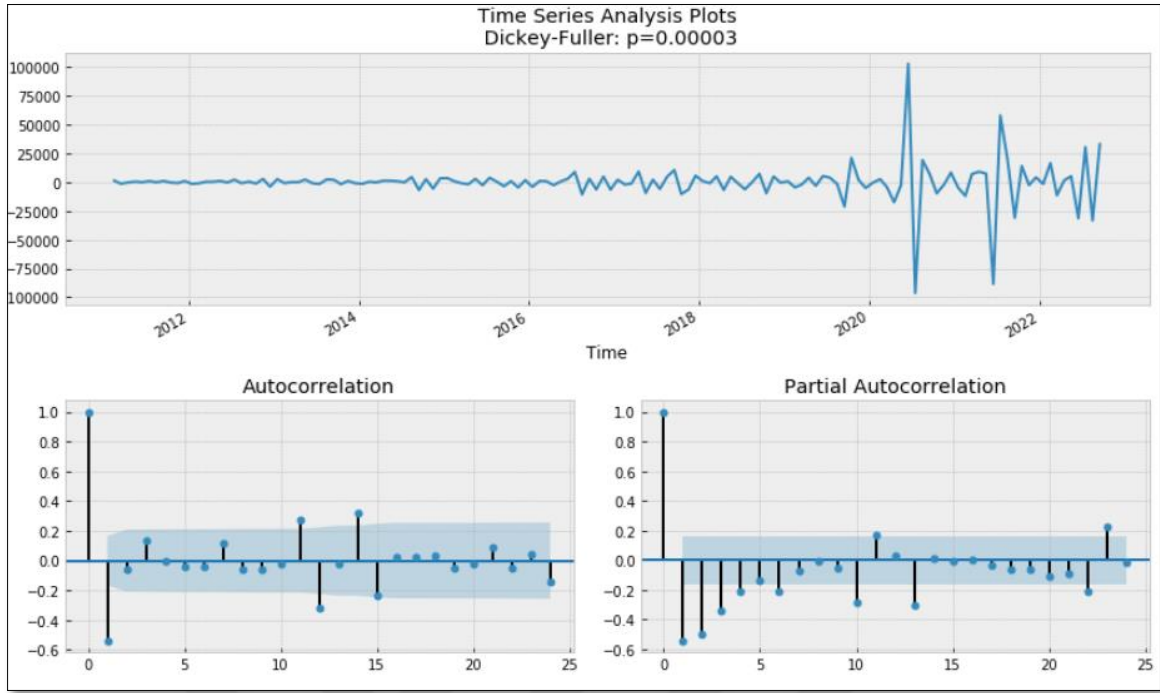
Otokorelasyon fonksiyonu bir verinin kendinden önceki N adet veri ile arasındaki korelasyonu göstermektedir. Genel olarak Otoregresif modellerin kullanılması için ACF'nin kademeli olarak azalması ve PACF'nin de anlamlı birkaç terim sonrasında keskin biçimde düşmesi beklenmektedir. Hareketli ortalamaya (MA) karar verilmesi içinse tam tersi durum geçerlidir. Ahimesut aylık su tüketim zaman serisine ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri Şekil 3.34'te verilmektedir.



Şekil 3.34. Su tüketiminin zaman serisinin otokorelasyon (üstte) ve kısmi otokorelasyon (altta) fonksiyonları

Grafiklerden (ACF) seriye ait gecikme (lag) eğiliminin çok az azalma gösterdiği ve (PACF) seriye ait geriye dönük ilk üç gecikmenin istatistiksel anlamda seri değerleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

Su tüketiminin ARIMA ve benzeri yöntemlerle modellenmesi bakımından bu grafikteki bilgiler önem arz etmektedir. Ancak mevcut durumda eldeki zaman serisi durağan olmadığından, kurulacak modelin belirlenmesi ve ilişkili parametrelerin seçilmesi için farklar serilerine ait ACF ve PACF grafiklerinin kullanılması gerekmektedir. Şekil 3.35'te ikinci dereceden farklar serisinin ACF, PACF ve Dickey Fuller test istatistiğine ilişkin bilgilerle durağan serinin genel görünümü yer almaktadır.



Şekil 3.35. Su tüketiminin ikinci dereceden farklar serisinin otokorelasyon (üstte) ve kısmi otokorelasyon (altta) fonksiyonları

Buna göre ikinci dereceden farklar serisinin durağan bir görünüme sahip olduğu, ancak ACF ve PACF grafiklerinin vermiş olduğu genel görünümün çok da tutarlı olmadığı anlaşılmaktadır. ACF grafiğinden 1'inci gecikme değerinin seri değerleri açısından en belirleyici faktör olduğu ve 12'nci gecikme ile 12 aylık (yıllık) döngüsel gidişatın bir göstergesi olduğu değerlendirilmektedir. Diğer taraftan seri değerlerinin diğer gecikme değerlerinden soyutlanmış spesifik korelasyonunu gösteren PACF üzerinden, serinin 1,2,3,4 ve 10,13 gecikmelerinin seri üzerinde belirleyici olduğu değerlendirilmektedir. Bu bilgiler ışığında SARIMA modeli için gerekli parametreler Çizelge 3.7'de verildiği şekilde seçilmiştir:

Çizelge 3.7. SARIMA modeli parametreleri

Parametre	p	d	q	I	P	D	Q	S
Değeri	3	2	4	2	1	1	1	12

Model parametreleri Çizelge 4.6'daki gibi belirlendikten sonra, Python statsmodel kütüphanesi "tsa" modülü özelliklerinden olan SARIMAX fonksiyonu üzerinden denenen farklı kombinasyonlar için üretilen Akaike Information Criterion (AIC) değerleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. SARIMA parametre setleri ve ilişkili AIC değerleri

	Parametreler	AIC
0	(2,2,0,1)	2996,092634
1	(2,2,1,1)	2996,337353
2	(2,3,1,1)	2996,966906
3	(3,3,1,1)	2997,812104
4	(3,3,0,1)	2998,263658

Buna göre, parametre setleri arasında en küçük AIC değerine sahip olan 0 indeksli set olduğu görülmektedir. Diğer taraftan bu en iyi sonucu veren modele ilişkin detaylı bilgiler Şekil 3.36'da verilmiştir.

Statespace Model Results

Dep. Variable:	Consumption	No. Observations:	153
Model:	SARIMAX(2, 1, 2)x(0, 1, 1, 12)	Log Likelihood	-1492.046
Date:	Thu, 11 Jul 2024	AIC	2996.093
Time:	08:45:48	BIC	3013.742
Sample:	0	HQIC	3003.265
	- 153		
Covariance Type:	opg		

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
ar.L1	-0.3708	3.506	-0.106	0.916	-7.242	6.501
ar.L2	-0.1102	0.801	-0.138	0.890	-1.680	1.459
ma.L1	-0.6612	3.504	-0.189	0.850	-7.530	6.207
ma.L2	-0.0866	2.853	-0.030	0.976	-5.679	5.506
ma.S.L12	-0.6493	0.065	-10.030	0.000	-0.776	-0.522
sigma2	1.362e+08	8.15e-07	1.67e+14	0.000	1.36e+08	1.36e+08

Ljung-Box (Q):	32.26	Jarque-Bera (JB):	9804.86
Prob(Q):	0.80	Prob(JB):	0.00
Heteroskedasticity (H):	28.46	Skew:	4.16
Prob(H) (two-sided):	0.00	Kurtosis:	43.14

Warnings:

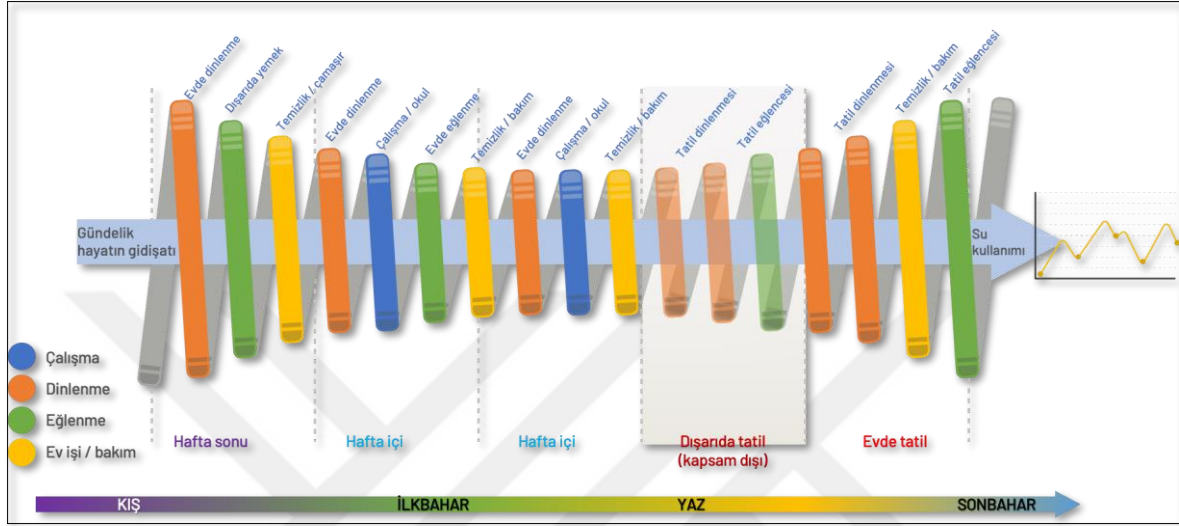
[1] Covariance matrix calculated using the outer product of gradients (complex-step).

[2] Covariance matrix is singular or near-singular, with condition number 8.91e+29. Standard errors may be unstable.

Şekil 3.36. SARIMA en iyi modele ilişkin sonuçlar

Şekil 3.36'dan anlaşılabacağı üzere modelin en iyi konfigürasyonu ile elle yapılandırılan SARIMA modellerinin parametreleri arasında tutarsızlık mevcuttur. Bu durum, otoregresif modellerin temel şartlarından olan gecikmeler arasındaki doğrusal ilişki bulunduğu varsayımının aylık su tüketimi verilerinde sağlanmıyor olabileceği şeklinde değerlendirilmektedir.

gerektirmektedir. Bu ihtiyaçların karşılanması doğrudan ve dolaylı olarak su tüketimine neden olmaktadır. Nihayetinde her bir ürünün üretiminden kullanım ve bertarafına kadarki süreçte bir dizi enerji, hammadde ve su akışı gerçekleşmektedir. Şekil 3.38 su tüketimin bu aktiviteler ve takvimsel değişkenlerle ilişkisini göstermektedir.



Şekil 3.38. Su tüketimin zamansal boyutu (takvim değişkenleri ile ilişkisi)

Su tüketiminin başta günlük olmak üzere haftalık, aylık, mevsimsel ve yıllık düzeyde göstermiş olduğu dönemsel değişimler, su tüketiminin önceden tahmini mümkün olan bazı desenler oluşturmaya neden olmaktadır. Örneğin hane halkının yaşam tarzıyla ilişkili biçimde duş ve musluk kullanımı, evde yemek pişirme, çamaşır ve bulaşık yıkama gibi hafta içi ve hafta sonundaki su kullanılan aktivitelerin yerleşim birimi düzeyindeki genel dağılımı, su tüketiminde belirli zamanlarda artışlar ve azalmalara neden olmaktadır.

Dolayısıyla bu değişkenliğin tahmin edilmesi gerek ortalama hane halkı gerekse yerleşim birimi genelinde hâkim olan su kullanım kültürünü temsil edebilecek birçok veriye ulaşılmasını gerektirmektedir. Ancak bu verilerin mevcut olması durumunda dahi bu verilerin işlenmesi ve anlamlı bir bilgiye ulaşılması son derece zahmetli bir süreçtir. Sezgisel tahmin modelleri, saha tecrübesi doğrultusunda geliştirilen ve veri ihtiyacı bakımından dışsal başka faktörlere gerek kalmadan kurgulanabilen modellerdir.

Sezgisel tahmin modelleri, temelde incelenen verilerin kendisi üzerinden şekillendirilen bir dizi hesaplama adımından oluşmaktadır. Sezgisel modeller, işletilen prosesin (örneğin içme suyu arıtma tesisi işletimi veya şebeke yönetimi gibi) bizzat uygulama düzeyindeki

işletiminden hareketle üretildiğinden, direkt ve yalın bir tahmin çerçevesi sunabilmektedir. Su talebinin tahmini özelinde düşünöldüğünde, takvim gününe bağılı olarak önceden belirlenmiş faktörlerle ilişkili biçimde su tüketimi hesaplanabilmektedir.

Bu tip modellerin çalışma sistemiğı, model çalıştığı süre boyunca tüketim desenlerinin yeniden hesaplanması esasına dayanmaktadır. Böylelikle örneğın 24 veya 48 saatlik bir kestirimde bulunmak üzere model kendisini, geçmiş verilere uyarlayarak bir tahminde bulunmaktadır. Bu durum, bu türden modellerin mevsimsel bir yapılandırmaya ihtiyaç duyulmaksızın yıl boyunca gerçekleşen su tüketimindeki değışimlerin tahmininde kullanışlı hale getirmektedir.

Sezgisel modeller, incelenen sürecin genel gidişatına yönelik mevcut bilgilerden hareketle oluşturulan, konuya spesifik modellerdir. Su talebinin tahminine yönelik olarak geliştirilmiş pek çok sezgisel model bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında ise Bakker vd. (2013) tarafından oluşturulan sezgisel model Ahimesut mahallesi aylık su tüketim verilerine uyarlanmıştır.

Bakker vd. modelinde 15 dakikalık zaman aralıkları üzerinden, su talebinin gelecek 48 saat içerisindeki değışiminin tahminine ilişkin bir kısa dönem tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu modelde haftanın yedi günü için tespit edilen su tüketim desenleri üzerinden, hiçbir dışsal faktör kullanılmaksızın su talebi artışları tespit edilebilmektedir. Bu modelin diğeri önemli bir özelliğı ise ilave bir kalibrasyona ihtiyaç duyulmaksızın veriler üzerinden kendini uyarlayabilmesidir.

Bakker vd. modelinde bir sonraki güne ait su talebi (Q_i^*) önceki iki güne ait su talebi üzerinden hesaplanmaktadır. C_1 ve C_2 katsayıları ile ağırlıklandırılan su talepleri (Q_{i-1}) ve (Q_{i-2}) önceki günlere ait haftanın günü ($f_{dotw,typ,i-1}$, $f_{dotw,typ,i-2}$) faktörleriyle oranlanarak, çıkan değeri tahmin yapılan güne ait düzeltme faktörüyle ($f_{dotw,typ,i}$) çarpılmaktadır.

$$Q_i^* = f_{dotw,typ,i} \cdot \left(C_1 \cdot \frac{Q_{i-1}}{f_{dotw,typ,i-1}} + C_2 \cdot \frac{Q_{i-2}}{f_{dotw,typ,i-2}} \right) \quad (3.7)$$

Bakker vd. modelinde C_1 ve C_2 katsayıları en güncel veriye daha yüksek ağırlık vermek maksadıyla sırasıyla 0,8 ve 0,2 olarak seçilmektedir. Ancak modelin kısa dönem (günlük ölçekteki) su talebinin tahmini için geliştirilmiş olması, modelin aylık su talebinin tahmini için kullanılabilmesi için bir dizi değişiklik yapılmasını gerektirmektedir.

Öncelikle her ne kadar modelin temel hesaplama mantığı haftanın günlerine göre farklı faktörlerle ağırlıklandırma ilkesine dayansa da bu tezde aylık su tüketim verileri üzerinden bir tahmin geliştirilmesi söz konusu olduğundan, dönemsellik çerçevesinin haftalık verilerden aylık verilere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda Bakker vd'den uyarlanan modelde su tüketiminin tahminine ilişkin 2 temel varsayım esas alınmaktadır.

- 1) Su tüketiminin bir t zamanından t+1 zamanına değişimi sınırlıdır.
- 2) Takip eden su tüketimi değerleri haftalık (haftanın günlerine göre değişen) ve aylık ölçeklerde döngüsel (mevsimsel) bileşenlere sahiptir.

Bu tez çalışmasında günlük su tüketim verileri mevcut olmadığından, karşılaştırmaya esas verilerin geçmiş dönem ortalamalar üzerinden hesaplanması şeklinde bir çözüm geliştirilmiştir. Bakker vd. modelinde bu maksatla kullanılan ($f_{dy,dw,w,m}$) faktörünün hesaplanma adımlarında da değişikliğe gidilmiştir.

Orijinal modelde bu faktör geçmiş 10 haftaya ait veriler kullanılarak öğrenilmekte iken bu tez için geliştirilen modelde bu faktör aylık toplam su tüketiminin ortalama günlük su tüketimi ve ortalama haftalık su tüketimi değerlerine dönüştürülmesiyle hesaplanmaktadır. Örneğin yılın 35'inci gününe ait tahminin geliştirilmesinde geçmiş yılın veya yılların 35'inci gününe ait ortalama su tüketimi katsayısı ($f_{35,7,5,2}$) kullanılmıştır. Formülasyondaki ikinci indis haftanın gününü (dw), üçüncü indis (w) haftayı ve dördüncü indis (m) ayı ifade etmektedir.

$$Q_i = f_{dy,dw,w,m} \cdot \left(C_1 \cdot \frac{Q_{i-1}}{f_{dy,dw,w,m-1}} + C_2 \cdot \frac{Q_{i-2}}{f_{dy,dw,w,m-2}} + C_3 \cdot \frac{Q_{i-3}}{f_{dy,dw,w,m-3}} \right) \quad (3.8)$$

Ayrıca Bakker vd. modelinde son iki güne ait veriler üzerinden hesaplanan tahmin değeri son üç gün üzerinden hesaplanacak şekilde modifiye edilerek tahminlerde herhangi bir iyileşme olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Bu maksatla MS Excel üzerinde geliştirilen sezgisel modelin toplam hata değerinin en küçük olacak şekilde C_1 , C_2 ve C_3 katsayıları Excel Çözücü eklentisi yardımıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10 bu katsayıların çözümlerine ilişkin detayları göstermektedir. Çizelge 3.9’da verilen iki katsayılı modelde toplam hata değerinin % 4,80 gibi oldukça iyi bir düzeyde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla sezgisel modelin önceki 2 güne ait su tüketim verileri üzerinden kurgulanan uyarlaması % 95 seviyesinde doğru tahminler üretmektedir. Model katsayıları değerlendirildiğinde modelin bilgi düzeyinin % 99,4 seviyesinde C_1 katsayısı üzerinden elde edilebildiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.9. Bakker et al. sezgisel modeli C_1 ve C_2 katsayılarının çözümü

Hedef Hücre (En Küçük)

Hücre	Ad	İlk Değer	Son Değer
\$R\$366		4.80%	4.80%

Değişken Hücreleri

Hücre	Ad	İlk Değer	Son Değer	Tamsayı
\$T\$1	c1	0.994474141	0.994474141	Sürekli
\$V\$1	c2	0.004962095	0.004962095	Sürekli

Kısıtlamalar

Hücre	Ad	Hücre Değeri	Formül	Durum	Serbestlik
\$T\$1	c1	0.994474141	\$T\$1>=0	Farklı	0.994474141
\$V\$1	c2	0.004962095	\$V\$1>=0	Farklı	0.004962095

Çizelge 3.10 sezgisel modelin önceki 3 güne ait su tüketim verileri üzerinden kurgulanan modele ilişkin detayları göstermektedir. Bu modelde toplam hata değerinin % 5,10 seviyesine yükseldiği görülmektedir. Bu durumda modele yeni bileşen eklenmesinin tahmin doğruluğunu artırmadığı görülmektedir.

Çizelge 3.10. Uyarlanan sezgisel modelin C_1 , C_2 ve C_3 katsayılarının çözümü

Hedef Hücre (En Küçük)

Hücre	Ad	İlk Değer	Son Değer
\$U\$367	Total Error c2	5.10%	5.10%

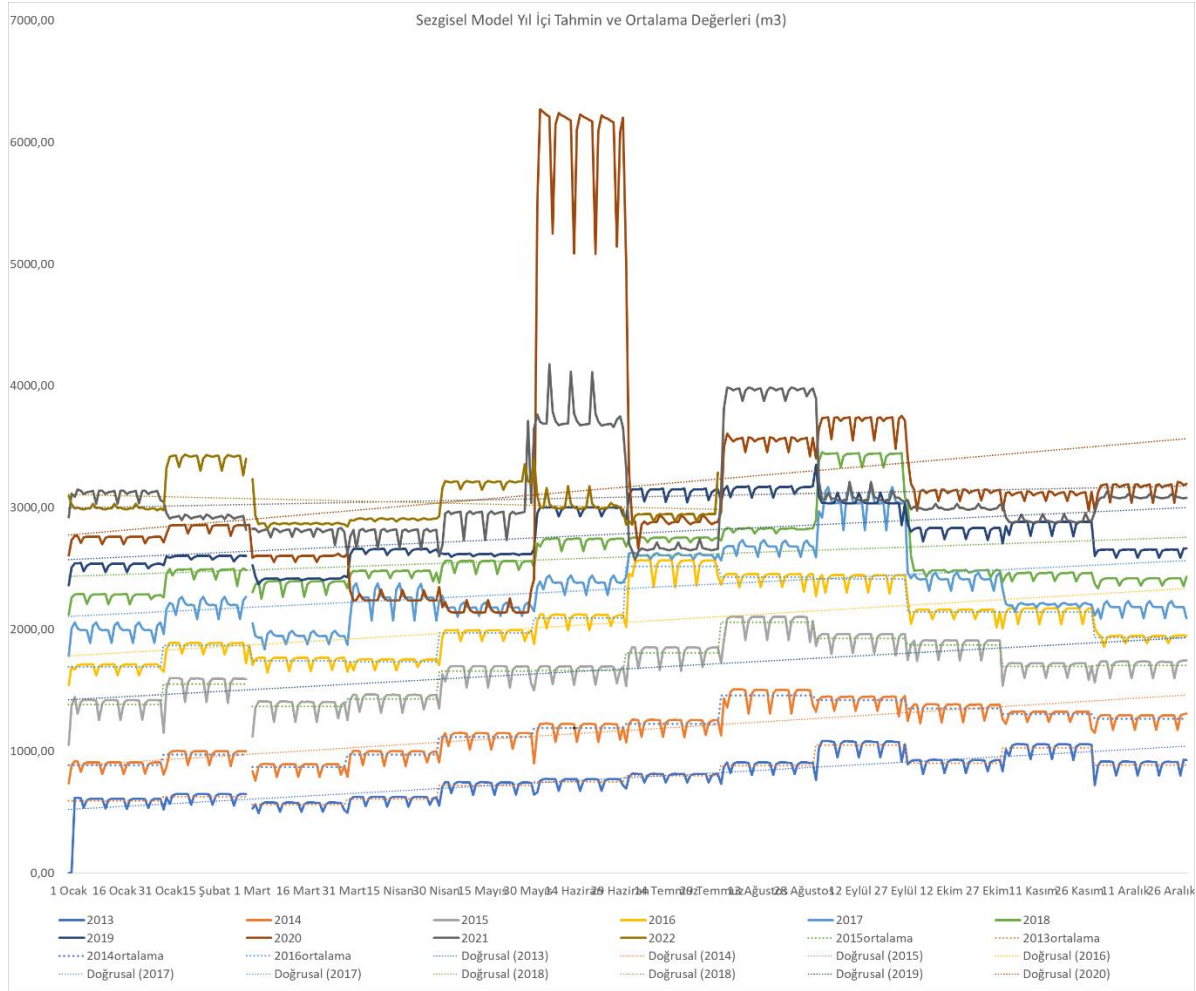
Değişken Hücreleri

Hücre	Ad	İlk Değer	Son Değer	Tamsayı
\$T\$1	c1	0.989481128	0.989481128	Sürekli
\$V\$1	c2	0.00497258	0.00497258	Sürekli
\$X\$1	c3	0.00497896	0.00497896	Sürekli

Kısıtlamalar

Hücre	Ad	Hücre Değeri	Formül	Durum	Serbestlik
\$T\$1	c1	0.989481128	\$T\$1>=0	Farklı	0.989481128
\$V\$1	c2	0.00497258	\$V\$1>=0	Farklı	0.00497258
\$X\$1	c3	0.00497896	\$X\$1>=0	Farklı	0.00497896

Şekil 3.39’da 2 günlük veriler üzerinden uyarlanan sezgisel modele ait kestirimlerinin aylık su tüketim verilerinin günlük ortalama değerlere dönüştürülmüş haliyle karşılaştırılmasını göstermektedir. Grafik alanı 2013 ile 2022 yılları arasındaki 365 güne ait ortalama değerler ile sezgisel modelin kestirim değerlerinin değişimini gösterecek biçimde şekillendirilmiştir. Ortalama değerler kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Adaptif sezgisel model kestirimleri günlük ortalama değerlerle karşılaştırılması

Genel olarak, kestirim değerlerinin ortalama değerler ile örtüştüğü ve ortalama değerlerdeki değişimlerin model tarafından üretilen günlük su tüketim tahminleri tarafından iyi biçimde yakalanabildiği görülmektedir. Diğer taraftan, Doğrusal (2015), Doğrusal (2016) şeklinde gösterilen eğilim çizgileri de yıl içerisindeki artış eğilimine uygun şekilde her yıl için artan bir görünüm sergilemektedir.

3.5.2. Çok boyutlu analiz

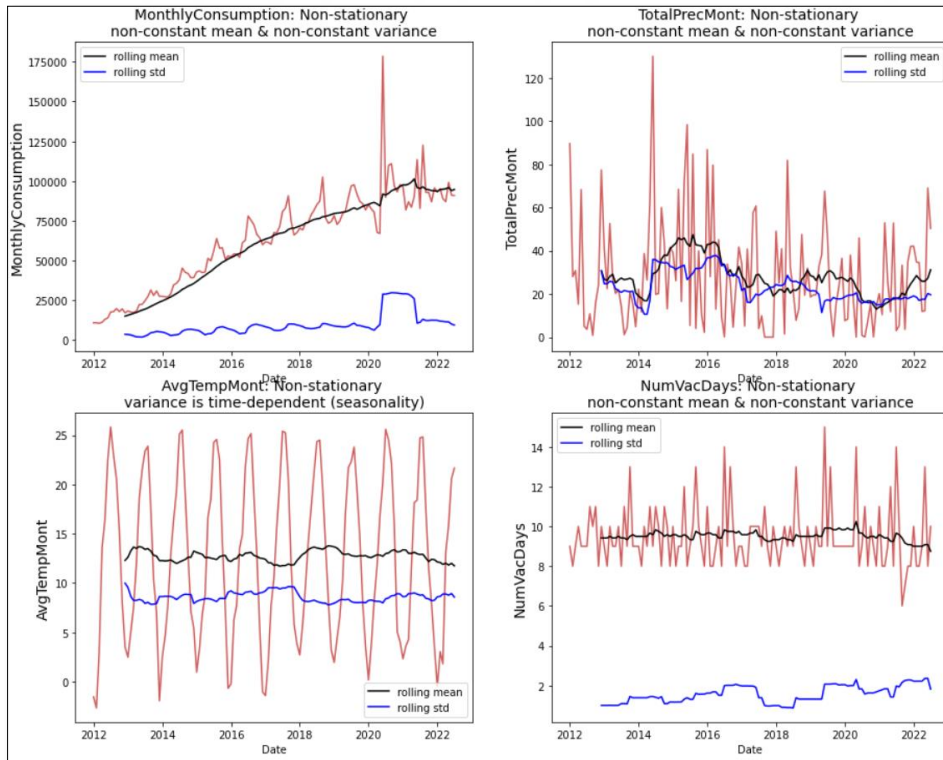
Çok değişkenli regresyon analizi (MLR)

Regresyon analizinde, bir veya birden fazla bağımsız değişkenin, bir bağımlı değişken arasında bir ilişkinin bulunup bulunmadığı analiz edilmektedir. Modelleme bakış açısında regresyon, veriye uygun bir matematiksel ifadenin bulunmasıdır (Berthouex ve Brown,

2002). Diğer taraftan regresyon analizi varsa ilişkinin gücü ve yönü hakkında da fikir vermektedir. Çoklu doğrusal regresyonda değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayımı yapılmaktadır. Ancak sağlanması gereken başka koşullar da bulunmaktadır. Bunlar;

- zaman serisinin rastsal olması ve normal dağılım göstermesi,
- kalıntıların (residuals) rastsal olması ve normal dağılım göstermesi,
- kalıntıların otokorelasyondan bağımsız olması ve
- eşit varyanslılıktır (Katipoğlu vd., 2021).

Bu tezde aylık su tüketiminin aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklıkla istatistiksel düzeyde anlamlılık durumunun değerlendirilmesi maksadıyla çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Ancak öncesinde verilerin yukarıda belirtilen koşulları sağlayıp sağlamadığı test edilmiştir. Bu maksatla verilerle birlikte hareketli ortalama ve varyans grafikleri çizilerek verilerin genel gidişatına bakılmıştır (Şekil 3.40). Grafiklerden, su tüketimiyle birlikte aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve aylık tatil günleri sayısı verilerinin tümünün durağan olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.40. Aylık su tüketimi, aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve tatil günleri değişkenlerinin durağanlık durumunun değerlendirilmesi

Diğer taraftan, sıcaklık ve yağış gibi verilerde bimodal bir yapının varlığı, verilerin normal dağılıma da uymadığını işaret etmektedir. Nitekim Şekil 3.41’de verilerin varyans ve ortalamalarının karşılaştırıldığı grafik de benzer bir duruma işaret etmektedir. Burada veriler rastgele şekilde iki parçaya bölünerek her iki bölümün ortalama ve varyans değerleri hesaplanmıştır.

	Partition 1 Mean	Partition 2 Mean	Partition 1 Variance	Partition 2 Variance
Year	2,014	2,019	2	2
Month	6	6	12	12
MonthlyConsumption	38,767	87,245	356,452,780	279,039,816
AvgTempMont	12	13	76	66
TotalPrecMont	32	24	799	421
NumVacDays	9	9	2	3

Şekil 3.41. Aylık su tüketimi, aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve tatil günleri değişkenlerinin durağanlık durumunun değerlendirilmesi

Grafikten aylık su tüketimi ve aylık toplam yağış verilerinin açık biçimde birbirinden farklı ortalama ve varyans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan aylık ortalama sıcaklıkların ortalama değerleri (12 ve 13) birbirine yakın görünürken varyansları da birbirinden farklıdır. Regresyon analizine esas teşkil eden birçok temel varsayımların karşılanmamasıyla birlikte, MS Excel uygulaması veri çözümleyici aracı kullanılarak gerçekleştirilen regresyon analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Genel olarak regresyon uygulamasının anlamlılık düzeyinin değerlendirildiği “ F ” istatistiği (sarı ile işaretli: 0,000431047) aylık sıcaklık ve yağış parametrelerinin su tüketimiyle istatistiksel bakımdan anlamlı bir ilişkiye işaret ettiği görülmektedir. Çizelgede Precipitation (yağış) ve Temperature (sıcaklık) olarak verilen her iki faktörün de klasik istatistiksel olasılık kriterlerinden %5 anlamlılık düzeyini sağladığı görülmektedir. Sıcaklık ise %1 anlamlılık düzeyi dahil tüm istatistiksel olasılık kriterlerini sağlamaktadır. Diğer taraftan, kurulan modelin su tüketimi verilerini açıklama düzeyine ilişkin olarak, R^2 istatistiğinin çok düşük seviyede (0,11) bir açıklama gücüne işaret etmektedir.

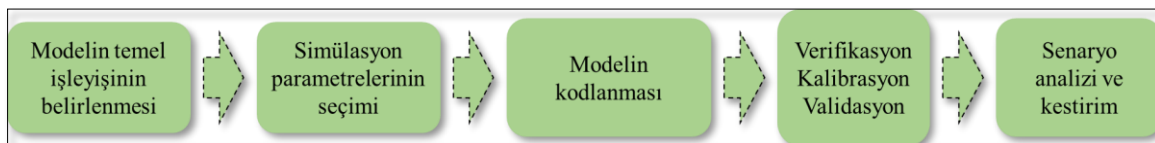
Çizelge 3.11. Aylık su tüketiminin toplam yağış ve ortalama sıcaklıkla değişimi

Regresyon İstatistikleri								
Çoklu R	0,342772598							
R Kare	0,117493054							
Ayarlı R	0,103259071							
Kare Standart Hata	28415,3404							
Gözlem	127							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F			
Regresyon	2	13329733628	6664866814	8,254404533	0,000431047			
Fark	124	1,00122E+11	807431570,3					
Toplam	126	1,13451E+11						
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	63531,52498	5128,920642	12,38691909	1,97834E-23	53379,95434	73683,09563	53379,95434	73683,09563
Precipitation	-383,6306665	109,6181933	-3,499698864	0,000647755	-600,5957768	166,6655561	-600,5957768	166,6655561
Temperature	681,5598284	302,7135403	2,251500966	0,02611404	82,40493714	1280,71472	82,40493714	1280,71472

Temel olarak, çoklu doğrusal regresyon uygulamasında verilerin doğrusal bir değişim gösterdiği varsayılmaktadır. Bu durumda verilerin geneline hâkim olan doğrusal olmayan yapı gözetildiğinde bu anormal bir durum değildir.

Etmen tabanlı modelin geliştirilmesi ve model parametreleri

Etmen tabanlı modeller, yapıları gereği çokça parametrenin işin içine girdiği karmaşık modellerdir. Bir etmenin (agent) karar verme süreçleri, çevresiyle ve diğer etmenlerle gireceği etkileşimlerin düzeyi ve modele etki eden parametrelerin belirlenmesi ve bunların arasındaki çapraz etkileşimlerin de gözetildiği bir model omurgası oluşturulması gerekmektedir. Bu doğrultuda bu tez kapsamında aylık su talebinin oluşumunu simüle eden etmen tabanlı modelin üretilmesine yönelik adımlar Şekil 3.42’de verilmiştir.



Şekil 3.42. Etmen tabanlı model geliştirme ve analiz adımları

Modelin temel işleyişinin belirlenmesi

Etmen tabanlı modellerin geliştirilmesinde izlenebilecek birbirinden farklı yöntemler bulunmaktadır. Seçilen yönteme göre süreç ya en basit anlamda deneme yanılma yöntemiyle sıfırdan ya da alan bilgisi doğrultusunda ve belli bir plan çerçevesinde inşa edilmesi yönünde gelişebilmektedir.

İlk olarak gerçek dünyada var olan ve arka planındaki işleyişe yönelik bilgi sahibi olunan bir kavramın modellenmesi, yöntemsel olarak derinlemesine alan bilgisi gerektirmektedir. Diğer taraftan bu şekilde geliştirilen modellerin ölçeklenmesi ve hesaplama bütçesi gibi hususlarda nihai aşamada büyük sorunlarla karşılaşılması muhtemel hale gelmektedir.

Modelleme aşamasında (etmen sayısı, etkileşim düzeyi, hesaplama bütçesi gibi) herhangi bir ölçeklendirme yapılmaması tasarımsal bir tercihtir. Ancak bu tercihin maliyetinin önceden kestirilmesi, araştırmanın zamansal ve işlem gücü bütçesinin öngörülebilmesi bakımından önemlidir.

Bu yaklaşımda modelin parametrizasyonu alan bilgisi doğrultusunda yapılarak her şeyin yolunda gitmesi durumunda gerçek dünyaya yönelik açıklayıcı gücü bulunan referans bir işleyiş üretilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu durumda yapılacak şey bu referans işleyişin açıklayıcı gücü ve kapsayıcılığının artırılmasına yönelik geliştirmelerin üretilmesidir. Ancak bu ideal duruma erişilmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Araştırmacıların uzun yıllar boyunca edindikleri tecrübenin modele yansıtılması son derece meşakkatli ve yorucu bir iştir. Bu yaklaşımın temel felsefesi modelin indirgemeci bir yaklaşımla üretilmesidir.

Alternatif yaklaşım keşif (exploration) yöntemidir. Bu yaklaşımda etmenlere ve bu etmenlerin davranış biçimine karar verildikten sonra bu davranışlar neticesinde beliren (emerging) desenlerin (pattern) keşfi önem kazanmaktadır. Geliştirilen modelin gerçek dünyayı açıklayıcı bir nitelik kazanması durumunda, konuyla ilgili daha fazla çabaya gerek kalmaksızın yeterince basit ve açıklayıcı bir modele ulaşılması mümkün hale gelmektedir.

Bu yaklaşımın arka planındaki düşünce ise araştırılan kavramın salt gerçekliğinin, yani gerçek dünyaya ilişkin en temel süreçlerin modelin çekirdeğini teşkil ederek, gereksiz detaylar ve araştırmacının yanlışlıklarından ileri gelebilecek yanlış yönelimlerden

kaçınılmasıdır. Ancak yine de bu yöntem yanlışlık ve yanlışlık konusunda hata geçirmez değildir. Keşif yönteminde araştırmaya başlarken bir araştırma sorusunun olmasına dahi gerek olmayabilir. Süreç içerisinde ihtiyaç duyulan mekanizmalar, varlıklar ve kurallar ortaya çıktıkça bir araştırma sorusunun üretilmesi de mümkün olabilmektedir.

Bir diğer alternatif ise her iki yöntemden faydalanılarak alan bilgisi doğrultusunda basit bir prototipin formüle edilmesi ve bunun üzerinden keşif yapılmasıdır. Böyle bir yöntem yeri geldiğinde her iki durumun en güçlü yönlerini birleştiren ideal bir uygulamaya dönüşebilmektedir. Bu durumda seçilen yöntemin, modelde etkin olduğu düşünülen parametrelerin nasıl sürece dahil olduğunun ve birçok benzer karar alma sürecinin iyi bir şekilde belgelenmesi gerekmektedir. Zira tek bir araştırmacının görev aldığı bir araştırmada bile zaman geçtikçe atılan adımların gerekçelerine ilişkin bilgiler eskiyip geçerliliğini kaybedebilmekte, silikleşebilmekte ve modelin ikna ve aktarım gücünü etkileyebilecek ölçüde bilgi kayıplarına neden olabilmektedir. Bu durum kalabalık bir araştırmacı grubunun görev aldığı daha kapsamlı araştırmalarda ise daha da büyük bir mücadeleye dönüşebilmektedir.

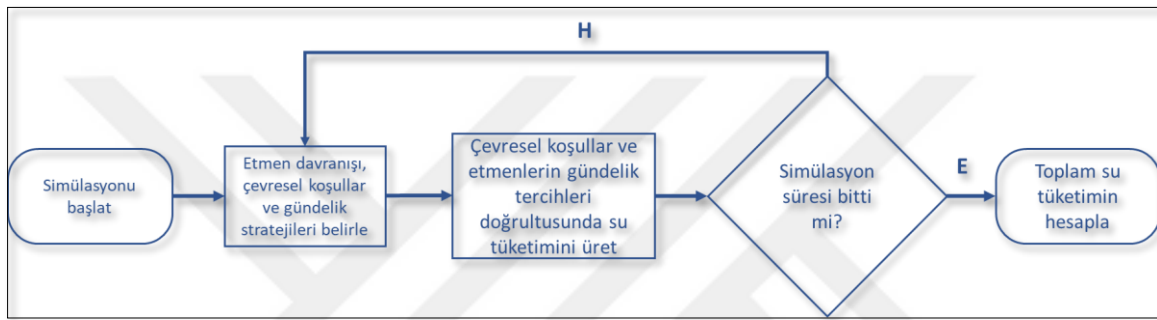
Literatürde bu durumun engellenmesi adına ortaya konulan en temel çerçeve ODD (Overview, Design Concepts, Details) protokolüdür (Grimm vd., 2020). Bu yöntem ile üretilen ODD dokümanı, modelin amacından model içerisinde yer alan varlıklar (etmen, çevresel değişkenler, bağlantılar), durum değişkenlerine ve tasarım unsurlarına varıncaya kadar pek çok konuda bilgi vermektedir (Şekil 3.43).

O	1. Purpose and patterns	Basic principles
	2. Entities, state variables and scales	
	3. Process overview and scheduling Submodel A Submodel B ...	
D	4. Design concepts	
D	5. Initialization	
	6. Input data	
	7. Submodels Submodel A (Details) Submodel B (Details) ...	
		Emergence
		Adaptation
		Objectives
		Learning
		Prediction
		Sensing
		Interaction
		Stochasticity
		Collectives
		Observation

Şekil 3.43. ODD dokümanı başlıklar ve alt başlıkları

Bu araştırma kapsamında üretilen modele yönelik tüm tasarım kriterleriyle birlikte bu kriterlere yönelik detaylı açıklamalar ODD dokümanında verilmiştir.

ODD temel olarak kurgulanan modelin eksik taraflarının tasarım aşamasında görünür hale gelmesine hizmet etmekte ve bu sayede araştırmacılar için modelin geliştirme ve uygulama süreçlerinde bir rehber görevi üstlenmektedir. Bu tezde üretilen ODD dokümanı sayesinde modelin kavramsal anlamda aksayan yönlerinin tespiti mümkün olmuştur. Bu bağlamda, üretilen simülasyon modelinin temel işleyişi Şekil 3.44'te gösterildiği şekilde belirlenmiştir.



Şekil 3.44. Etmen tabanlı model işleyişi akış diyagramı

Bu tezde geliştirilen etmen tabanlı modellemede, hane halkı sayısı bakımından herhangi bir ölçeklendirme yapılmaksızın, doğrudan Ahimesut Mahallesi nüfus sayısının üretilmesi hedeflenmiştir. Bu tercihin en önemli gerekçesi üretilen su tüketim simülasyonunun yorumlanması ve analiz aşamasında birim dönüşümü ve benzeri ilave işlemlere gerek kalmasının önlenmesidir. Buna göre modelde etmen davranışı, etmenlerin tabi olacağı çevresel koşullar (sıcaklık, yağış durumu) gibi değişkenler belirlenerek bu etmenlerin takvim değişkenleri (mesai günü, haftasonu, uzun süreli tatiller) ile güncellenen koşullar altındaki bireysel su tüketimi çıktısı üretilmektedir. Nihai olarak her bir hane için üretilen su tüketimleri toplanarak faturalandırılmış su tüketimleri ile karşılaştırılmak üzere kaydedilmektedir.

Su kullanım modeli ve etmen davranışı

Etmen tabanlı modellemenin en önemli aşaması etmen (agent) davranışının belirlenmesidir. Bir etmenin diğer etmenlerle ve çevresiyle nasıl bir etkileşimde bulunacağını belirlemek, bunun bir dizi kurala bağlanarak ilgili parametrelerle ilişkilendirilmesi neticesinde bir

modelin kavramsal çekirdeği oluşturulmaktadır. Bu tez kapsamında etmenlerin hareket tarzını belirleyen temel model “sınırlandırılmış rasyonellik” olarak ifade edilebilecek bir yaklaşımdır. Bu yaklaşıma göre insanlar karar verme süreçlerindeki sınırlılıklar veya bilgi yetersizlikleri gibi nedenlerle tam anlamda rasyonel davranışlar sergilememektedir.

Yetersiz bilgi seviyesinin dışında yeterli düzeyde gönüllülük olmaması veya yaşam standartlarının getirmiş olduğu sınırlılıklar da söz konusudur. Örneğin evde kullanılan cihazların su tüketiminin yüksek olması, hane halkının yaşam standartları nedeniyle ortaya çıkan bir verimsiz kullanıma neden olmaktadır. Ayrıca bu durum, bireylerin her su kullanımında çok güçlü bir şekilde tasarruf iradesi ortaya koymalarını gerektirdiğinden, (evde kullanılan cihazların getirmiş olduğu sınırlılıklar nedeniyle) dolaylı bir isteksizliğe de neden olmaktadır.

Nihai olarak, bireyin günlük su tüketimine ilişkin süreçlerdeki kararları da isteğe bağlı şekilde veya istem dışı biçimde bireyin gündelik yaşantısıyla yakından ilişkilidir. Kolayca değişmeyen coğrafi bölge, ülke, şehir, semt veya bina özellikleri gibi unsurlara ilaveten, bireyin gündelik yaşantısındaki ritmi belirleyen mevsimsel döngüler, mesai kavramı ve tatil anlayışıyla birlikte konut özellikleri ve evlerde kullanılan cihazların getirdiği çeşitli sınırlılıklar mevcuttur. Bu koşulların getirmiş olduğu genel su kullanım çerçevesi Şekil 3.45’te verilmiştir.

Burada bireyler gündelik yaşantıları boyunca gereksinim duydukları bir dizi ihtiyacın karşılanması konusunda toplumsal rolleri ve günün farklı zamanlarına bağlı biçimde değişen tutumlar sergilemektedirler. Ancak tek tek tüm toplumsal rollere ilişkin su kullanımını kurgulamaya yeterli mikro verilerin olmaması nedeniyle simülasyonda bu tercihlerin rastsal (stokastik) biçimde belirlenmesi esas alınmıştır. Bunun yerine her bireyin baz su tüketimi parametrize edilerek her simülasyon günü için evde kalan birey sayısı üzerinden tüketim hesaplanmıştır.

üzere, hanede gerçekleşen su tüketimi günlük baz talep (baseline demand- d_{db}) ve atmosferik düzeltme faktörü (f_{wcf}) üzerinden ifade edilmektedir:

$$HHWC = \begin{cases} d_{db} - \left(\sqrt{|d_{db} * f_{wcf}|} \right), f_{wcf} < 0 \\ d_{db} + \left(\sqrt{d_{db} * f_{wcf}} \right), ve f_{wcf} > 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$d_{db} = \sum_1^i (c_{dwi} + c_{wmi} + c_{tapi} + c_{wci} + c_{shwi}) \quad (3.10)$$

Baz talep, bireyin mevsimsel artışlar gibi dönemsel değişimlerden etkilenmeyen en az tüketim miktarını ifade etmektedir. Günlük baz talep, “i” hesap yapılan zaman adımı (gün) ifade etmek üzere; bulaşık makinası (c_{dwi}), çamaşır makinası (c_{wmi}), musluklar (c_{tapi}), tuvalet sifonu (c_{wci}) ve duş (c_{shwi}) gibi su tüketen cihazların günlük toplam tüketim miktarının toplanmasıyla elde edilmektedir. Diğer taraftan arayüzden kullanıcı tarafından da günlük baz talep miktarı belirlenebilmektedir.

Modelin su tüketimini tahmin edebilmesi için mevsimsel değişimlerin de hesaplama dahil edilmesi gerekmektedir. Mevsimsel değişkenliklerin modellenmesinde, yağış yokluğundaki hava sıcaklığının, tüketimi etkileyen bir faktör olduğu kabulüyle, bir (ısı) transfer fonksiyonu üzerinden hesaplanan hava düzeltme faktörü (f_{wcf}) su tüketimi üzerindeki bu etkiyi temsil etmektedir.

Transfer fonksiyonlarının su tüketiminin modellenmesindeki önemli bir faydası, günlük sıcaklık verisinin, uzun dönem sıcaklık ortalamalarından çıkarılmasıyla bir «potansiyel günlük su tüketimi» hesabının yapılabilmesidir. Literatürde günlük, haftalık ve aylık su tüketimi verilerinin ısı fonksiyonunun hesaplanmasının mümkün olduğu, ancak en efektif sonucun haftalık ortalamalar ile elde edildiği ifade edilmektedir (Maidment vd., 1985).

Bu tezdeki düzeltme faktörünün (f_{wcf}) günlük su tüketim verilerinin bulunmaması nedeniyle aylık ortalama değerler üzerinden hesaplanması denenmiştir. Ancak bu hesaplamalar ihtiyaç duyulan katsayıların üretilmesine yeterli gelmediğinden, literatürde yer alan empirik bilgiler kullanılarak yağış ve sıcaklık parametrelerinin su tüketimi üzerindeki etkisi hesaplama dahil edilmiştir.

Düzeltilme faktörünün (f_{wcf}) hesaplanmasında Maidment vd. (1984) tarafından gerçekleştirilen araştırmada elde edilen empirik bilgiler kullanılmıştır. Haftalık ortalama sıcaklıklar ile haftalık mevsimsel su tüketimi arasındaki ilişkinin incelendiği araştırmada, hava sıcaklığı ile su tüketimi arasında yıllık ölçekte üç farklı dönemde ele alınabilecek bir doğrusal olmayan ilişki bulunduğu ifade edilmektedir. Bu dönemler baz tüketimin esas olduğu kış dönemi, sıcaklıkların su tüketimine doğrusal olmayan biçimde etki ettiği yaz mevsimi ve arada kalan geçiş dönemi olarak adlandırılmıştır.

Sıcaklıkla ilişkili biçimde değerlendirildiğinde, 13 °C altında sıcaklığın su tüketimine bir etkisinin bulunmadığı, 13 °C ve sonrasında sıcaklığın su tüketimini artırdığı ve 28 °C eşiği geçildiğinde su tüketiminin 6 kata varan oranda artış gösterdiği ifade edilmektedir. Bu bağlamda, bu araştırmada kullanılan atmosferik düzeltme faktörü (f_{wcf}) (3.11) numaralı denklem ile hesaplanmıştır.

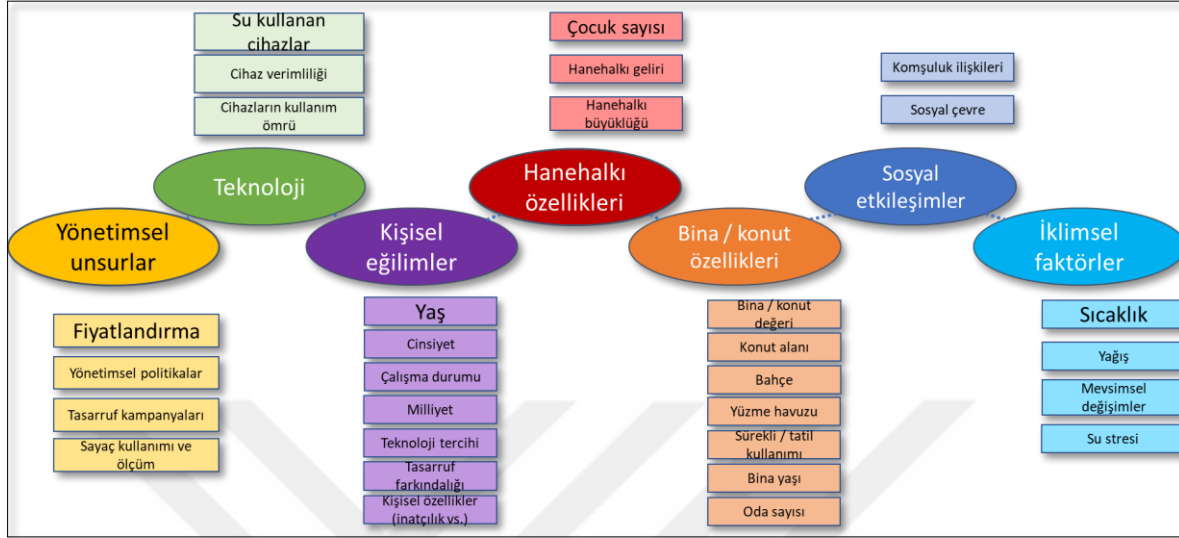
$$f_{wcf} = \begin{cases} cf_0 = 0,0154.T^3 - 0,2503.T^2 + 2,0396.T - 1,4236, p = 0 \\ cf_1 = 136,99.e^{-0,315.x}, 0 < p \leq 1,3 \text{ mm} \\ cf_2 = 196,08.e^{-0,673.x}, 1,3 \text{ mm} < p \end{cases} \quad (3.11)$$

“p” yağışı, “t” sıcaklığı ve “cf” düzeltme katsayısını göstermek üzere yağışın olmadığı günlerde (p=0) düzeltme katsayısı cf_0 ile ifade edilen polinomial fonksiyon ile hesaplanmaktadır. Yağışın 1,3 mm’den az ve sıfırdan yüksek olduğu durumlar için cf_1 , 1,3 mm’den yüksek olduğu durumlar için ise cf_2 ile ifade edilen formül ile hesaplanmaktadır.

Simülasyon parametrelerinin seçimi

Literatürde su tüketiminin tahminine ilişkin araştırmalardan derlenen parametre grupları Şekil 3.46’da verilmektedir. Literatüre göre konut su tüketimi etkileyen temel unsurlar iklimsel faktörler, sosyal etkileşimler, hane halkı özellikleri, kişisel eğilimler, kullanılan teknoloji ve su idareleri gibi otoritelerce alınan kararlar ve politikalar başlıkları altında toplanabilmektedir. Şekil 3.46 ile belirlenen genel çerçeve, su tüketimini etkileyebilecek bütün faktörlerin genel bir görünümünü ifade etmektedir. Ancak bütün bu faktörlerin bir arada ele alındığı bir etmen tabanlı model üretilmesi bu tezde mümkün olmayacak ölçüde

büyük bir araştırma hedefidir. Diğer taraftan bu parametrelerin doğrulanması için gerekli mikro veriler de mevcut değildir.



Şekil 3.46. Su tüketimin etkileyen parametre grupları

Bu nedenle bu çalışmada yönetimsel stratejiler, teknoloji, sosyal etkileşimler ve bina özellikleri gibi faktörlerin etkilerini sabit kabul edecek şekilde konut (hane içi) su tüketiminin modeli geliştirilmiştir. Hane içinde gerçekleşen faaliyetler bakımından hane halkı büyüklüğü, çocuk sayısı, çalışan sayısı gibi faktörler de evde yemek pişirme/dışarıda yemek/eve sipariş, evde tatil/tatile çıkma gibi tercihlerin şekillenmesinde etkili olmaktadır. Bu bağlamda Etmen Tabanlı Model için seçilen parametreler ve bu parametrelerin değişim aralıkları Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Modelin temelini oluşturan takvim parametrelerinin değişimi; mesai kavramı ve uzun süreli tatiller üzerinden değerlendirilmektedir. Hafta içi ve hafta sonu su tüketiminin farklılaşacağı hipotezinden hareketle bu değişken iki farklı değer almaktadır. Diğer taraftan uzun süreli tatillerde tatilin şehir dışında geçirilmesi olasılığı ortaya çıkmaktadır. Şehir dışı tatiller gibi uzun süreli tatillerin konut su tüketimini azaltıcı etkisi bulunmaktadır.

Bu tatillerin ara tatil veya yaz tatili gibi dönemlere denk gelmesi durumunda da yerleşim biriminin su tüketimine kümülatif bir etkisi ortaya çıkmaktadır. Su tüketimin etkileyen hane halkı parametreleri arasında hane halkı büyüklüğü (birey sayısı) tüketimi en çok etkileyen parametre olarak değerlendirilmektedir. Hane halkı büyüklüğü arttıkça ölçek ekonomisi

nedeniyle su tüketimi azalan bir artış göstermektedir. Yani birey başına tüketilen su miktarı azalmaktadır.

Çizelge 3.12. Etmen tabanlı model parametreleri ve değişim aralıkları

Model Parametresi	Değişken	Değişim Aralığı	Açıklama
Haftanın günü	weekday	weekday, weekend	Eğer haftanın günü 1 veya 7 ise haftasonu, değilse hafta içi
Tatil durumu	vacation	none, vacation	Eğer ardışık 3 gün vacation değeri varsa uzun süreli tatil ihtimali ortaya çıkıyor. Süre uzadıkça evden uzak kalma olasılığı ve süresi artıyor.
Hane halkı büyüklüğü	hhs	1 - 5	Eğer hane halkı 1 ise yalnız yaşayan, 2 ise yeni evli/emekli çift, 3 ise çocuklu aile, 4 ise iki çocuklu aile, 5 ve üzeri ise geniş aile
Çalışan/okuyan sayısı	outsiders	% 0 -100	Eğer okuyan / çalışan oranı 1 ve günlük gelir 5 dolar altında ise öğrenci, okuyan/çalışan oranı 1'den küçük ve gelir 5 dolardan büyük ise yalnız yaşayan yetişkin.
Birey yaşı	Age	0 – 100	Eğer yaş 0 - 5 ise bebek, 5-17 ise öğrenci, 18- 64 ise Yetişkin, 65 üstü ise emekli birey
Sıcaklık	data-temp	- 20 / + 45	Eğer günlük ortalama sıcaklık 28 derece üstü ve yağış yoksa yüksek stres, değilse normal, 13 derece altı etkisiz
Yağış	data-prcp	0 +	Yağışlı günler termal konforu iyileştirmekte ve müteakip günlerde bu etkisi giderek azalmaktadır.

İklimsel parametrelerden sıcaklık, su tüketimini artıran unsurlardandır. Bunun temel nedeni bahçe sulamasının özellikle sıcaklığın yüksek olduğu yaz aylarında artış göstermesidir. Ancak sıcaklığın özellikle bireylerin termal konforunu etkileyen boyutu da su tüketimini artıran unsurlar arasında yer almaktadır. Diğer taraftan yağışların geçici bir süreliğine sıcaklığı azaltma etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle yağışın da termal konforu ve dolayısıyla bireysel su tüketimini etkileyen bir boyutu bulunmaktadır. Termal konforun değişim, hane içerisindeki su tüketen cihazlara ne sıklıkla başvurulacağını etkilemektedir. Bu bakımdan konut içerisindeki musluklar, çamaşır makinası, bulaşık makinası gibi ev aletlerinin performans parametrelerinin modele dahil edilmesi gerekmektedir. Bu cihazlar için literatürdeki performans parametrelerine ilişkin aralıklar ve bilgiler Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13. Hanelerdeki cihazların su kullanım performansı (Perello-Moragues vd., 2021)

Evsel Kullanım	Cihaz veya Teknoloji	Tüketim Hacmi
Genel hijyen	Normal musluk	12 L/dk
	Havalandırıcılı musluk	6 L/dk
Bulaşık	Bulaşık makinesi	15 L/yıkama
	Normal çamaşır makinesi	100 L/yıkama
Çamaşır	Yeni çamaşır makinesi	50 L/yıkama
	Normal tuvalet	6 L/kullanım
Tuvalet	Çift boşaltmalı tuvalet (3/6L)	4.5 L/kullanım (ort.)
	Normal duş başlığı	12 L/dk
Duş	Havalandırıcılı duş başlığı	6 L/dk

Performans parametreleri simülasyon için sınır koşullar oluşturmaktan ziyade modelin geliştirilmesi esnasında evsel kullanımların değişim aralıklarının belirlenmesi bakımından bir referans niteliği taşımaktadır. Ayrıca ülkeler düzeyinde su tüketen cihazların performanslarına ilişkin genel kabuller de değişkenlik göstermektedir. Örneğin Çizelge 3.11’de verilen normal çamaşır makinesi su tüketimi bu tezin temel zamansal çalışma aralığı olan 2010 – 2022 yılları arasında Türkiye’de satışta bulunan çamaşır makineleri için uygun olmayan (yüksek) bir su tüketim değeridir.

Bu nedenle model tasarımında yukarıdaki referans değerlerinin çoğunluğunu kapsayacak şekilde değişkenlerin kullanıcı arayüzünden ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Diğer taraftan su tüketen cihazların su tüketim aralığı kadar bu cihazların kullanım sıklıkları da su tüketimini etkileyen bir diğer unsurdur. Bu tezde bireylerin su tüketen cihazları kullanma sayılarına ilişkin aralıklar Çizelge 3.14’te verilmiştir.

Burada verilen su kullanım aralıkları su kullanım senaryolarının oluşturulmasına esas teşkil etmek üzere yüksek ve düşük verimli su tüketim alışkanlıklarının belirlenmesinde referans olarak kabul edilmiştir. Diğer taraftan, her iki çizelgenin orijinal hallerinde yer alan ve araştırma konusuyla ilişkili bulunmayan bölümleri çıkarılmıştır.

Çizelge 3.14. Su kullanan cihazların kullanım aralıkları (Perello-Moragues vd., 2021)

Evsel Kullanım	Uygulama veya Alışkanlık	Süre veya Sıklık
Duş	Düşük verimlilik	6 dk/kişi·gün, 6 kez/kişi·hafta
	Yüksek verimlilik	3 dk/kişi·gün, 6 kez/kişi·hafta
Genel hijyen	Uygunsuz kullanım	3 dk/kişi·gün
	Geleneksel	1.5 dk/kişi·gün
Tuvalet	Uygunsuz kullanım	6 kez/kişi·gün
	Geleneksel	4 kez/kişi·gün
Bulaşık	Musluk, uygunsuz kullanım	8 dk/hane·gün
	Musluk, geleneksel	4 dk/hane·gün
	Bulaşık makinesi, düşük verimlilik	2 kez/hane·gün
	Bulaşık makinesi, yüksek verimlilik	1 kez/hane·gün
Çamaşır	Düşük verimlilik	2 kez/hane·hafta
	Yüksek verimlilik	1 kez/hane·hafta

Modelin kodlanması

Etmen tabanlı modelin geliştirilmesi NetLogo (Wilensky, 1999) yazılım ortamında gerçekleştirilmiştir. NetLogo hem öğrenim kolaylığı hem de üretilecek modeller konusunda bir kısıtlamaya sahip olmaması nedeniyle akademik araştırmalarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. NetLogo yazılımı görsel arayüz (Interface), kodlama alanı (Code) ve model ile ilgili bilgilerin verildiği bölümlerden (Info) oluşmaktadır (Şekil 3.47.). Araştırma kapsamında üretilen etmen tabanlı model WaDemEsT (Water Demand Estimation Tool-Su Talebi Tahmin Aracı) olarak adlandırılmıştır.

NetLogo yazılımı araç takımı NetLogo geliştiricilere hem arayüz hem de kod alanlarının ayrı ayrı düzenlenmesi olanağını sunmaktadır. Veri dosyasını yükleme, yeniden başlatma grafikleri temizleme ve çıktı dosyasına yazdırma butonları ile simülasyon süresi, kalan süre ve tarih ile günü gösteren monitörlerden bu parametrelerin değişimi anlık olarak takip edilebilmektedir.

Veri dosyasındaki simülasyon parametrelerini gösteren grafikler ile MGM sıcaklık ve yağış verileri ile ASKİ aylık su tüketimi ve faturalandırılan abone sayıları simülasyona girdi olarak alınmaktadır. Output ekranında simülasyonun her bir birim zaman ilerlemesinde (tick) alınan veriler kontrol amaçlı olarak yazdırılmaktadır.



Şekil 3.47. WaDemEst yazılım arayüzü: 1) NetLogo araç takımı, 2) WaDemEst veri araçları 3)Veri dosyası grafik alanı, 4) Hane halkı demografisi parametreleri, 5)Setup ve Go prosedürleri araçları, 6) Model ile üretilen verilerin karşılaştırıldığı grafik alan, 7) Etmenlerin çevreleriyle ve birbirleriyle etkileşimlerinin izlendiği “World” alanı

Ortalama hane halkı büyüklüğü ile bunların varyans değerleri gibi model parametrelerinin değerleri parametrelerin ayarlandığı 4 numaralı belirlenmektedir. Setup ve Go prosedürleri simülasyon ortamının ayarlanması ve her bir adımda gerçekleştirilecek işlemleri belirleyen kodları içermektedir. Etmenler, environment ve bunların etkileşimlerinin görüntülediği görsel alan: “world”. Bu alanda simülasyon boyunca her bir etmenin durumu ve model parametrelerinin değişimi görüntülenebilmektedir. Info alanında modele ilişkin açıklamalar ve yönlendirmeler verilmektedir. Model ile ne amaçlandığı, nasıl çalıştığı ve nasıl kullanılması gerektiği konusundaki detaylı bilgiler ayrı başlıklar altında verilerek kullanıcıya yol gösterilmektedir.

Verifikasyon, kalibrasyon ve validasyon

Model doğrulama (verifikasyon), uygulanan modelin gerçek dünyadaki olgulara karşılık gelip gelmediğini ve bunları açıklayıp açıklamadığını belirleme sürecidir. Bir etmen tabanlı modelin verifikasyonu, model geliştirme sürecinde üretilen kodun, arzu edilen işlevi yerine

getirmesiyle ilişkilidir. Bu nedenle modelin doğru sonuçlar üretmesi, modelin tasarım aşamasından itibaren uygulamaya konulan bir dizi doğrulama sürecinin işletilmesini gerektirmektedir.

Modelin kodlanması sürecinde gereksiz hesaplama yükünden kaçınmak maksadıyla tüm modelin en basit işlevden yola çıkılarak iteratif bir şekilde üretilmesi çok önemli bir kuraldır. Bu tezde tüm kodlama süreçlerinde bu prensibe sadık kalınmaya çalışılmıştır. Bu prensip modelin verifikasyonu başta olmak üzere tüm doğrulama adımlarının temelini teşkil etmektedir.

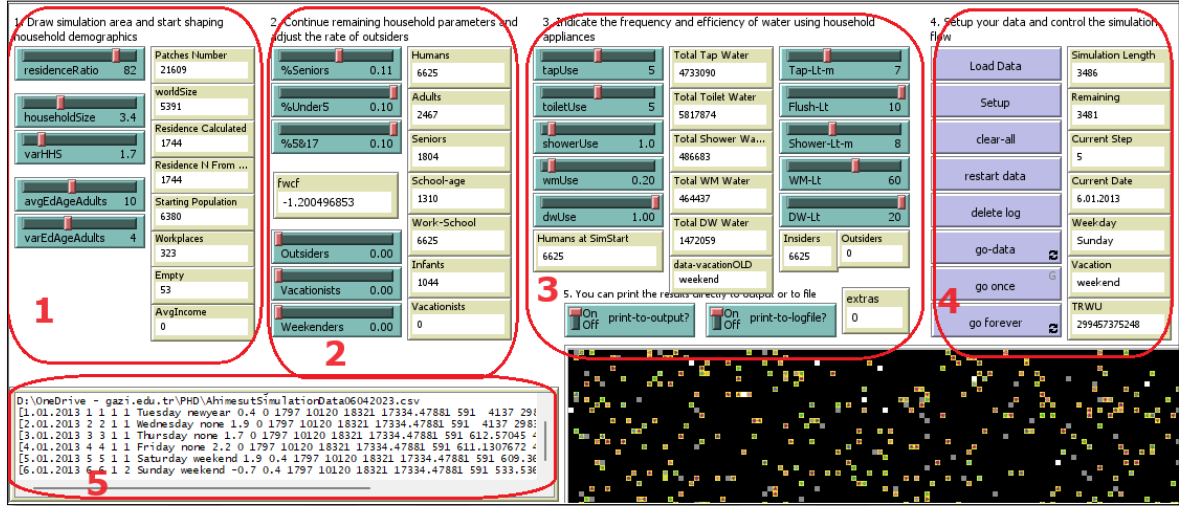
Verifikasyon (*doğrulama*) aşamasındaki en önemli zorluklardan biri model geliştikçe ortaya çıkan karmaşıklık düzeyinin (*complexity*) model tasarımcısı ve kodlayıcı arasındaki iletişimi zorlaştırmasıdır. Bu nedenle kodun evrensel kodlama normlarına uygun şekilde açık ve net anlaşılır biçimde üretilmesine yönelik tedbirler önem kazanmaktadır. Bu tedbirlerden en yaygın olanı kodun her satırının doğrudan kod üzerinde açıklanmasıdır.

Etmen Tabanlı modellerin doğrulanması konusundaki diğer önemli bir tedbir ise model işleyişine yönelik önemli değişkenlerin durumunun anlık olarak izlenmesi, değişim aralıklarının grafiklerle takip edilmesidir. Şekil 3.48’de etmen tabanlı modelin verifikasyon adımına yönelik alınan tedbirlerden bazıları görülmektedir.

Bu alanlarda örneğin kullanıcı tarafından belirlenen hane halkı büyüklüğü ve varyans değerlerine uygun simülasyon alanı ve popülasyon üretilip üretilmediğini kontrol edebilmek adına “Residence Calculated”, “Residence N from file”, “Starting Population”, “Workplaces”, “Empty”, “Humans”, “Adults”, “Seniors”, “Vacationists” gibi anlık izleme araçları eklenmiştir. Bu alanlarda herhangi olağan dışı bir akış gözlemlendiğinde koda müdahale edilerek modelin beklenen çıktıları üretmesi sağlanmıştır.

Modelin doğrulanması konusundaki diğer önemli bir adım ise kalibrasyondur. Kalibrasyon işlemi etmen tabanlı modellerde model başlangıç koşulları ve parametreler arasından, modellenen kavramı açıklayabilme gücü bulunanların tespit edilmesi maksadıyla yapılmaktadır. Kalibrasyonun modellemedeki temel işlevi, belirli bir senaryoya yönelik konfigürasyonların test edilmesidir. Kalibrasyon sürecinin nihayetinde modelin geçerlemesi

(validasyon) tamamlanarak, gerçek dünyayı açıklama gücü bulunan bir modelden bahsetmek mümkün hale gelmektedir.



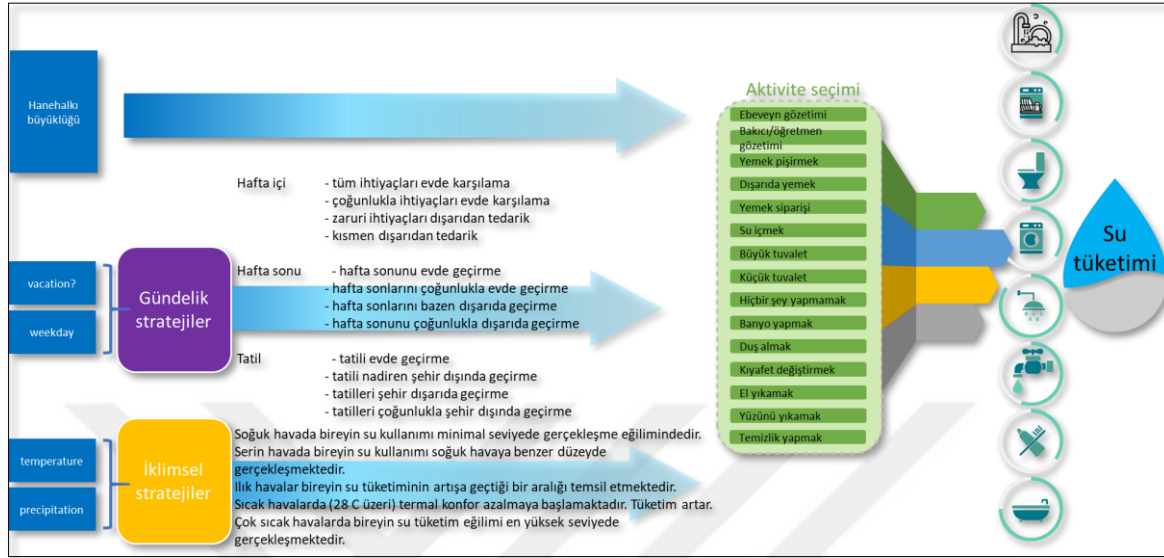
Şekil 3.48. Model arayüzündeki verifikasyon alanları 1) Yerleşim birimi özelliklerinin doğrulanmasına yönelik monitor alanları (Residence Calculated, Residence N from file, Starting Population, Workplaces, Empty) 2) Hane halkı demografisi doğrulama alanı 3) Su tüketen cihazlara ilişkin doğrulama alanları 4) Simülasyon akışının izlenmesine yönelik alanlar 5) CSV dosyasından alınan verilerin izlendiği çıktı (output) alanı

Gerçek dünyadaki sonsuz sayıdaki olasılıklar düşünüldüğünde, model ile üretilen çıktıların kapsayıcı sonuçlar ürettiğini öne sürmek mümkün değildir. Bununla birlikte, istatistiksel testler kullanılarak model çıktılarının olasılıksal dağılımlarının gerçek dünyadaki (verilerin) olasılıksal dağılımlarıyla karşılaştırılması mümkündür. Bu tezde üretilen modelin kalibrasyonu senaryo analizi ile yakından ilişkili olduğundan bu konudaki detaylar takip eden bölümde verilmiştir.

Senaryo analizi ve kestirim

Etmen tabanlı modelleme kullanılarak yürütülen araştırmaların temel hedeflerinden biri, çok sayıdaki değişkenin oluşturduğu geniş bir değer aralığındaki faktörlerin neden olduğu kümülatif etkinin incelenmesidir. Bu maksatla etmenlerin sahip oldukları seçeneklerin modele yansıtılarak simülasyon anında koşullu biçimde bu seçeneklere yönelik bir tercih hiyerarşisi oluşturulması gerekmektedir. Bu tezde geliştirilen etmen tabanlı modelde tercih hiyerarşisi, etmenlerin genel yaşamsal stratejileri, çevresel koşullara yönelik geliştirdikleri

iklimsel stratejiler ve takvim değişkenleriyle ilişkilendirilen gündelik stratejiler üzerinden belirlenmektedir (Şekil 3.49).



Şekil 3.49. Etmenlerin gündelik stratejileri ve aktivite seçimleri doğrultusunda su tüketiminin oluşumu

Bu tercihler hiyerarşisi hane halkı demografisi, hanelerde kullanılan cihazların su tüketimi ve bireylerin su kullanım tercihleri olmak üzere üç farklı aşamadan oluşmaktadır. Bu maksatla su tüketiminin gidişatına etkisi olduğu düşünülen değişkenler ve bunlardan etkilenen temel parametreler ile değişkenlerin etkin olduğu prosedürler bir arada değerlendirilerek Çizelge 3.15'te yer alan değişkenlerin etkilendikleri diğer değişkenler, etkin oldukları prosedürler ve ortaya çıkan etkilerin gözlemlendiği göstergeler birlikte verilmiştir.

Burada, modelin çalışma mantığıyla ilişkili biçimde değişkenlerin temel olarak simülasyon ortamı ve hane halkı demografisinin şekillendirilmesi, evde kalma kararının verilmesi ve su tüketimi üzerindeki etkili oldukları prosedürler görülmektedir. Çizelgede yer alan her bir “Değişken” su tüketimine olan etkisinin senaryolar kapsamında değerlendirildiği faktörü ifade etmektedir.

Bir “Değişken”, “Etkin olduğu prosedür”ün çalışma tarzında ve dolaylı olarak su tüketiminin oluşumundaki etkisi değerlendirilen parametredir. “Gösterge” ise “Değişken” tarafından ortaya çıkarılması beklenen etkinin gözlemleneceği alanı ifade etmektedir.

Çizelge 3.15. Etmen tabanlı model su tüketim senaryoları

Değişken	Etkilenen	Etkin olduğu prosedür	Gösterge
Hane halkı büyüklüğü (householdSize)	Toplam nüfus	set-the-household	Toplam su tüketimi
65 yaş üstü oranı (%Seniors)		set-the-household	
5 yaş altı oranı (%Under5)		set-human-category should-go-out?	Toplam su tüketimi
5-17 yaş arasının oranı (%5ve17)	Hane halkı demografisi		
Hafta içi dışarı çıkan oranı (Outsiders)		setup-human-types	Hafta içi su tüketimi
Hafta sonu dışarı çıkan oranı (Weekenders)	Su tüketen eşyaların kullanımı	consume-water day-type-factor	Hafta sonu su tüketimi
Tatile gidenlerin oranı (Vacationists)			Uzun dönem tatillerde su tüketimi
Kişi başı musluk kullanımı (tapUse)	Musluk suyu miktarı		Toplam Musluk su tüketimi
Kişi başı sifon kullanımı (toiletUse)	Sifon suyu miktarı		Toplam Sifon suyu kullanımı
Kişi başı duş alma sayısı (showerUse)	Banyo su tüketimi	consume-water	Toplam Banyo su tüketimi
Çamaşır makinesi kullanım (wmUse)	Çamaşır makinesi tüketimi		Toplam Çamaşır makinesi su tüketimi
Bulaşık makinesi kullanım (dwUse)	Bulaşık makinesi tüketimi		Toplam Bulaşık makinesi tüketimi
Musluk tüketimi (Tap-Lt-m)	Musluk suyu miktarı		Toplam Musluk su tüketimi
Sifon tüketimi (Flush-Lt)	Sifon suyu miktarı		Toplam Sifon suyu kullanımı
Duş tüketimi (Shower-Lt-m)	Banyo su tüketimi	consume-water	Toplam Banyo su tüketimi
Çamaşır makinesi tüketimi (WM-Lt)	Çamaşır makinesi tüketimi		Toplam Çamaşır makinesi su tüketimi
Bulaşık makinesi tüketimi (DW-Lt)	Bulaşık makinesi tüketimi		Toplam Bulaşık makinesi tüketimi
Kişi başı baz tüketim (base-demand-per-capita)	Su tüketimi ortalaması		Toplam su tüketimi

Bu doğrultuda, çalışma alanının demografik karakteristiklerinin su tüketimi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla Çizelge 3.16’da yer alan değişkenlerin değişim aralıklarının “baz” ve “yüksek düzey” olarak belirlendiği iki farklı senaryo oluşturulmuştur.

Çizelge 3.16. Etmen tabanlı model baz ve yüksek düzey senaryoları

Parametre	Değişken	Baz durum	Yüksek düzey
65 yaş üstü (emekliler)	%Seniors	0,05	0,05
5 yaş altı çocuklar	%Under5	0,06	0,06
5-17 yaş arası çocuklar	%5ve17	0,25	0,25
Dışarı çıkanların oranı	Outsiders	1,00	0,00
Tatilcilerin oranı	Vacationists	1,00	0,00
Haftasonu tatilci oranı	Weekenders	1,00	0,00
Musluk kullanım sayısı	tapUse	6	6
Tuvalet kullanım sayısı	toiletUse	4	4
Duş kullanım sayısı	showerUse	0,80	0,80
Bulaşık m. Kullanımı	wmUse	0,40	0,40
Çamaşır m. kullanımı	dwUse	0,50	0,50
Musluk su tüketimi	Tap-lt-m	5	5
Sifon su tüketimi	Flush-lt	5	5
Duş su tüketimi	Shower-lt-m	25	25
Bulaşık m. Su tüketimi	WM-Lt	15	15
Çamaşır m. Su tüketimi	DW-Lt	40	50
Baz talep	Base-demand-per-capita	50	75

Senaryoya eklenen her bir faktör için işlemci yükünün hızlı biçimde artması nedeniyle işlem gücü bakımından yüksek taleplere neden olmayacak bir senaryo kurgusu tercih edilmiştir. Halihazırda simülasyonda test edilen her bir kategori için baz ve yüksek düzey seçenekleri doğrultusunda toplamda 262144 farklı senaryo ortaya çıkmaktadır.

Üretilen sonuçların istatistiksel açıdan anlamlı olması bakımından, bu senaryoların her birinin 3'er kez simülasyonunun yapılması halinde dahi modelin 786432 farklı konfigürasyonda çalıştırılması ve ortaya çıkan sonuçların da analizi için de ayrıca zaman harcanarak tüm çıktıların yorumlanması gerekmektedir.

Sonuç olarak ortaya çıkan tabloda, üretilen verilerin eldeki verilerle zamansal ölçekte ne tür bir benzerliğe sahip olduğunun test edilmesi, modelin çıktılarının doğrulanması için gerekli bilgiyi sağlamaktadır. NetLogo, senaryo analizi konusunda kullanılmak üzere tasarlanmış, BehaviorSpace isimli bir eklenti sunmaktadır. Bu eklenti sayesinde, özellikle arka planında stokastik (rastsal) süreçlerin önemli rol oynadığı ve her bir simülasyonda modelin birbirinden farklı sonuçlar ürettiği durumlarda, hazırlanan senaryolar kolayca çalıştırılarak istenen çıktılar üretilebilmektedir.

Bu tez için hazırlanan etmen tabanlı modelin simülasyonu süreci BehaviourSpace kullanımını gerektirecek düzeyde stokastik süreçlerden etkilenmemektedir. Bunun en temel nedeni modelin hali hazırda mevcut bulunan bir veri kümesine uygun çıktılar üretip

üretmeyeceğinin araştırılmasıdır. Yani model için belirlenen parametrelerin alt ve üst limitlerinin sağlanıp sağlanmadığının tespiti konusunda, her bir değişken için diğer tüm değişkenler sabit olmak üzere baz durum ve yüksek durumun test edildiği ikişer senaryo üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Bu senaryolarda değişkenlerin her bir farklı durumu için 25 deneme (run) üzerinden üretilen ortalama değerlerin durumu esas alınmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde;

- zaman serisi analizi ile elde edilen bulgular,
- su tüketiminin iklimsel faktörlerle ilişkisi,
- hane halkı demografisinin su tüketimine olan etkisi
- takvim parametrelerinin su tüketimi ile olan ilişkisine yönelik bulgular değerlendirilerek, her bir parametre grubunun model çıktılarına olan etkisi tartışılmıştır.

Bu bağlamda ilk olarak konut su tahminine yönelik aylık ölçekte tahminler geliştirmek için kullanılabilecek yöntemlerden zaman serisi ayrıştırma, otoregresif ortalama, hareketli ortalama ve bunlardan hareketle üretilen ARIMA/SARIMA modellerinin aylık tüketim verilerinin tahminine yönelik kullanımı analiz edilmiştir. Bu yöntemlerin pik talepleri tahmin etme konusundaki yeterliliği değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntemlerin aylık verilerden hareketle yüksek doğrulukta tahminler üretip üretmediği değerlendirilmiştir.

Aylık su tüketimi ile aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık arasındaki ilişkinin test edilmesine yönelik olarak çok değişkenli regresyon analizinden (MLR) yararlanılmıştır. Bu uygulamadan elde edilen bulgular doğrultusunda bir etmen tabanlı model geliştirilerek, anılan unsurlar arasındaki ilişki daha detaylı şekilde analiz edilmiştir.

Aylık su tüketim verilerine uyarlanabilecek özgün bir sezgisel model geliştirilmesi kapsamında, literatürden hareketle aylık verilere uyarlanmış bir sezgisel model geliştirilerek tahminler konusundaki etkinliği değerlendirilmiştir.

Etmen tabanlı modellemenin aylık su tüketim verilerini etkileyen faktörleri açıklayabilme gücünü test etmek üzere bir etmen tabanlı model geliştirilerek, bu model sezgisel model ile eşlenik halde sentetik veri üretimi maksatlı olarak kullanılmıştır.

Bu bölümde bu uygulamalar neticesinde elde edilen bulgulara her bir yöntem için ayrı bir başlık altında değinilmiştir. Ancak öncesinde araştırmanın yürütüldüğü coğrafi alanın su altyapısı, iklimsel ve demografik yapısına ilişkin tespitler ve bulgular sunulmuştur.

4.1. Çalışma Alanı Su Temin ve İklimsel-Demografik Yapısına İlişkin Bulgular

Ankara İli coğrafi bakımdan karasal iklim karakteristiği barındıran İç Anadolu Bölgesinde yer alması nedeniyle yağış rejimi ve sıcaklık bakımından yağış açığı olan bir yerleşim durumundadır. Diğer taraftan, havzalar arası transfer olanağı sunan Kızılırmak Nehri-Kesikköprü Barajı ve Gerede Nehri-Çamlıdere Barajı gibi ilave kaynaklar sayesinde su temin sisteminin kapasitesi coğrafi anlamda da çeşitlilik arz etmektedir. Dolayısıyla bir su temin sisteminin temel sınırlayıcı faktörlerinden olan su toplama havzasının büyüklüğünün, Ankara için çok daha büyük bir coğrafyaya yayıldığı, bu bakımdan da yağış ve sıcaklık gibi yerel iklimsel düzensizliklere karşı daha dayanıklı olduğu değerlendirilmektedir. Özellikle kuzeydeki Gerede-Çamlıdere sistemi coğrafi bakımdan karasal iklim özellikleri sergileyen bölgenin sınırlarının dışında sayılabilecek bir bölgede bulunmaktadır. Dolayısıyla bu durumun, İç Anadolu Bölgesinin yıllara sâri kurak dönemler ve yıl içi uzun yağışsız dönemler gibi koşullarını bir nebze de olsa hafifletebileceği değerlendirilmektedir.

Yağış bakımından 17129 numaralı Meteorolojik gözlem istasyonu verileri özellikle 2017 yılı sonu itibariyle bir rejim değişikliğinin göstermektedir. Bu tabloda toplam yağış miktarı azalırken, yağışın dağılımına ilişkin uç durumların da arttığı görülmektedir. Yağışın su temin sistemleri üzerindeki etkisi düşünüldüğünde, su temin süreçlerine ilişkin belirsizliklerin artma eğiliminde olduğu değerlendirilmektedir.

Son 30 yıllık süreçte ülke genelinde yaşanan depremlerin de etkisiyle konut arzında çok hızlı bir gelişim döneminin yaşanması sonucunda yeni kentsel gelişim alanlarına olan ilgi artmıştır. Ahimesut Mahallesi de 2010'lu yılların başlarından itibaren hızlı şekilde gelişim gösteren Bağlıca bölgesinde yer almaktadır. Hane halkı büyüklüğü, hane halkı demografisi, hane halkı geliri, eğitim durumu gibi faktörlere göre Ahimesut Mahallesinin demografik gelişmişlik bakımından gelişmiş ülkeler düzeyinde bir yapıya sahip olduğu değerlendirilmektedir (Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü, 2022).

Bu durum, su tüketimi üzerinde iki farklı etkiye neden olmaktadır; ilki su tüketiminin belirli bir noktaya kadar fiyattan etkilenme düzeyinin düşük olması, ikincisi ise buna bağlı olarak, suyun fiyatı üzerinden politika geliştirme konusundaki güçlüklerdir. Diğer taraftan bu durum su hizmetlerinin maliyetinin karşılanabilmesi bakımından, gelişmiş bölgelere özgü tedbirlerin belirlenebilmesini mümkün kılmaktadır.

Hane halkının genel yapısı bakımından Ahimesut Mahallesinin, büyük ölçüde Türk çekirdek aile yapısıyla benzerlik gösterdiği değerlendirilmektedir. Gündelik yaşamın su tüketiminin miktarı ve değişkenliği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi bakımından, Ahimesut Mahallesine özgü açık bilgiler bulunmamakla birlikte, Türkiye geneli ve Ankara bölgesinin karakteristik özellikleri göz önüne alındığında, öğünlerde bir araya gelme sıklığının akşam yemekleri için yüksek, hafta sonunda kahvaltı ve akşam yemeği için yüksek olduğu, dışarıdan yemek alma ve dışarıda yemek yeme sıklıklarının görece daha düşük olduğu değerlendirilmektedir.

Ayrıca küçük çocukların gündüz bakımı konusunda evde aile büyükleriyle kalan çocukların sayısının, kreş ve gündüz bakımevlerinde kalan çocuklara oranla daha düşük olduğu düşünülmektedir. Bu da hanede gerçekleşen su tüketimini azaltan unsurlardan biri olarak ortaya çıkmaktadır. Yani hane halkı su tüketiminin bir bölümü hane dışında gerçekleşmektedir.

4.2. Zaman Serisi Düzleştirme Yöntemlerine İlişkin Bulgular

Su talebi tahmininde zaman serisi analizi, zaman içinde su talebinin değişmesine katkıda bulunan çeşitli bileşenlerin istatistiksel olarak betimlenmesine dayanmaktadır. Bir zaman serisi, belirli bir değişkene ilişkin kronolojik bir gözlem dizisinden oluşmaktadır. Bir zaman serisi modeli, uzun vadeli bir eğilim bileşeni, bir döngüsel bileşen ve bir varyans bileşeninden oluşmaktadır. Zaman serisi tahminin temel zorluklarından biri, verilerin gidişatında artış veya azalış olarak kendini gösteren eğilimin (trend) yakalanmasıdır.

Düzleştirme (smoothing) yöntemleri ile verideki genel eğilim yakalanabilmektedir. Genel olarak eğer veri setinde mevsimsel etki ve trend etkisi yoksa ve tahmin ufkunun çok uzak olmadığı durumlarda WMA, EMA, LTP, QTP, Holt DES gibi veri düzleştirme yöntemlerinin elverişli araçlar olduğu değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda bu bölümde adı geçen yöntemlere ilişkin bir uygulama yapılarak özellikle veri büyüklüğüyle ilişkili biçimde kestirim doğruluklarının nasıl değişim gösterdiği araştırılmıştır. Bu maksatla verilerin WMA, EMA, LTP, QTP, Holt DES gibi yöntemlerle tahmin edilmesinin mümkün olup olmadığı tespit edilmiştir. Çizelge 4.1’de bu tezde kullanılan yöntemlerin ürettiği hata değerleri bir arada verilmiştir.

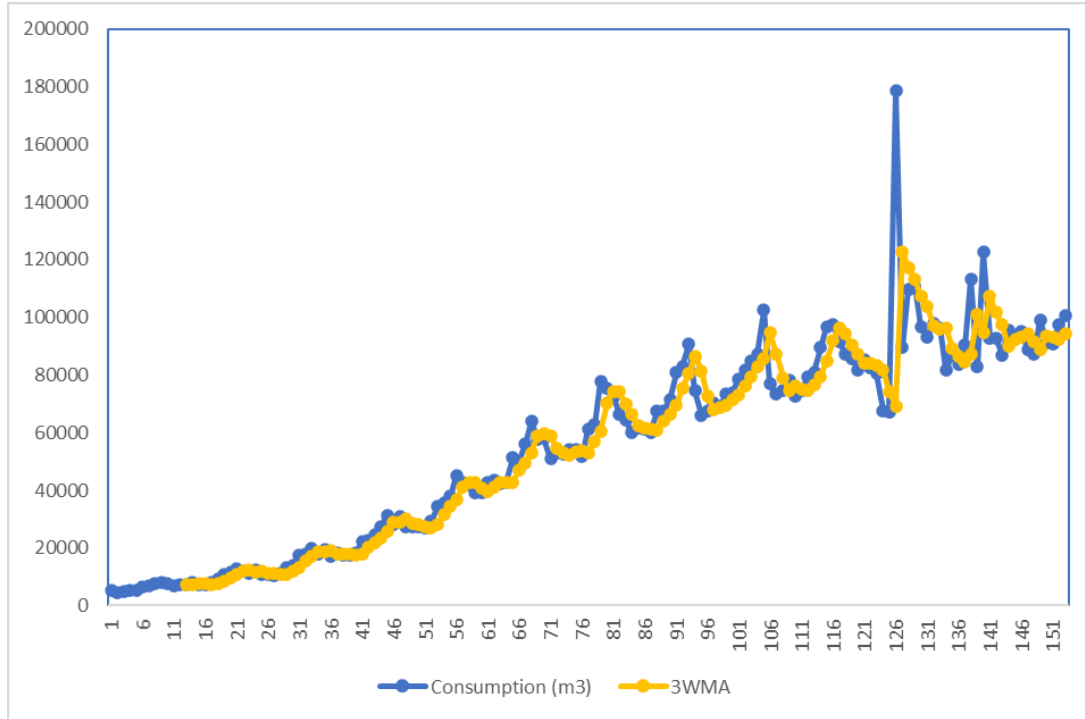
Çizelge 4.1. Projeksiyon yöntemlerine göre hata değerleri

Yöntemler	Hata Değerleri				
	MAE	RMSE	MAPE	MASE	sMAPE
Naive	5483,0	13704,9	8,6	1,000	8,63%
MA(12)	6772,3	11508,1	12,9	1,235	14,19%
3WMA	5734,4	11828,1	8,9	1,046	9,22%
EMA	5273,3	12482,3	8,5	0,962	8,66%
LTP	7107,9	11324,6	19,0	1,296	20,35%
QTP	6982,2	10923,1	24,7	1,273	38,33%
Holt DES	1754,2	2819,7	3,3	0,320	3,19%
Holt Winters	9172,0	11881,6	21,5	0,598	19,19%

Düzleştirme yöntemlerinin birbirinden farklı düzeylerde hata değerleri ürettiği görülmektedir. Temel bir ölçüt olarak Naïve yöntemine kıyasla tahmin başarısını gösteren MASE değerinin 1'den küçük değerler aldığı yöntemler EMA, Holt Winter's ve Holt DES yöntemleridir. Diğer taraftan Holt Winter's yönteminin aylık su tüketim verilerinin tahmininde Naïve yönteme kıyasla daha yüksek MASE ve sMAPE değerleri (% 19,19 ve 21,5) ürettiği görülmektedir.

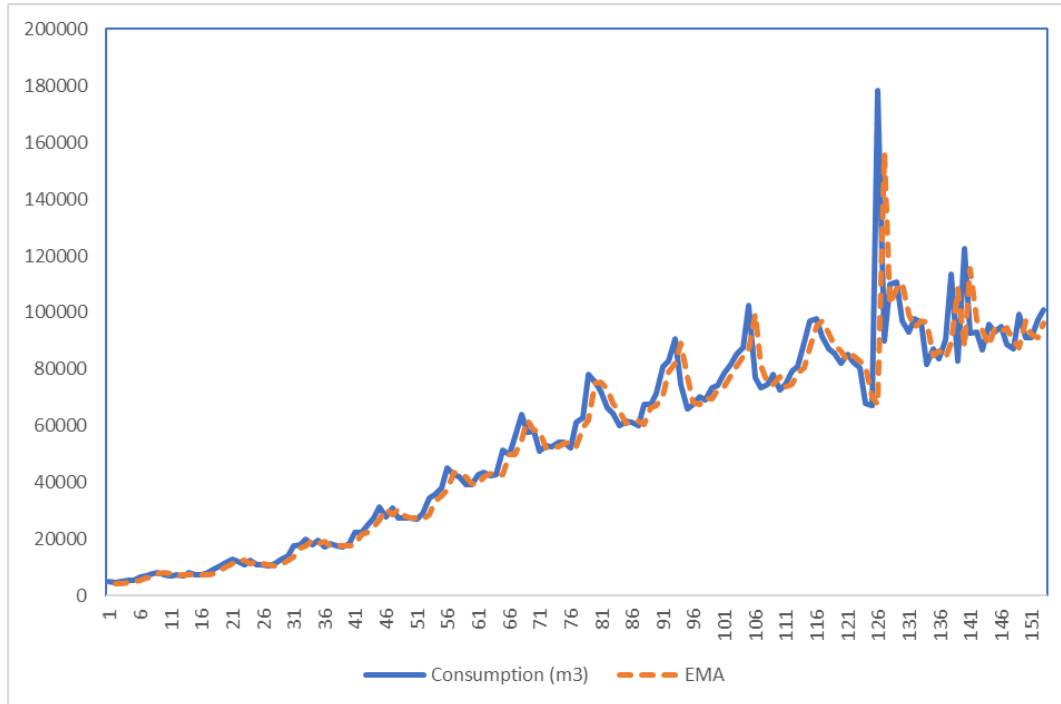
Şekil 4.1. bu tezde kullanılan aylık su tüketim verilerine uygulanan 3WMA dönüşümünün sonuçlarını göstermektedir.

Genel olarak 3WMA yönteminin verileri tahmin konusunda oldukça iyi bir performans göstermekle birlikte Haziran 2020 zamansal noktasındaki pik değerini tespit edilebilmesi konusundaki performansının tek başına yeterli olmadığı görülmektedir.



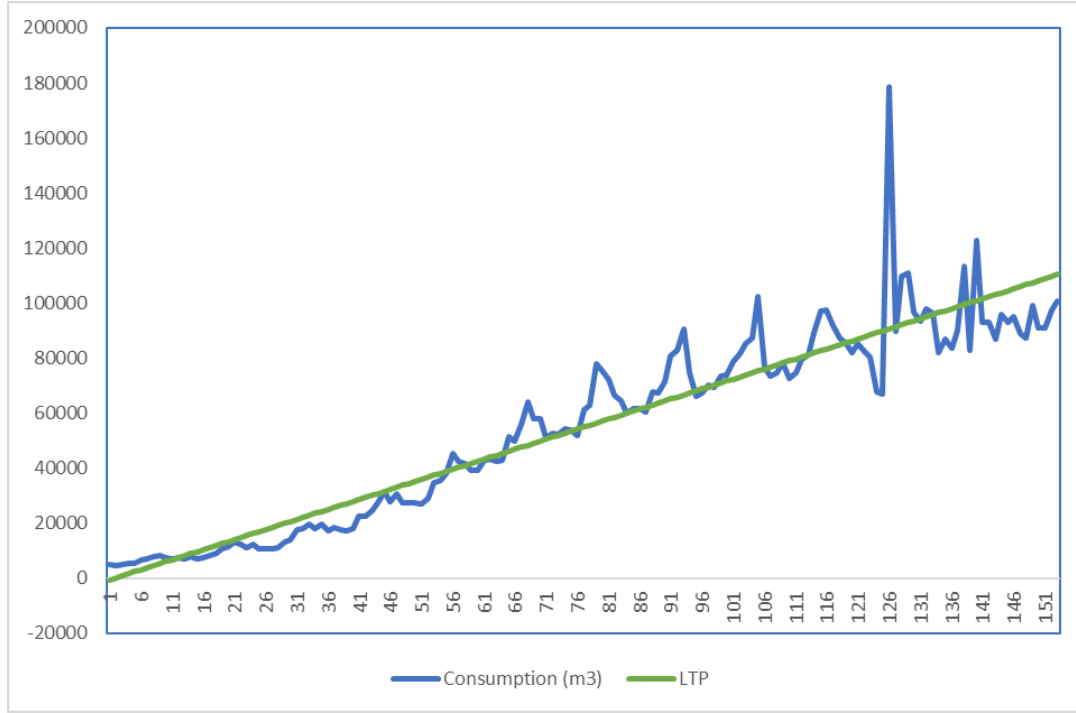
Şekil 4.1. Ahimesut Mahallesi su Tüketimi verileri 3WMA yöntemiyle düzleştirme

Şekil 4.2’de aylık su tüketim verilerine uygulanan üssel dönüşüm (EMA) işleminin genel görünümü verilmiştir.



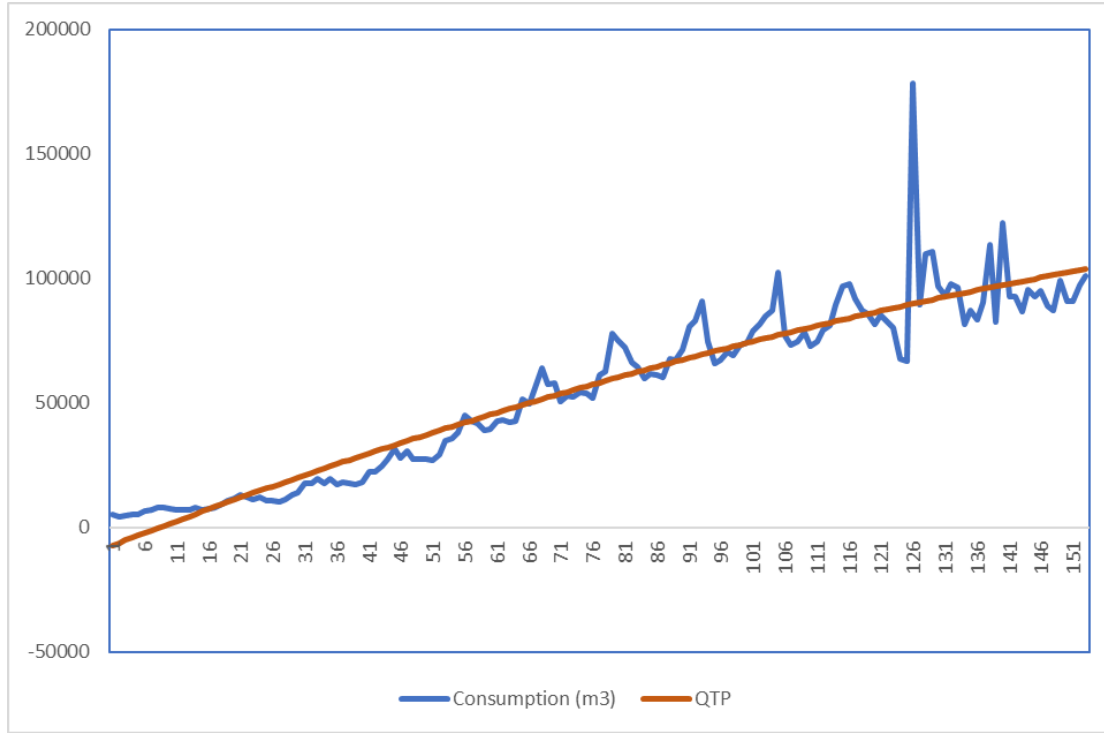
Şekil 4.2. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri EMA yöntemiyle düzleştirme

EMA dönüşümünün 3WMA yöntemine kıyasla pik tüketimin tespitinde daha başarılı olduğu görülmektedir. Şekil 4.3'te aylık su tüketimi verilerine uygulanan LTP dönüşümünün genel görünümü yer almaktadır.



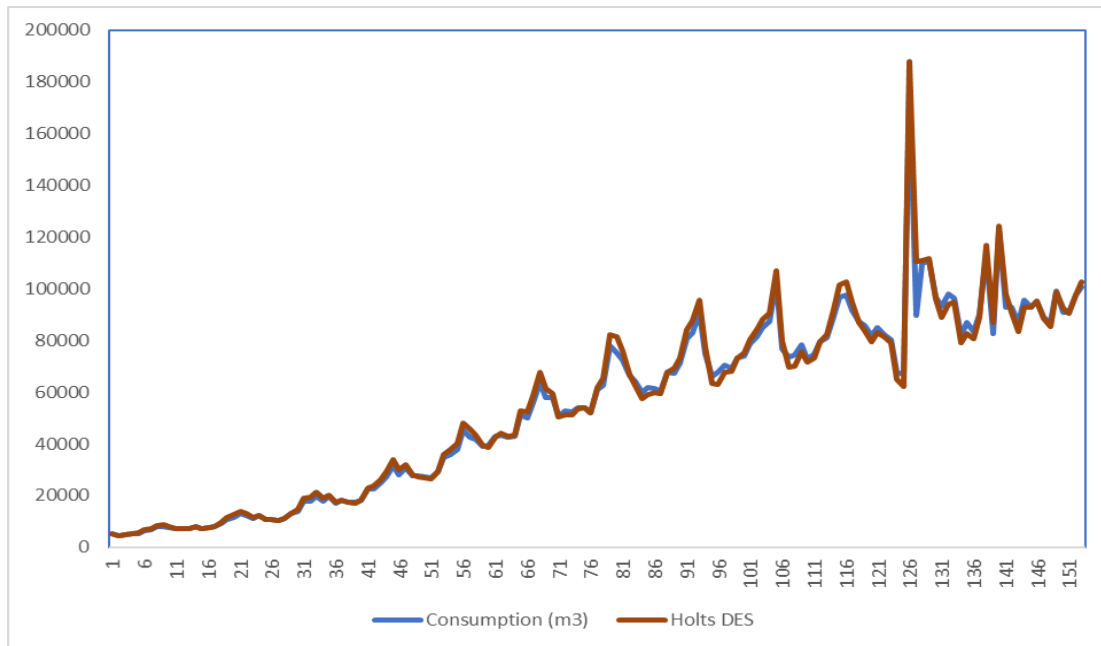
Şekil 4.3. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri LTP yöntemiyle düzleştirme

LTP bu araştırmada kullanılan verilerin tahmini veya genel eğiliminden ziyade analitik anlamda gidişatının yönünü belirleme açısından kullanılabilecek bir yöntemdir. Şekil 4.4'te aylık su tüketim verilerinin QTP yöntemiyle düzleştirilmiş hali verilmiştir.



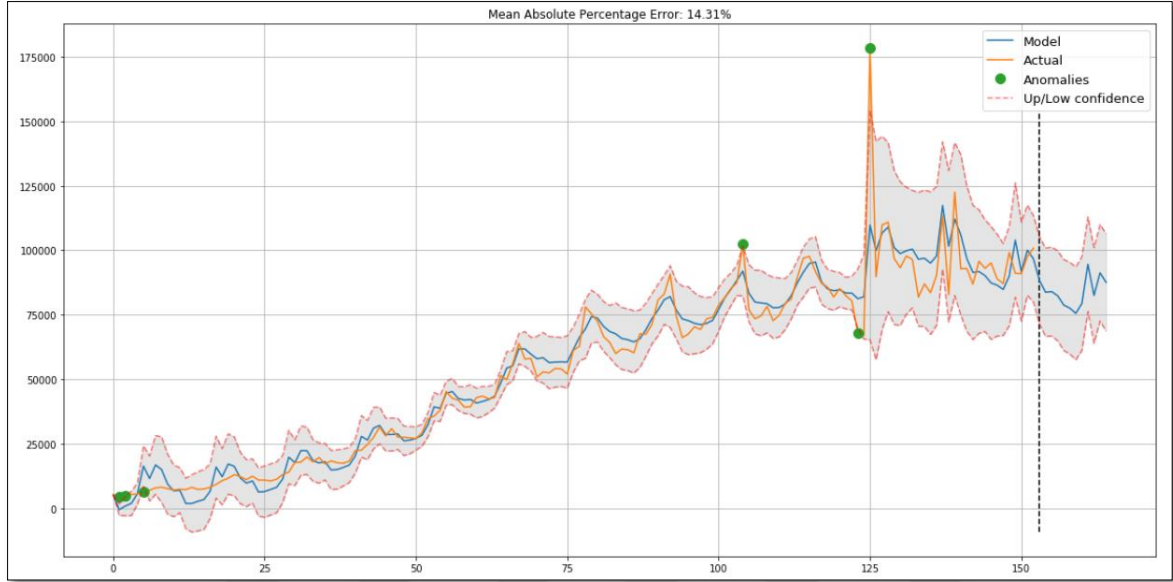
Şekil 4.4. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri QTP yöntemiyle düzleştirme

QTP yönteminin de LTP ile benzer biçimde verilerin genel gidişatının yönünü belirleme açısından kullanılabilecek bir yöntemdir. Şekil 4.5'te Holt's DES yönteminin aylık su tüketim verilerine uygulanmış hali görülmektedir.



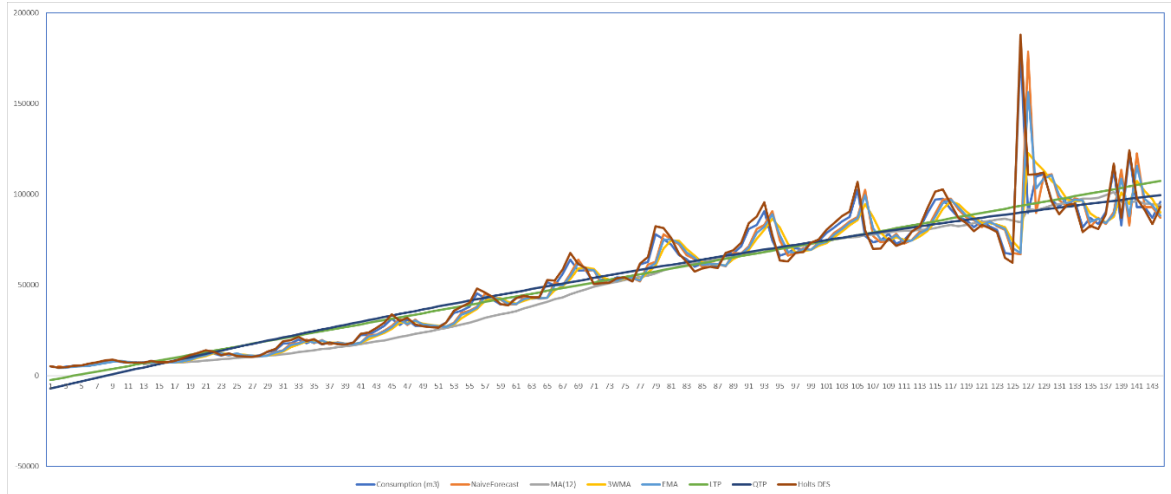
Şekil 4.5. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri Holt DES yöntemi düzleştirme

Genel olarak pik tüketimin tahmini de dahil olmak üzere ikili üssel yumuşatma (Holt's DES) yönteminin verilerin tahmini konusunda oldukça başarılı olduğu değerlendirilmektedir. Şekil 4.6. Holt Winter's TES yönteminin aylık su tüketim verilerine uygulanmış halini göstermektedir.



Şekil 4.6. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri Holt Winter's yöntemi kestirim

Python kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilen dönüşümde MAPE değerinin %14,31 seviyesinde olduğu görülmektedir. Yöntemin Holt's DES yöntemine kıyasla pik su tüketiminin tahmini açısından düşük performans gösterdiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, yöntemin verinin genel gidişatını öğrenme kapasitesi sayesinde anomali tespitinde kullanımı mümkün görünmektedir. Diğer taraftan, bu tezde kullanılan düzeltirme yöntemlerinin eldeki verinin tamamı üzerindeki etkisi birlikte Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Ahimesut Mahallesi su tüketimi verileri ve farklı estimasyon yöntemlerinin arşılaştırması

Genel olarak tüm düzleştirme yöntemlerinin eğilim belirleme, eğilimin yönünü belirleme, verinin genel yapısının ortaya konulması, pik değerlerin tahmini veya mevsimselliğin belirlenmesi gibi farklı uygulamalar açısından avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu ve bu doğrultuda da zamansal ölçekte değişken biçimde hata değerleri üretebildikleri görülmektedir.

Zaman serisi analizinde seri düzleştirme yöntemlerinin eldeki verileri tahmin konusundaki etkinliğinin değerlendirildiği ilk aşamada, WMA, EMA, LTP, QTP, Holt DES yöntemlerinin, Ankara İli Ahimesut Mahallesi'ne ait 2010 ve 2022 yıllarını kapsayan aylık su tüketim verilerini tahmin konusundaki başarımlarını test edilmiş olup, başarımların düzeyleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Genel olarak veri setinin tamamı için Holt's DES ve EMA yöntemlerinin Naïve yöntemle kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği (bkz: MASE hata ölçütü) görülmektedir. Diğer taraftan tüm hata ölçütleri göz önüne alındığında Holt's DES yönteminin tüm diğer düzleştirme yöntemlerine kıyasla en düşük hata değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Verilerin yıllara sâri olarak artırılması durumunda hata değerleri

YÖNTEM	Veri Sayısı	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144
	Hata Ölçütü	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Naïve	MAE	509,8	713,2	960,8	1267,5	1433,7	1828,2	2146,7	2507,6	2855,3	2986,9	4737,1	5526,4
	RMSE	580,4	819,9	1230,3	1683,1	2026,2	2715,3	3337,6	3957,4	4796,7	4793,4	13497,9	14050,3
	MAPE	8,1	8,4	8,7	8,6	8	7,8	7,6	7,5	7,4	7,2	8,3	8,8
	MASE*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	sMAPE	8,20%	8,60%	8,90%	8,80%	8,20%	8,10%	7,70%	7,70%	7,50%	7,30%	8,40%	8,90%
3WMA	MAE	-	960,9	1306,2	1601,1	1918,2	2318,5	2808,4	3342,3	3793,3	3980,6	5257,5	5823,3
	RMSE	-	1220,6	1648	2096,7	2612,4	3303,5	4132,1	4891,5	5554,5	5632,3	11904,2	12148,6
	MAPE	-	9,2	9,9	9,5	9	8,7	8,6	8,6	8,6	8,3	8,9	9,2
	MASE	-	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1,1
	sMAPE	-	9,70%	10,40%	9,90%	9,50%	9,10%	9,00%	8,90%	8,90%	8,60%	9,30%	9,50%
EMA	MAE	554,8	742,2	1002,2	1295,4	1497,9	1844,6	2186,6	2588,8	2967,5	3136,5	4631,7	5315,3
	RMSE	626,1	876,3	1264,9	1697,5	2098,1	2760,2	3431,7	4084,7	4829,9	4869,9	12365,6	12793,9
	MAPE	8,6	8,8	9	8,9	8,3	8	7,8	7,7	7,7	7,4	8,3	8,7
	MASE*	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	sMAPE	8,90%	9,10%	9,30%	9,20%	8,60%	8,30%	8,10%	8,00%	7,90%	7,60%	8,50%	8,90%
LTP	MAE	528,4	802,8	1320,9	2018,6	2950,8	3958,8	4606,6	4915,6	5077,1	5153,6	6315,2	6757,1
	RMSE	593,2	971,1	1619,4	2536,9	3631,3	4980,8	5797,8	6170,4	6435,2	6560,7	10381,5	10696,7
	MAPE	8,3	9,8	13,1	17,8	22,8	28,4	30	28,6	26,2	23,2	22,6	20,2
	MASE	1,03	1,1	1,3	1,5	2	2,1	2,1	1,9	1,8	1,7	1,3	1,2
	sMAPE	8,20%	970,00%	13,00%	18,50%	27,40%	48,80%	117,30%	105,90%	952,50%	66,10%	58,60%	27,40%
QTP	MAE	8099,8	4642,1	4945,3	5497,1	5565,2	5369,7	5483,3	5610	5648,9	5636,7	6605,9	6909,6
	RMSE	8444,6	6074,1	5969,9	6418,7	6479,1	6294	6587,8	6904,8	7154	7140,1	10932,7	11027
	MAPE	137,9	75,3	63,6	56,1	48,6	41,9	37,2	33,6	30,6	28,2	27	25,6
	MASE	15,8	6,5	5,1	4,3	3,8	2,9	2,5	2,2	2	1,9	1,4	1,25
	sMAPE	420,50%	187,90%	131,40%	103,80%	85,40%	72,10%	62,80%	55,90%	50,30%	45,80%	43,00%	40,20%
Holt's DES	MAE	237,3	307,5	432,9	568,7	710,1	859	1017,3	1217,1	1363,8	1443,3	1717,2	1818,5
	RMSE	317	441,8	621,9	817,3	1039,9	1256,2	1536,5	1782,4	1929,1	2007,7	2871,2	2895
	MAPE	3,4	3,4	3,6	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4	3,3	3,4	3,4
	MASE	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3
	sMAPE	3,30%	3,30%	3,50%	3,50%	3,50%	3,40%	3,30%	3,40%	3,30%	3,20%	3,40%	3,30%

* MASE ölçütü, bir yöntemin Naïve yönteme kıyasla başarımlar düzeyini tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu nedenle Naïve yöntem için 1 olmaktadır. EMA yönteminde ise 1.0 değerine yakın sonuçlar çıkmaktadır.

Naïve yaklaşım ve EMA yöntemlerinin MASE ölçütleri haricinde tüm düzleştirme yöntemleri için hata değerlerinin oldukça değişken olduğu değerlendirilmektedir. Ancak veri büyüklüğü ile ilişkili biçimde değerlendirildiğinde QTP ve 3WMA haricindeki tüm

yöntemler için az veri ile daha az hata değerleri üretildiği görülmektedir. Bu tespitle tutarlı biçimde QTP yönteminin hata değerlerinin kendi içindeki en düşük seviyesi veri büyüklüğü 144 seviyesine yükseldiğinde ortaya çıkmaktadır.

Farklı hata ölçütleri düzeyinde değerlendirildiğinde, her bir hata ölçütünün kendine özgü hesaplama yöntemi nedeniyle sonuçların birbirinden oldukça farklılaşabildiği görülmektedir. Diğer taraftan Holt's DES düzleştirme yönteminin diğerlerine kıyasla tutarlı biçimde tüm hata ölçütleri için en düşük hata oranını verdiği görülmektedir. Tüm yöntemlerin zaman içerisindeki hata değerlerinin genel gidişatının değerlendirildiğinde Holt's DES yöntemi için MAE dışındaki tüm hata ölçütlerinin tutarlı biçimde tüm veri seti boyunca stabil kaldığı görülmektedir.

Ayrıca MAE ve RMSE hata değerlerinin veri sayısı arttıkça artma eğiliminde olduğu ve diğer hata ölçütlerinden büyük oranda ayrıştıkları görülmektedir. Bu doğrultuda tüm projeksiyon yöntemleri için en tutarlı hata değerlerinin sMAPE hata ölçütü tarafından verildiği değerlendirilmektedir.

2010-2022 yıllarına ait su tüketiminin tüm projeksiyon yöntemleri için sMAPE hata ölçütünün değişimi görülmektedir. LTP ve QTP yöntemlerinin yüksek hata düzeyine sahip olduğu ve serinin gidişatına ilişkin yön bilgisini tahmin etmede faydalı olduğu değerlendirilmektedir.

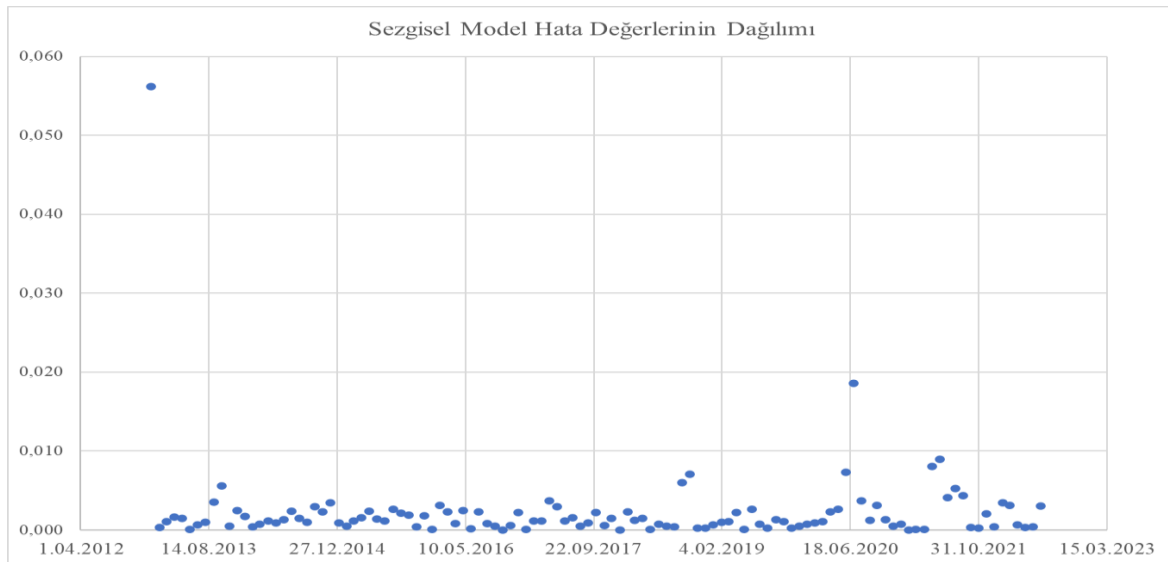
3WMA ve EMA yöntemlerinin ise bir tahmin yönteminden ziyade karşılaştırmaya bir temel oluşturması bakımından araştırma kapsamına alınan Naïve yaklaşımın çok az üzerinde bir genel hata ortalamasına sahip olduğu görülmektedir. İstatistiksel anlamda tutarlı ve kabul edilebilir hata değerleri ise ancak Holt's DES yönteminde yakalanabilmektedir.

Bu durumun, su tüketim verilerinin genel karakteristiğinin (sigmoid fonksiyon olarak da adlandırılan) trend bileşenine sahip olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Sigmoid modeline uygun verilerde ilerleyiş yavaş başlayıp, sonrasında dönüşümlü olarak lineer ve üstel gelişim gösteren ve genellikle bir tüketimin söz konusu olduğu süreçlerin temsilinde etkili bir matematiksel model sunmaktadır. Bu araştırmada ele alınan tüm düzleştirme yöntemlerinin hata değerleri birbirinden farklı biçimde veri setinin başlangıç, orta veya son bölümlerinde düşmektedir. Bu durum, kullanılan yöntemlerin tahmin

başarısının veri büyüklüğüyle birlikte, su tüketiminin genel karakteristiği ile de ilişkili biçimde değiştiğini göstermektedir. Sonuç olarak, tüm incelenen zaman serisi düzleştirme yöntemlerinin üretilen hibrit model içerisinde kullanılmaya elverişli özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Sezgisel Su Tüketim Modeline İlişkin Bulgular

Bu tezde geliştirilen sezgisel su tüketim modeli, günlük su tüketim verileri üzerinden kısa dönem tahminler yapılması amacıyla üretilen iki farklı modelden uyarlanmıştır. Modelin temelini teşkil eden algoritma, su tüketimini önceki 2 güne ait su tüketimlerinin ağırlıklandırılarak, haftanın günleri üzerinden farklılaştırılan bir iklimsel düzeltme faktörü ile çarpımına dayanmaktadır. Bu tezde kullanılan veriler aylık su tüketim verileri olduğundan; düzeltme faktörü olarak haftalık ve aylık düzeltme katsayılarının kullanımı düşünülmüştür. Bu doğrultuda aylık toplam su tüketimi günlük ortalama değerlere dönüştürülerek, haftalık ve aylık düzeltme katsayıları bu değerler üzerinden üretilmiştir (bakınız Bölüm 3.5.6.). Bu yöntemle üretilen tahminlerinin aylık toplam su tüketimini %95,2 doğrulukta tahmin edebildiği tespit edilmiştir. Şekil 4.8’de 2013-2022 yıllarını kapsayan aylık su tüketimi modelleme sürecinde modelin ürettiği hata değerlerinin dağılımı görülmektedir.



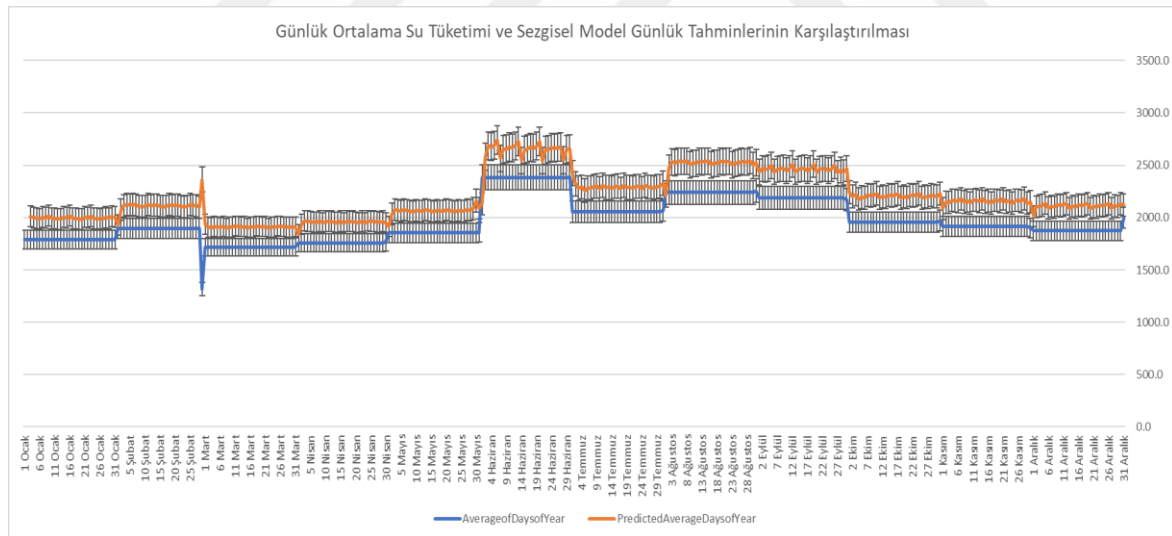
Şekil 4.8. Sezgisel model hata değerlerinin dağılımı

Hata değerlerinin simülasyon başlangıcında üretilen hata değeriyle birlikte, Haziran 2020 tarihindeki pik su tüketimi değeri haricinde tüm aylar için % 1'in altında olduğu

görülmektedir. Bu durum, Bakker vd. tarafından geliştirilen 48 saatlik sezgisel modelden uyarlanan sezgisel modelin aylık su tüketiminin tahmini konusunda gayet başarılı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Diğer taraftan, bu tezin bir diğer özgün çıktısını teşkil eden bulgu da uyarlanan modelde aylık verilerin üretilmesi için kullanılan ve haftanın günü, yılın ayı, yılın günü parametreleri üzerinden ağırlıklandırılarak üretilen günlük su tüketimi tahminlerinin de aylık su tüketimi verilerinden üretilen günlük ortalama değerlerle anlamlı düzeyde uyumlu olmasıdır.

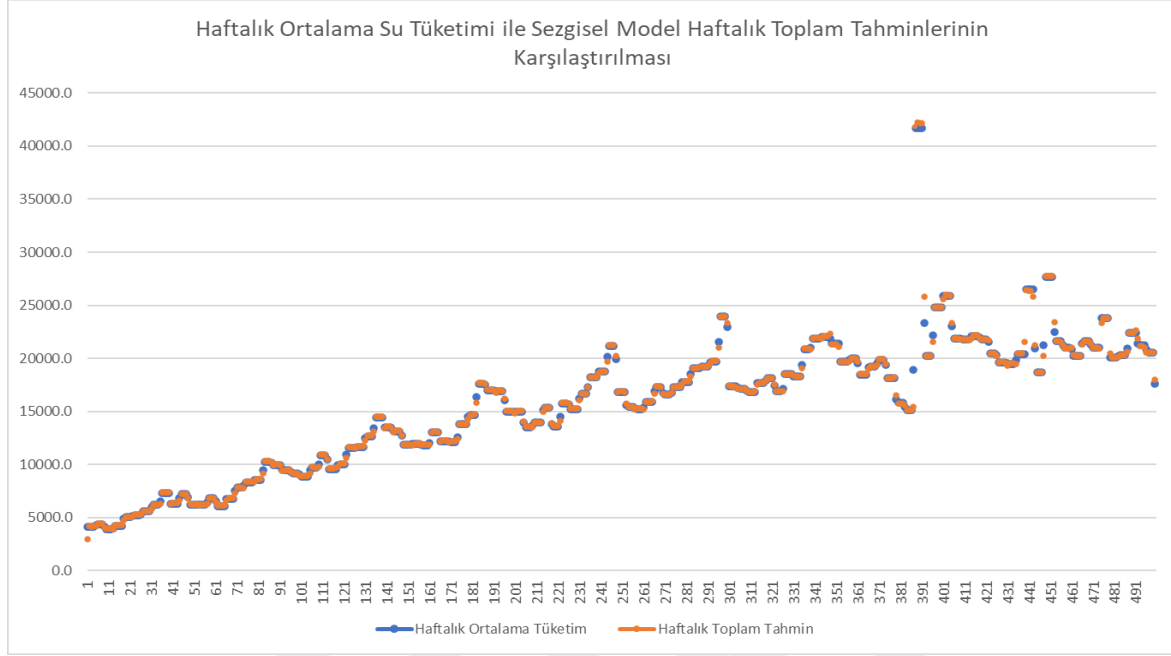
Şekil 4.9'da uyarlanmış sezgisel modelin günlük su tüketimi tahminlerinin günlük ortalamalar ile karşılaştırılması verilmektedir. Şekilde mavi ile işaretlenen değerler tüm simülasyon süresi boyunca 365 günlük döngüdeki günlük ortalama değerleri göstermektedir. Turuncu ile işaretlenen değerler ise uyarlanmış sezgisel modelin ürettiği ortalamaları ifade etmektedir. Her iki değer için de % 95 güven aralığı işaretlenerek verilerin uyum durumu görsel hale getirilmiştir.



Şekil 4.9. Sezgisel modelin günlük su tüketimi tahminlerinin günlük ortalamalar ile karşılaştırılması

Günlük ortalama değerlerin hem uyarlanmış model hem de aylık veriden üretilen ortalamalar için bütün yıl boyunca uygun aralıkta seyrettiği görülmektedir. Diğer taraftan Ağustos ve Eylül aylarından itibaren iki veri grubunun az da olsa birbirinden farklılık arz ettiği görülmektedir. Sezgisel modelin çıktılarının analizinde bir sonraki aşamada modelin ürettiği

günlük ortalama değerler haftalık düzeyde toplanarak, gerçekleşen su tüketiminin haftalık ortalamaları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.10.).



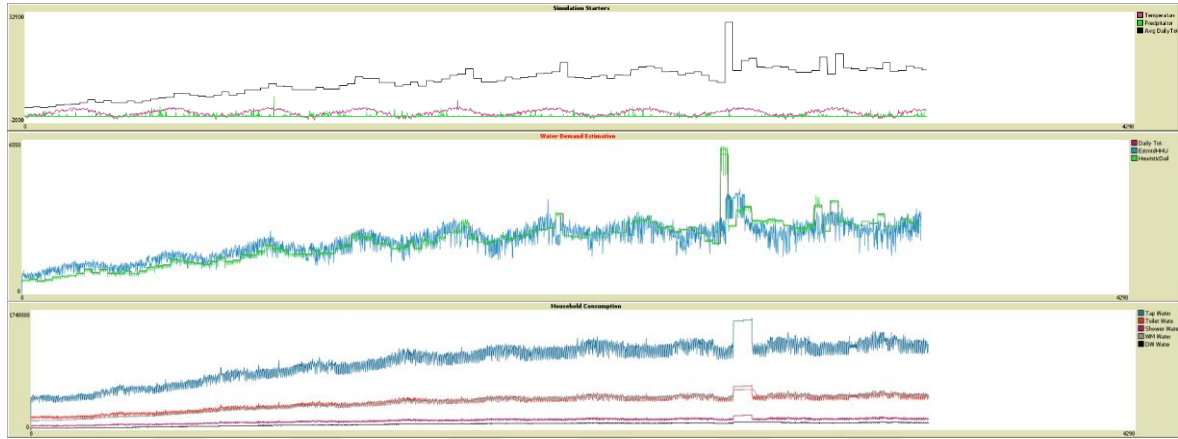
Şekil 4.10. Sezgisel modelin haftalık su tüketimi tahminlerinin haftalık ortalamalar ile karşılaştırılması

Haftalık toplam tahminlerin de haftalık ortalama değerler ile tüm modelleme süreci boyunca (491 hafta) yakın bir birliktelik gösterdiği görülmektedir. Bu durum, günlük düzeydeki değişimlerin haftalık ölçekte sönümlenmesi gibi nedenlerle açıklanabilmektedir. Diğer taraftan, özellikle sıcaklık ve yağış gibi dışsal faktörlerin yağış sonrasında giderek azalan ve bir süre daha devam edebilen, sıcaklık için de ardışık günler boyunca artan bir baskı haline gelmesi gibi durumlar kendisini haftalık ölçekte aylık ve günlük ölçeğe göre daha iyi biçimde gösterebilmektedir.

4.4. Etmen Tabanlı Modelleme Yöntemine İlişkin Bulgular

Etmen tabanlı modellerin diğer yöntemlere kıyasla daha derinlemesine içgörüler sunabilmesinin temelinde, simülasyon süreci sonucunda gerçek verilerin ne derece üretilabildiğine bağlı değerlendirmeler yapılabilmesi olanağı bulunmaktadır. Bu tezin temel araştırma konusu olan aylık su tüketim verileri açısından değerlendirildiğinde, modelin ürettiği çıktıların dikkate alınabilmesi, su tüketiminin ne kadar doğru biçimde tahmin edilebildiğiyle ilişkilidir.

Bu tezde ETM ile üretilen çıktılar, günlük su tüketimi değerleri başta olmak üzere gerçek su tüketimi verileri ve uyarlanmış sezgisel model tahmin değerleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.11 bu karşılaştırmaya ilişkin grafik çıktıyı göstermektedir.



Şekil 4.11. Etmen Tabanlı Modelleme ile uyarlanmış sezgisel modelin günlük tahmin değerleri ve günlük ortalama su tüketim verilerinin karşılaştırılması

Grafikte günlük toplam ortalamalar mor renk ile ETM ile üretilen günlük su tüketimi değerleri mavi renk ile uyarlanmış sezgisel model tahminleri ise yeşil renkle işaretlenmiştir. Şekilde birbirinden farklı tahmin yöntemleri ile üretilmiş olan ETM ve sezgisel model çıktılarının birbirine benzer desenler oluşturduğu ve her iki tahmin değerinin de günlük ortalama su tüketimi verileriyle uyumlu bir görünüm sergilediği görülmektedir.

Diğer taraftan, modelin ürettiği çıktıların hane halkı demografisiyle ilişkilendirilebilmesi için, modelin çalışma alanının nüfusunu doğru biçimde üretilip üretilmediğinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Modelin en temel girdilerinden biri, ASKİ konut su tüketimi faturalandırmasına esas hane sayısıdır. Hane sayısı modele bir “csv” dosyası ile alınarak simülasyon ortamının büyüklüğü bu sayılar doğrultusunda oluşturulmaktadır. Veri dosyasından gelen konut sayısı arttıkça veya azaldıkça simülasyon ortamı da bu doğrultuda güncellenmektedir.

Hanelerde yaşayan birey sayılarının oluşturulması ise arayüzden kullanıcı tarafından belirlenen “ortalama hane halkı birey sayısı - householdSize” ve “hane halkı birey sayısının varyansı - varHHS” parametreleri üzerinden kullanıcı tarafından rastsal biçimde belirlenmektedir. Rastsal biçimde belirlenen parametreler, gerçek değerlerin simülasyondan simülasyona değişebilmesini sağlamaktadır.

Rastsallık kompleks adaptif sistemlerin (complex adaptive systems) temel bir özelliğidir ve etmen tabanlı modellerde belirli bir seviyede rastsallık sağlanması önemlidir. Çünkü araştırmaya konu sistem davranışının ortaya çıkardığı birtakım desenlerin belirlenmesi, bu modellerin en önemli katkılarından biridir. Bu doğrultuda bu tezdeki ilk önemli sınamalardan biri etmen tabanlı modelleme ile stokastik biçimde üretilen simülasyon nüfusunun, bu tezde daha önce doğrusal interpolasyon yoluyla üretilen nüfus verisiyle aylık ve yıllık düzeyde ne kadar örtüştüğünün değerlendirilmesidir.

Bu değerlendirmenin önemi, esasen nüfusun su tüketiminin en temel unsuru olmasıdır. Bu bağlamda diğer bütün parametreler baz düzeyde tutularak yapılan farklı simülasyonlarda “ortalama hane halkı birey sayısı - householdSize” ve “hane halkı birey sayısının varyansı - varHHS” değişkenlerinin ürettiği toplam nüfus değerlerinin değişimi Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Etmen tabanlı model hane halkı birey sayısı ortalama ve varyansın ve üretilen nüfus değerlerinin değişimi

Hane halkı birey sayısı ortalaması (householdSize)	Hane halkı birey sayısı varyansı (varHHS)	Simülasyon sonunda üretilen ortalama nüfus değeri (count humans)	Hesaplanan toplam su tüketimi (total-water-consumption)	Hesaplanan ortalama aylık toplam su tüketimi (monthly-consumption)	Hesaplanan ortalama haftalık toplam su tüketimi (weekly-consumption)
2,5	0,3	26308	7437827	64752	14681
2,5	0,5	26374	7447365	64835	14699
2,5	1,0	26334	7421058	64607	14648
3,0	0,3	29787	8256645	71868	16297
3,0	0,5	29822	8253692	71843	16291
3,0	1,0	29767	8214115	71498	16213
3,5	0,3	33162	9047539	78741	17857
3,5	0,5	33213	9039802	78674	17842
3,5	1,0	33246	8324764	78024	17694

Bu aşamada en temel öncelik, çalışma alanının nüfus gelişiminin doğru biçimde simülasyon ortamına aktarılmasıdır. Hane halkı sayısının “csv” dosyasından alınan veriler üzerinden oluşturulması, temel düzeyde bu gerekliliği sağlıyor olsa da simülasyon sürecinde üretilen nüfus değerinin (count humans) de gerçek nüfus ile örtüşüyor olması gerekir. Hane halkı birey sayısı ortalaması 3,5 ve hane halkı birey sayısı varyansı değeri 0,3 alınarak gerçekleştirilen simülasyonlarda üretilen nüfus değeri (33162) ortalamasının Ahimesut Mahallesinin 2022 yılı sonu nüfusunu (Çizelge 4.4; 32921) yakalayabildiği görülmektedir.

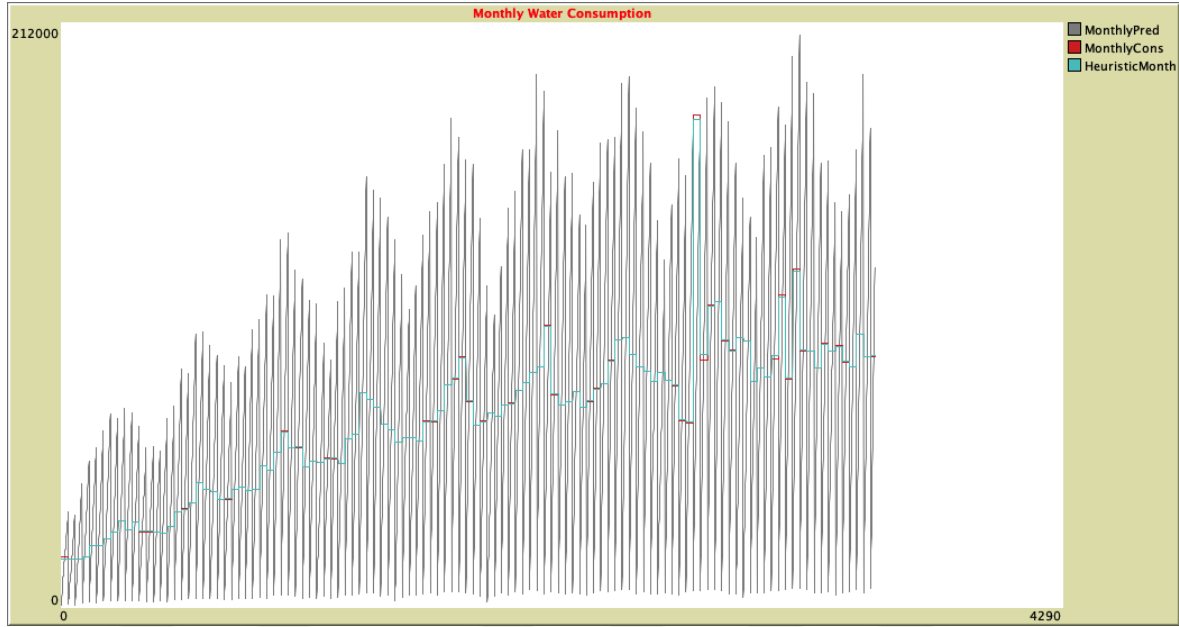
Ayrıca bu konfigürasyonla, simülasyon süresince hesaplanan toplam su tüketimi (9047539), ortalama aylık toplam su tüketimi (78741) ve toplam ortalama haftalık su tüketimi (17857) değerlerinin de Çizelge 4.4'teki ilgili değerleri yakalayabildiği görülmektedir. Toplam su tüketimi, aylık ortalama su tüketimi ve haftalık ortalama su tüketimi değerlerinin gerçek değerlerden bir miktar yüksek olması, bu çıktıların hane halkı demografisi, evde kullanılan cihazların su tüketimi performansları ve kişi başı kullanım miktarları gibi değişkenlerle ayarlanabileceğini göstermektedir.

Genel olarak, ortalama hane halkı birey sayısı ve hane halkı birey sayısı varyansı parametrelerinin, Ahimesut Mahallesi nüfus gelişimini doğru biçimde yansıtabilen nüfus değerleri ürettiği düşünülmektedir. Ayrıca simülasyon sürecinin genel performansı (3486 simülasyon adımı için ortalama 5 dk.) da nüfus parametresinin herhangi bir ölçeklendirmeye gerek olmaksızın kullanılabileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.4. Ahimesut Mahallesi su tüketiminin ortalama değerleri ve Sezgisel Model ortalama değerleri

Parametre	Değişken Adı	Değişken Değeri
Toplam Nüfus	count humans	32 921.0
Toplam Tüketim	total-water-consumption	8 024 333.0
Aylık Toplam Tüketim Ortalaması	MonthlyConsumption	68 004.0
Sezgisel Model Aylık Ortalama	HeuristicMonthlyTotal	68 034.5
Haftalık Ortalama Tüketim	AverageWeekly	15 638.1
Sezgisel Model Haftalık Ortalama	HeuristicWeekly	15 644.1
Günlük Ortalama Tüketim	AverageDailyTotal	2 234.0
Sezgisel Model Günlük Ortalama	HeuristicDailyTotal	2 234.7

Bu araştırmada, etmen tabanlı model ile üretilen çıktılar, zaman serisi analizi ve talebin sıcaklık ve yağışa bağlı değişim modelleriyle üretilen verilerle karşılaştırılmıştır. Aylık ve mevsimsel ortalamalar başta olmak üzere çeşitli zamansal ölçeklerde istatistiksel parametrelerin istatistiksel düzeyde anlamlı bir farka sahip olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bu bağlamda aylık su tüketim miktarının tahminine ilişkin grafik Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Etmen tabanlı modelin aylık su tüketiminin tahminindeki başarıım grafiği

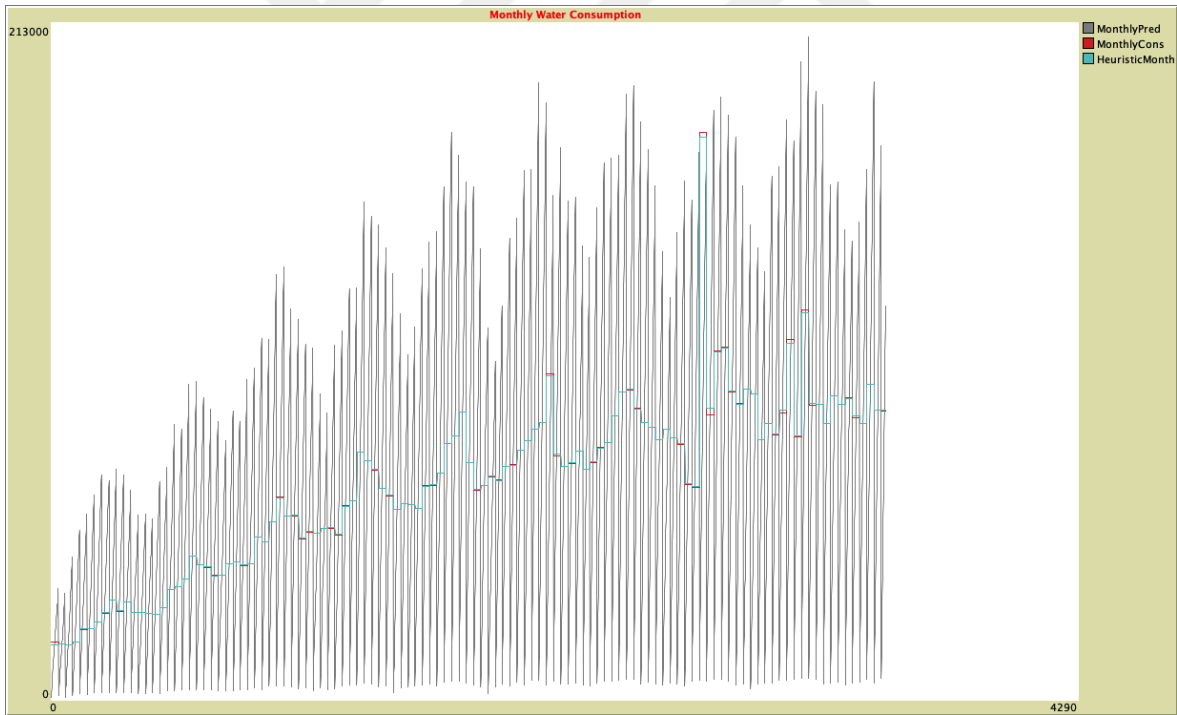
Grafikten görüldüğü üzere model, hane halkı demografisi ve su tüketen cihazlara ilişkin değişkenlerin ince ayarı yapılmamış durumda dahi tüm simülasyon süreci boyunca ortaya çıkan mevsimsel değişimleri başarılı bir şekilde tahmin edebilmektedir. Diğer taraftan, bir uç değer olarak ortaya çıkan pik debilerin de mevcut parametre değerleriyle yakalanabildiği görülmektedir. Ancak çalışma sahasının su tüketimine ilişkin detaylı değerlendirme yapılabilmesi açısından bir dizi senaryonun test edilmesi gerekmektedir.

Bu tezde üretilen etmen tabanlı modelde; bir yerleşim biriminin sıcaklık ve yağış gibi atmosferik değişkenler, yerleşim biriminin nüfus özellikleri, hane halkı demografisi ve hanedeki su tüketen cihazların performans ve bireylerin ortalama su tüketim alışkanlıkları üzerinden aylık su tüketimi tahmini yapılmıştır. Bir etmen tabanlı model, etmenlerin hareket tarzının ne kadar iyi programlanabildiğiyle ilişkili biçimde çok geniş ölçekte çıktılar üretebilmektedir. Diğer taraftan hem modelin kurgulanması hem de üretilen çıktıların değerlendirilebilmesi bakımından çok fazla veriye ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu tezde üretilen modelin çıktılarının değerlendirilmesi konusunda yoğun biçimde mikro veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak mevcut durumda bu verilere ulaşılamadığından, bu verilere ilişkin çeşitli kabuller yapılmıştır.

Bu bağlamda modelin ürettiği çıktılar temel olarak iki kategoride değerlendirilmektedir; bunlar su tüketiminin hafta içi, hafta sonu, tatiller gibi takvim değişkenleriyle ilişkili değişim

durumu ve hane halkı su tüketiminin çamaşır makinası, bulaşık makinası, duş, musluk ve sifon gibi su tüketen cihazların performansı ve bunların kişi başı ortalama kullanım oranlarıdır. Bu bölümde modelin ürettiği çıktılar gerçek veriler ve sezgisel model çıktılarıyla ilişkili biçimde değerlendirilmektedir. Ancak bu değerlendirmeler öncesinde su tüketimindeki ekstrem durumlara modelin ne derece cevap verebildiği değerlendirilmiştir.

Şekil 4.13. etmen tabanlı modelin, tüm hane halkı bireylerinin simülasyon süresi boyunca evde kaldığı (Outsiders = 0, Vacationists = 0, Weekenders = 0) varsayımıyla üretilen su tüketimini ifade etmektedir. Grafikten, aylık su tüketiminin tahmini konusunda etmen tabanlı modelin, 2020 yılı haziran ayındaki 178.512 m^3 düzeyindeki (bir önceki ayın yaklaşık 3 katına denk düşen) su tüketimi değerine yakın değerler üretebildiği görülmektedir. Bu durum su tüketimindeki artışın, yerleşim biriminde ikamet eden nüfusla ilişkili biçimde ele alınabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.13. Etmen tabanlı modelin (Outsiders = 0, Vacationists = 0, Weekenders = 0) durumunda ürettiği aylık su tüketim değerleri

Senaryo analizi kapsamında aylık su tüketim verilerinin üretilmesinde kullanılan parametre değerleri ile üretilen su tüketimine ilişkin bilgiler Çizelge 4.5'te verilmektedir.

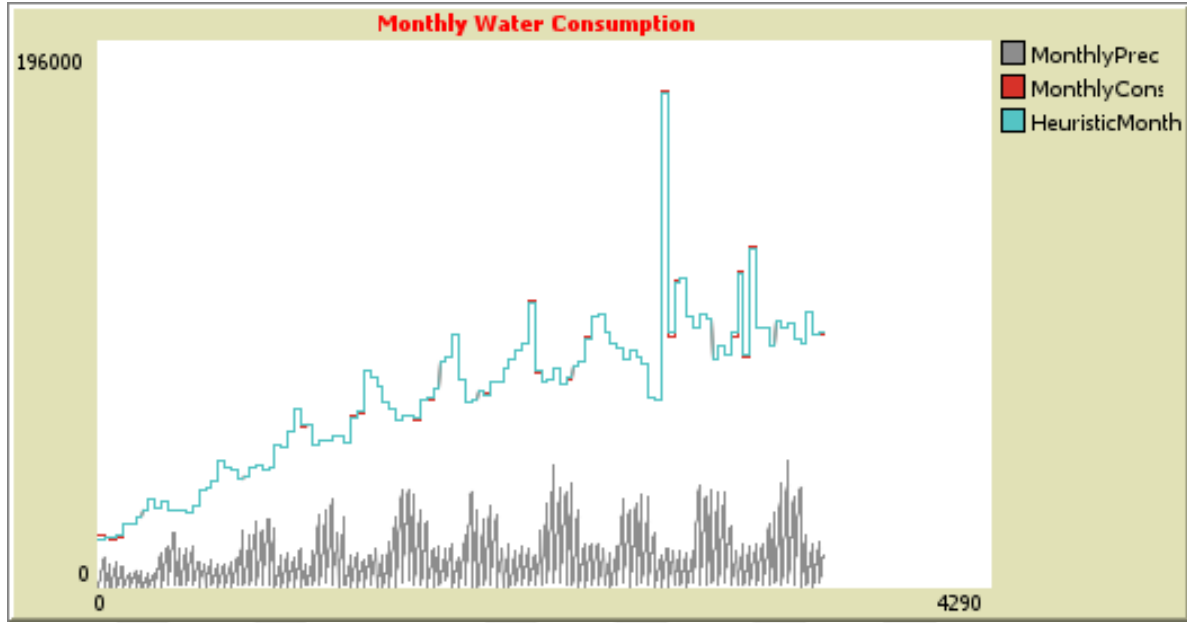
Çizelge 4.5. Etmen tabanlı model için üst düzey senaryo bulguları

	Parametre Gerçek Değeri	Simülasyon Sonunda Üretilen Ortalama Değerler
Nüfus	3 3026	32 351
65 yaş üstü birey sayısı	1 475 *	1 576
Yetişkin birey sayısı	21 013 *	21 031
Okul çağındaki çocuk sayısı	8 092 *	7 651
5 yaş altı çocuk sayısı	2 520 *	2512
Toplam Su Tüketimi (2013 Ocak-2022 Temmuz) m ³	7 825 936	15 349 707
Aylık Ortalama Su Tüketimi m ³	68 584	133 560

* Endeksa sitesinden alınmıştır.

Çizelge 4.5'te yer alan bilgiler dikkate alındığında etmen tabanlı modelin, üst düzey senaryo için belirlenen nüfus, hane halkı demografisi ve su tüketen cihazların performansları ve günlük kişi başı kullanım miktarları doğrultusunda üretmesi beklenen tüketim değerlerinin iki katından fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, eve kapanma gibi sıra dışı durumlarda hane halkı su tüketiminin ulaşabileceği boyutlara işaret etmesi bakımından önemlidir.

Diğer taraftan günlük olarak dışarı çıkanların oranının 1 alındığı senaryoda (Outsiders = 1, Vacationists = 1, Weekenders = 1) ortaya çıkan su tüketime ilişkin genel görünüm Şekil 4.14'te verilmiştir. Bu durumda herhangi bir günde dışarı çıkan birey sayısı, öncelikle sıcaklık ve yağış gibi hava koşullarına bağlı olarak (yaşlı bireylerin ve küçük çocukların evde kalması koşuluyla) rastsal bir desen oluşturmaktadır.



Şekil 4.14. Etmen tabanlı modelin (Outsiders = 1, Vacationists = 1, Weekenders = 1) durumunda ürettiği aylık su tüketim değerleri

Bu senaryoda simülasyondaki yerleşim birimindeki bireylerin hava koşulları elverdiği sürece hem hafta içi hem de hafta sonunda dışarı çıkması, uzun dönem tatillerde ise şehir dışına çıkmaları sağlanmaktadır. Böylelikle konut su tüketiminin bir anlamda baz veya referans tüketimi üretilmektedir. Grafikten görüldüğü üzere bu değer her ne kadar mevsimsel bir değişim gösterse de gerçekleşen değerlerin çok altında bir tüketime işaret etmektedir. Nitekim tüm simülasyon süresi boyunca üretilen toplam su tüketiminin (bkz. Çizelge 4.6.) gerçek değer yaklaşık olarak dörtte birine tekabül ettiği görülmektedir.

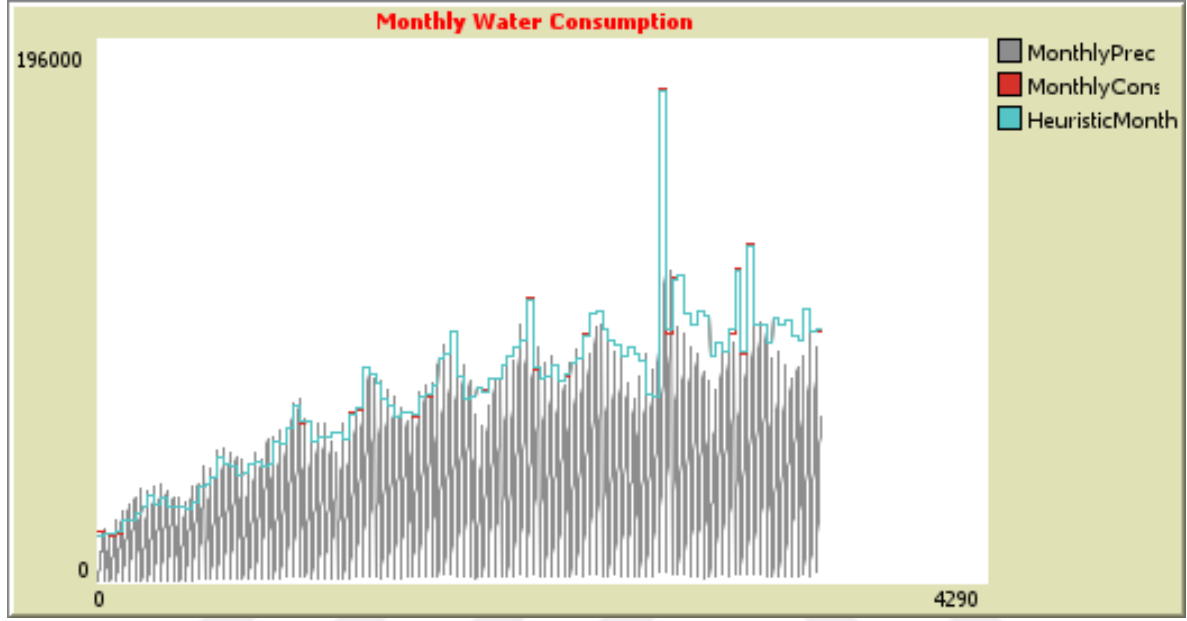
Çizelge 4.6. Etmen tabanlı model için baz senaryo bulguları

Parametre	Parametre Gerçek Değeri	Simülasyon Sonunda Üretilen Ortalama Değerler
Nüfus	33 026	35 434
65 yaş üstü birey sayısı	1 475 *	1 716
Yetişkin birey sayısı	21 013 *	22 815
Okul çağındaki çocuk sayısı	8 092 *	8 193
5 yaş altı çocuk sayısı	2 520 *	2 710
Toplam Su Tüketimi (2013 Ocak-2022 Temmuz) m ³	7 825 936	2 207 223
Aylık Ortalama Su Tüketimi m ³	68 584	19 261

* Endeksa sitesinden alınmıştır.

Yani model hem pik debileri yakalayabilmekte hem de baz tüketim değerleri üretebilmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında modelin hane halkı demografisi üzerinden,

gerçekleşen aylık su tüketimi değerlerini simülasyon ortamında üretme kapasitesinin olduğu görülmektedir. Modelin su tüketimini tahmin gücü konusunda ele alınan bir senaryoda 2020 yılı mayıs ayında dışarı çıkan birey sayısının azaltılmasının su tüketimine etkisi analiz edilmiştir (Şekil 4.15).



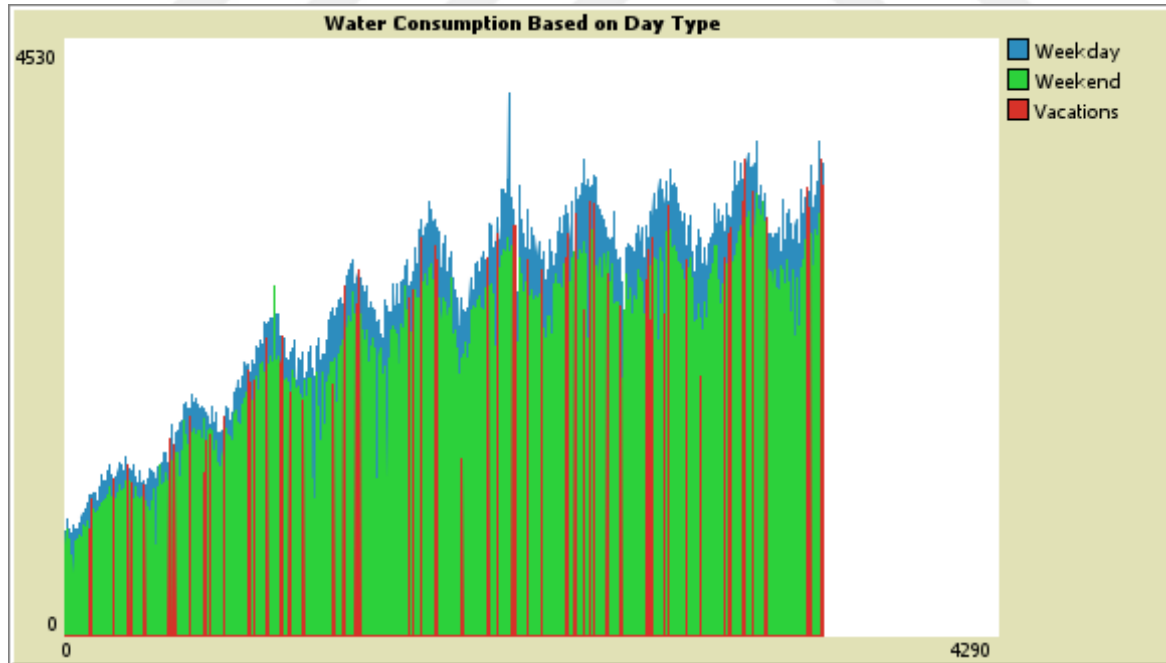
Şekil 4.15. Kontrollü sokağa çıkma ve tam kapanma gibi tedbirlerin etkisinin dikkate alındığı su tüketim senaryosunun çıktısı

Bu senaryoda dışarı çıkan birey sayısı % 10 seviyesine (Outsiders = 0,10, Vacationists = 0,10, Weekenders = 0,10) indirilerek su tüketimindeki artışın gerçek değere ne kadar yaklaşabildiği değerlendirilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere mevcut senaryonun pik su tüketimini yakalama konusunda yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan simülasyon süresince 2013 Ocak-2022 Temmuz tarihleri arasındaki toplam su tüketimi ve aylık ortalama tüketim verilerine oldukça yakın değerler üretilabildiği görülmektedir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Etmen tabanlı model çıktılarının gerçek değerlerle karşılaştırılması

Değişken Adı	Parametre	Gerçek Değeri	Simülasyon Sonunda Üretilen Ortalama Değerler	SMAPE
Nüfus		33 026	33 237	% 0,64
65 yaş üstü birey sayısı		1 475 *	1 359	% 7,86
Yetişkin birey sayısı		21 013 *	21 321	% 1,46
Okul çağındaki çocuk sayısı		8 092 *	7 914	% 2,19
5 yaş altı çocuk sayısı		2 520 *	2 631	% 4,40
Toplam Su Tüketimi (2013 Ocak-2022 Temmuz) m ³		7 825 936	7 824 476	% 0,01
Aylık Ortalama Su Tüketimi m ³		68 584	68 192	% 0,05

Model ile üretilen günlük su tüketim değerlerinin hafta içi, hafta sonu ve tatiller gibi farklı günlerdeki değişim grafiği Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.16. Hafta içi (weekday), hafta sonu (weekend) ve tatil günleri (vacation) için günlük toplam su tüketiminin değişim grafiği

Tüm simülasyon süresinde üretilen günlük su tüketim değerlerinin hafta içi, hafta sonu ve tatil günleri boyunca üretilen miktarlarının genel olarak birbirinden çok az farklılık arz ettiği

görülmektedir. Veri sayıları açısından değerlendirildiğinde tüm veri seti içerisinde hafta içi günlerin hafta sonu ve diğer tatil günlerin iki katından fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 4.8).

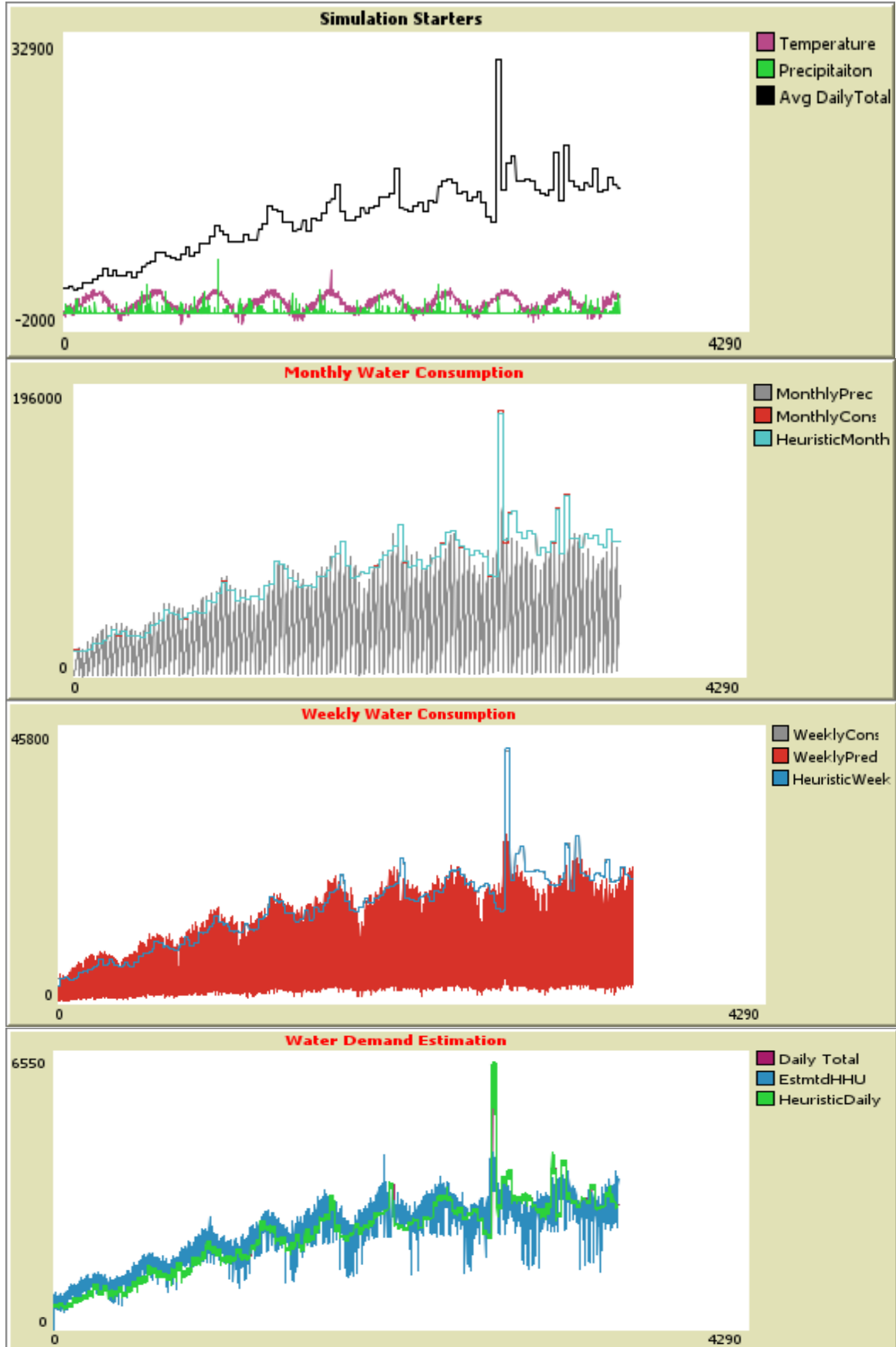
Çizelge 4.8. Etmen tabanlı model günlük su tüketimi çıktılarının sezgisel model çıktılarıyla karşılaştırılması

Değişken Adı	Veri Sayısı	Veriden Üretilen Ortalama Değeri	ETM Günlük Su Tüketimi	Sezgisel Model Günlük Su Tüketimi	ETM Fark Oranı	Sezgisel Model Fark Oranı
Hafta içi (weekday)	2 394	2 233	2 298	2 248	% 3,6	% 0,6
Hafta sonu (weekend)	984	2 231	2 059	2 196	% 7,0	% 1,5
Tatil günleri (vacations)	108	2 270	2 442	2 253	% 8,1	% 0,7

Bu durum, üretilen ortalama değerlerin gerçek ortalama değerlere (bu araştırmada böyle bir veri mevcut değildir) yaklaşma miktarını etkileyebilmektedir. Ancak genel olarak simülasyon sonucu üretilen su tüketiminin tüm takvim değişkenleri için hem mevsimsel hem de yıldan yıla gerçekleşen değişimleri takip ettiği görülmektedir.

Sezgisel model için de benzer bir durum söz konusudur. Ancak sezgisel model ile üretilen değerler, aylık verilerin günlük ortalama değerlerine daha yakın bir ortalama farka sahip durumdadır. Bu bakımdan değerlendirildiğinde, aylık ortalama değerlerin varsayımsal bir karşılaştırma noktası teşkil ettiği gözetilerek, sezgisel model ve ETM ile üretilen ortalama değerlerin veriden üretilen ortalama değerlere yakın bir seviyede değişim gösterdiği yorumu yapılabilmektedir.

Nihai değerlendirme olarak bu tezde kullanılan sıcaklık ve yağış verisiyle birlikte, simülasyon süresi boyunca üretilen; toplam su tüketimi, aylık toplam su tüketimi, haftalık toplam su tüketimi ve günlük su tüketimi verisi, aylık toplam su tüketimi verisi ve aylık su tüketimi verisinden üretilen haftalık ve günlük ortalamalar ile kıyaslandığında ortaya çıkan nihai görünüm Şekil 4.17’de verilmektedir.



Şekil 4.17. Simülasyon süresince üretilen toplam, aylık, haftalık ve günlük su tüketiminin verilerle karşılaştırılması

Grafiklerde “Simulation Starters” alanında gösterilen sıcaklık (temperature), yağış (precipitation) ve ortalama günlük toplam tüketim (Avg Daily Total) verileri, csv dosyasından alınan çevresel koşullar ve gerçek verilerden üretilmiş günlük ortalamaları ifade etmektedir. Burada su tüketiminin dönemsel değişimlerinin, sıcaklık ve yağış ile oluşturduğu birlikteliği ifade eden desenler açık biçimde görülmektedir.

“Monthly Water Consumption” bölümünde ise bu tezin su tüketimi anlamındaki temel veri kaynağı olan aylık su tüketimi verilerinin, sezgisel model ve etmen tabanlı model ile tahminine ilişkin zamansal değişim grafiği yer almaktadır. Burada “MonthlyPred” şeklinde gösterilen tahminlerin, simülasyonun başından itibaren ortalama değerleri üretme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, “HeuristicMonth” ile ifade edilen sezgisel model tahmin değerleri ise neredeyse bire bir olarak ortalama değerlerle örtüşmektedir.

“Weekly Water Consumption” bölümünde gösterilen haftalık su tüketim tahminleri ise aylık tahminlere kıyasla ortalama değerlerden daha fazla sapma göstermektedir. Bu durum özellikle simülasyonun 2020 yılı ortaları ve sonrasına denk gelen tarihler (2800’lü simülasyon adımı) civarında ortaya çıkan COVID-19 pandemisi nedeniyle ortaya çıkan sapmalardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, bu tez kapsamında karşılaştırma yapılabilecek veri bulunmaması nedeniyle hem haftalık su tüketimi hem de günlük su tüketimi değerleri açısından bir yorum yapılması mümkün olmamıştır. Ancak “Water Demand Estimation” bölümünde yer alan günlük su tüketimi değerlerinin de giderek ortalama değerlerden daha fazla oranda sapma gösterdiği görülmektedir.

4.5. Bulguların Literatürdeki İlişkili Araştırmalar ile Karşılaştırılması

Su tüketiminin kontrol altına alınması konusunda özellikle pik talep tahminlerinin önceden tahmini ve benzeri uygulamaların, su dağıtım sistemlerinin uygun maliyetli yönetimi için anahtar öneme sahip olduğu literatürden anlaşılmaktadır (Athanasiadis vd., 2005). Bu kapsamda özellikle sıcaklık ve yağış gibi çevresel koşullar başta olmak üzere pek çok unsurun su tüketimi üzerindeki etkisi araştırma konusudur.

House-Peters vd. (2011) göre literatürde sıklıkla günlük düzeyde su tüketim verisi üretildiği görülmektedir. Buna karşılık bu tezdeki su tüketim verileri aylık ölçekte üretilen verilerdir.

Literatüre kıyasla bu durum araştırma açısından birçok probleme neden olmuştur. Bunların başında literatürdeki farklı veri çözünürlükleri (genellikle saatlik veya günlük) için üretilen yöntemlerin aylık veriler için ne derece doğru sonuçlar üretebileceği konusundaki belirsizliktir. Bu konuda literatürde yer alan araştırmaların temel bakış açısının birbirinden farklı yöntemlerin eşlenik olarak kullanılması veya yeni hibrit modellerin geliştirilmesi yönünde olduğu görülmektedir.

Ristow vd. (2021), aylık su talebini tahmin etmek için geliştirilen üstel yumuşatma (ETS) ve Box-Jenkins metodolojisi (yani SARIMA) ile mesken kategorisi dışındaki kategorilerde su tüketimini tahmin etmek için daha iyi olduğunu ve aylık kentsel su tüketimi tahminlerine uygulanabileceğini göstermiştir. Bu bulgularla örtüşen biçimde bu tezde, aylık konut (mesken) su tüketiminin SARIMA yöntemi ile modellenmesinin, tahmin doğruluğu bakımından istatistiksel düzeyde anlamlı sonuçlar üretmekten uzak olduğu değerlendirilmektedir. Bu durumun verilerin kendi içindeki doğrusallık varsayımının tam olarak sağlanmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bich-Ngoc ve Teller (2018) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, İklim ve hava durumu değişkenleri (yani çoğunlukla sıcaklık ve yağış), konut su talebini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu tezde regresyon ile üretilen çıktılar, aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık ile aylık su tüketimi arasında bir ilişki olduğu, ancak (belki etken faktörlerin doğrusal olmayan değişimi nedeniyle) bu ilişkinin çok güçlü olmadığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan etmen tabanlı modelleme ile üretilen çıktılar da bu birlikteliği doğrulayan desenler üretebilmiştir.

Hu vd. (2019) ve Brentan vd. (2017) gibi araştırmacılar sıcaklık ile su talebi arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Atmosferik koşullar ve su kullanımı arasındaki ilişki genellikle dış mekân etkinliği ile ilişkilidir (Bich-Ngoc ve Teller, 2018). Örneğin peyzaj sulamasının kentsel su tüketiminin önemli bir bölümünü teşkil ettiği değerlendirilmektedir. Bu tez kapsamındaki araştırma alanı, kentsel su tüketiminin hane içinde gerçekleşen, yani konutlar düzeyindeki kısmıdır. Dolayısıyla bu tüketimin içerisinde peyzaj sulaması gibi bir kullanım alanı yer almamaktadır. Ancak su tüketiminin insan psikolojisi (daha fazla su tüketme veya dışarı çıkma konusundaki kararların alınması gibi süreçler) üzerindeki etkisi nedeniyle hane içinde gerçekleşen su tüketimine de etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Graeser (1958) Dallas, Teksas'taki maksimum günlük talebin, maksimum hava sıcaklığının 38°C'nin (100°F) üzerinde olduğu önceki günlerin sayısı ve 1 inç (2,54 cm.) yağış üzerinden geçen hafta sayısı ile ilişkili olduğunu tespit etmiştir (Graeser, 1958). Bu bağıntıya göre 13°C'nin altında su kullanımı ile hava sıcaklığı arasında bir ilişki yoktur. 28°C'yi aşan sıcaklıklar için çizginin eğimi, 13 ile 28 °C arasındakinden altı kat daha yüksektir (Maidment vd., 1985). Maidment vd. tarafından mevsimsel su kullanımının hava sıcaklığı ile doğrusal olmayan bir şekilde ilişkili olduğu yönündeki bilgiden hareketle oluşturulan ısı transfer fonksiyonunun bu tezde yapılan uygulamasında, bireyin konut dışına çıkışına ilişkin doğrusal olmayan davranış değişikliklerinin su tüketimine yansımalarının yakalanmasında kullanışlı olduğu değerlendirilmektedir.

Berk vd. (1981) 1976-1977 kuraklığı sırasında Kaliforniya'da uygulamaya konulan politika araçlarının aylık su kullanımı üzerindeki etkisini analiz ettikleri çalışmalarında yağışın meydana geldiği ay boyunca su kullanımı üzerinde yağış sonrasına da uzanan bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Bu tezde yağışın bu etkisi ETM çalışma mekanizmasına yansıtılarak her su tüketiminin bir atmosferik (sıcaklık ve yağış) faktörü ile düzeltilmesi sağlanmıştır. Sonuç itibarıyla bu yöntemin işe yaradığı, ilaveten aylık su tüketim verilerinin çözünürlüğünün haftalık ve günlük düzeye yükseltilmesi (sentetik veri üretimi ve eksik veri tamamlama uygulaması) için kullanışlı olabileceği değerlendirilmektedir.

Su tüketimi yerleşim yerinin kültürel yapısı ve hane halkı büyüklüğü, çocuk sayısı, yetişkin erkek üyeler, yetişkin kadın üyeler ve yaşlı hane sayısı gibi sosyal-demografik faktörlerle de ilişkili biçimde değişim göstermektedir (Hussien vd., 2016). Bu tezde özellikle hane halkı bireylerinin atmosferik koşullar doğrultusunda dışarı çıkma tercihleri değişmekte, bu durumda su tüketimi de değişmektedir. Ancak su tüketiminin hane halkı demografisi ile doğrudan ilişkisini gösterebilecek mikro verilerin mevcut olmaması nedeniyle bu konudaki analizler detaylandırılmamıştır.

Takvim değişkenlerinin etkisi bakımından değerlendirildiğinde, su kullanım verileri haftanın günüyle ilişkili özellikler de sergilemektedir (Darbandsari vd., 2017). Brentan vd. (2015) tarafından üretilen hibrit SVR modeliyle üretilen çıktılar, günlük ölçekte hem haftanın günleri hem de farklı aylarda gerçekleşen su tüketimlerinin belirgin bir desen üretme kapasitesine sahiptir. Bu tezde geliştirilen etmen tabanlı modelin takvim günleri ve

tatiller gibi farklı zaman dilimlerindeki su tüketimlerinin istatistiksel bakımdan fark arz eden bir çıktı üretip üretemediğinin değerlendirmesi yapılamamıştır.

Etmen tabanlı bir yaklaşımla geliştirilen modellerin temel sorunlarından biri, çok fazla veriye ihtiyaç duymaları ve gerekli verilerin yokluğunda birçok varsayımın yapılması gerektiğidir. Nitekim, genel olarak bu tezde üretilen etmen tabanlı modelin su tüketiminin tahmin konusunda sunmuş olduğu olanaklar, çıktıların doğrulanması için gerekli zamansal çözünürlükte verilerin bulunmaması nedeniyle yeterince derinlemesine test edilememiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde Türkiye’de temel faturalandırma yöntemi olan, aylık su tüketiminin tahmini ve modellemesine yönelik çeşitli yöntemler bir araya getirilerek hibrit bir tahmin-modelleme çerçevesi oluşturulmuştur. Bu maksatla değerlendirmeye alınan zaman serisi düzleştirme yöntemleri, SARIMA, çok değişkenli regresyon, sezgisel yöntemler ve etmen tabanlı modelleme araçlarına ilişkin önemli sonuçlar şunlardır:

Genel olarak tüm düzleştirme yöntemlerinin eğilim belirleme, eğilimin yönünü belirleme, verinin genel yapısının ortaya konulması, pik değerlerin tahmini veya mevsimselliğin belirlenmesi gibi farklı uygulamalar açısından avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu ve bu doğrultuda da zamansal ölçekte değişken biçimde hata değerleri üretebildikleri görülmektedir. Spesifik olarak; Naïve yöntem diğer yöntemlerin başarı düzeyinin değerlendirilmesinde bir ölçüt olarak ele alınabilirken, aylık su tüketimi verilerinde örneğin 12 aylık hareketli ortalamanın eğilim (trend) bileşenini tespit etmek için elverişli olduğu görülmektedir. Aylık verilerdeki pik debilerin tespiti konusunda EMA yöntemi ve doğru parametrik ayarlamalar yapıldıktan sonra aşan değerlerin tespitinde Holt Winter’s yönteminin kullanışlı olduğu tespit edilmiştir. LTP ve QTP yöntemlerinin ise eğilim bileşenlerinin yönünü tespit etme konusunda etkin analitik araçlar olduğu değerlendirilmektedir.

Otoregresif modeller (bu tezde SARIMA) zaman serisi analizinin tahmin ve modelleme konusundaki en öncelikli araçlar durumundadır. Bu tezde elle yapılandırılan ve Python araçlarıyla otomatik olarak tespit edilen en iyi modellerin parametrik değerleri birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Diğer taraftan modelin tahmin hata oranı da %14 gibi bu tezdeki diğer modellere kıyasla yüksek bir düzeyde gerçekleşmiştir.

Adaptif sezgisel model, otoregresif modellere benzer şekilde (sıcaklık veya yağış gibi) hiçbir dışsal veri ile ilişkilendirilmeksizin, yalnızca su tüketim verileri üzerinden aylık düzeyde gerçekleşen su tüketimini çok büyük ölçüde doğru tahmin edebilmektedir. Ancak üretilen verilerin günlük ve haftalık ölçekteki varyasyonları büyük oranda sentetik (yapay) bir seyir izlemektedir.

Regresyon modeli açısından ise sonuçlar aylık su tüketiminin tahmini konusunda çok daha düşük seviyede bir başarımlı düzeyini göstermektedir. Veri setindeki varyansın değişiminin incelendiği korelogram (Şekil 4.46) grafiğinden de görüldüğü üzere, varyansın değişken olduğu iki farklı dönemin mevcudiyetiyle ilişkili biçimde sıcaklık, yağış miktarı gibi dışsal faktörlerin aylık su tüketimi ile ilişkisinin açıklanabilirliği oldukça düşüktür. Diğer taraftan regresyon analizine ilişkin sonuçlar (Çizelge 4.9) düşük bir pozitif yönlü ilişkinin mevcudiyetini ortaya koymaktadır.

Etmen tabanlı model ile aylık toplam su tüketiminin hane halkı demografisi temelinde tahmini, hava koşulları doğrultusunda değişen dışarı çıkma tercihleri ve hafta içi, hafta sonu ve resmî tatiller gibi takvim değişkenleri üzerinden hesaplanmıştır. Su tüketimindeki gündelik varyasyonların üretilmesi için ise hava sıcaklığı ve yağış parametreleri üzerinden artış ve azalma katsayıları üreten bir ısı transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Simülasyonda genel olarak hane halkının büyüklüğü, simülasyon boyunca tüketilen su miktarının tahmini, toplam nüfusun tahmini, aylık su tüketiminin tahmini konusunda oldukça yüksek düzeyde doğru tahminler üretilebilmektedir.

Temel olarak bu tezde literatürdeki seçili yöntemlerin aylık su tüketim verileri üzerindeki etkinliği değerlendirilmiştir. Nihai sonuç, aylık su tüketim verilerinin tahmini, yeniden üretilmesi veya modellenmesi konusunda, dışsal faktörlerin etkisi de dahil olmak üzere birçok varyasyon görünmez hale gelebildiği için, modelleme sürecinin daha yüksek çözünürlüklü (günlük veya haftalık) veriler üzerinden yürütülmesi gerektiğidir. Diğer taraftan gerek su tüketiminde hafta içi, hafta sonu veya resmî tatiller gibi takvim değişkenleri nedeniyle ortaya çıkan varyasyonların açıklanması konusunda gerekse aylık su tüketim verilerini destekleyecek sentetik verilerin üretilmesi bakımından hem sezgisel modellerin hem de etmen tabanlı modellerin ürettiği çıktılar büyük bir potansiyel barındırmaktadır.

Bu tez kapsamında üretilen ve 48 saatlik su tüketim tahmin ufkuna sahip bir saatlik tahmin modeli ile bir ısı transfer fonksiyonunun günlük veriler üzerinden çalışabilecek şekilde uyarlanmış halini içeren adaptif sezgisel modelin, etmen tabanlı modelin çıktılarının doğrulanması konusunda bir dayanak oluşturabilmesi mümkün görünmektedir. Ancak bu sezgisel modelin de doğrulanması en nihayetinde günlük veya en azından haftalık tüketim verilerini gerektirmektedir.

Sonuç olarak bu tezde hem istatistiksel analiz yöntemlerinin kestirim gücü hem de bilgisayar simülasyonlarının karmaşık gerçek dünya olgularını açıklayıcı gücünden yararlanılarak, aylık su tüketim verilerinin tahminine ilişkin mevcut yöntemler değerlendirilmiş ve temel zaman serisi analizi araçları, regresyon, adaptif sezgisel model ve etmen tabanlı modelden oluşan hibrit bir modelleme çerçevesi geliştirilmiştir. Bu maksatla aylık konut su talebinin modellenmesine ilişkin sonuçlar, önceki çalışmalar ve klasik modelleme ve kestirim metodolojisi çerçevesinde değerlendirilerek, gelecek araştırmalar ve üretilen modellerin kullanımına ilişkin önerilere yer verilmiştir. Bu bağlamda, giriş bölümünde cevap aranan sorulara ilişkin şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1) Aylık su tüketimi verileri üzerinden pik talebin tespit edilmesi konusunda bu tezde incelenen yöntemler arasında sezgisel modellerin elverişli olabileceği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, sezgisel modeller için özellikle saatlik, günlük veya 48 saatlik ölçeklerde kestirim ufkunun yaygın biçimde kullanılmasının temel nedeninin, veri çözünürlüğü düştükçe (haftalık veya aylık ölçeklere çıkıldıkça) verideki varyasyonların sönümlenmesi nedeniyle modelin işlerliğinin kaybolması olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, bu tezde üretilen sezgisel model de temel çözünürlüğün günlük ölçekte bırakılarak, verilerdeki istatistiksel olarak da tespit edilebilen haftanın günü ve aylık varyasyonlar temelinde tahminlerin farklılaştırılması yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin ortalama değerleri yakalama konusunda yeterli olduğu görülmektedir. Ancak haftalık ve günlük gerçek tüketim verileri olmaksızın modelin işlerliği konusunda bir yorum yapılması mümkün görünmemektedir.
- 2) Aylık verilere özgün şekilde günlük çözünürlükte çalışan bir sezgisel model uyarlaması yapılmış ve bu modelin aylık verileri tahmin gücünün son derece yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- 3) Bu tezde ele alınan yöntemlerin su talebinin arka planında yer alan unsurları açıklama gücü ile ilişkili olarak; regresyon yönteminin sıcaklık ve yağış gibi birey psikolojisi üzerindeki doğrusal olarak ifade edilemeyen etkilerini yakalama gücünün zayıf olduğu görülmüştür. Bu konuda ETM uygulaması içerisine dahil edilmiş “ısı transfer fonksiyonu” gibi yöntemlerin hem ETM tahmin performansının iyileştirilmesi hem de diğer yöntemlerle eşlenik şekilde kullanılabilecek bir tamamlayıcı yöntem olabileceği değerlendirilmektedir.
- 4) Etmen Tabanlı Modelleme yöntemi, su talebinin arka planında yer alan faktörlerin açıklanmasında gerekli veri altyapısının sağlanması koşuluyla büyük bir potansiyel

barındırmaktadır. Bu tezde gerek ETM parametrisasyonu gerekse senaryo analizi için ihtiyaç duyulan pek çok veri, zamansal değişimleri ifade edebilecek bir zaman serisinden ziyade, (veri mevcut olmadığından) tüm simülasyon boyunca sabit ortalamalar şeklinde kullanılmıştır. Bu nedenle yerleşim yerinin kültürel yapısından hane halkının demografik özelliklerinin zaman içerisinde değişimini de kapsayan birçok hususta yorum yapılabilecekken, bu analizlerin çok küçük bir kısmına ilişkin değerlendirmeler yapılabilmektedir.

- 5) Eksik veri tamamlama veya sentetik veri üretimi konusunda ETM yönteminin sahip olduğu güçlü altyapının, su tüketiminin ilişkili olduğu herhangi bir konuda, simülasyon sürecini doğru biçimde işletmeye yeterli çözünürlükte eşlenik zaman serileri mevcut olduğu sürece, geniş olanaklar sunabileceği değerlendirilmektedir.

Bu tez kapsamında yürütülen araştırmalar neticesinde aşağıda yer alan önerilerin bundan sonraki araştırmalara yön verebilecek nitelikte olduğu değerlendirilmektedir:

Mikro verilerin üretimi ve araştırmacılara sunumu konusunda daha yoğun çaba sarf edilmesi gerekiyor. Örneğin yerleşim yeri nüfusunun aylık değişimi gibi su tüketimindeki aylık değişimleri etkileme potansiyeli bulunan veriler mevcut olmaması nedeniyle doğrusal enterpolasyon yöntemi ile üretilmiştir ve bu araştırma açısından bir yanlışlık teşkil etmektedir.

Veri mevcudiyetiyle bağımlı şekilde ortaya çıkan bir diğer husus da etmen tabanlı model sonuçlarının analizi konusunda yaşanmıştır. Etmen tabanlı model günlük, haftalık, aylık veya mevsimsel veya yıllık düzeyde sonuçlar üretme potansiyeline sahiptir. Ancak elde sadece aylık su tüketim verilerinin bulunması nedeniyle günlük veya haftalık düzeyde üretilen sonuçlarla ilgili değerlendirme yine bir model olan adaptif sezgisel model ile karşılaştırma yoluyla yapılabilmektedir. Elbette ki bu durum gerçek anlamda bilimsel bir yaklaşım olmadığından, bu tezde günlük ve haftalık ölçekte bir değerlendirme yapılmamıştır. Diğer taraftan, etmen tabanlı model ile üretilen günlük verilerin hafta içi, hafta sonu veya uzun süreli tatiller gibi değişkenler halinde gruplandırılması sonucunda da istatistiksel düzeyde anlamlı bir farklılaşma görülememiştir. Bu durum gerçek hayatta böyle olabileceği gibi, modelin hesaplama adımlarına yönelik bir hata nedeniyle gerçekleşiyor olabilir. Ne var ki mevcut durumda herhangi bir yorum yapılması mümkün görünmemektedir.

Hem sezgisel model hem de etmen tabanlı model için kullanılan ısı transfer fonksiyonunun daha gerçekçi bir versiyonu, yağışlı günler sonrasında ortaya çıkan ve su tüketimi üzerindeki yağış etkisinin giderek azaldığı bir sönümlenme etkisini de göz önünde bulundurabilir. Diğer taraftan, ardışık sıcak ve yağışsız günler için de artan bir “su tüketim baskısı” etkisinin varlığı da önemli bir araştırma konusu durumundadır.

Etmen davranışının bu çalışmadaki etkisi hava koşulları doğrultusunda dışarı çıkma tercihi üzerinden şekillendirilmiştir. Gerçek hayattaki gibi daha karmaşık bir karar alma süreci oluşturulabilir. Örneğin gerçek hayatta her birey kendi rolüyle ilişkili biçimde her su tüketen cihazı farklı sayıda ve farklı sürede kullanırken, bu tezdeki simülasyonda bu sayılar arayüzden ayarlanan ve her bir birey için aynı olacak şekilde belirlenmiştir. Şüphesiz bu tercih simülasyon hesaplama yükünün süper bilgisayarlar düzeyinde bir işlem kapasitesini gerektirmeyecek düzeyde tutulması gerekliliğinden ileri gelmektedir. Ancak simülasyonda daha gerçekçi hesaplama yöntemleri tercih edilse bile sahaya uygun mikro veriler olmaksızın bir karşılaştırma yapılması mümkün olmamaktadır.

Geliştirilen etmen tabanlı model ile beş farklı kategoride parametrenin değişimi ile pek çok farklı senaryonun analiz edilmesi mümkün hale gelmektedir. Ancak (aylık mahalle nüfusu verileri gibi) zamansal ölçekte değişim gösteren veriler olmaksızın karşılaştırmalar yıllık veya belli bir yıla ait veriler üzerinden yapılmak durumunda kalınmaktadır. İhtiyaç duyulan verilerin üretilmesi konusunda yürütülebilecek daha detaylı çalışmalar ile bu modellerin işlevselliğinin daha iyi bir seviyeye taşınabileceği değerlendirilmektedir.

Literatürde benzer çalışmalar mevcut olmasına karşın, veri varlığıyla ilişkili biçimde suyun fiyatı gibi politika araçlarının su tüketimine olan etkisi bu çalışmada değerlendirmeye alınamamıştır. Bu konuda Türkiye özelinde yapılan çalışmaların hem sayısı hem de çeşitliliğinin artırılmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abu-Bakar, H., Williams, L., ve Hallett, S. (2021). Quantifying the impact of the COVID-19 lockdown on household water consumption patterns in England. *NPJ Clean Water*, 4(13), 1-9.
- Adamowski, J. (2008). Peak daily water demand forecast modeling using artificial neural networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(2), 119–128.
- Adamowski, J., ve and Karapataki, C. (2010). Comparison of multivariate regression and artificial neural networks for peak urban water-demand forecasting: Evaluation of different ANN learning algorithms . *Journal of Hydrological Engineering*, 15(10).
- Adamowski, J., ve Chan, H. F. (2011). A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. *Journal of Hydrology*, 407(1-4), 28-40.
- Adamowski, J., Chan, H., Prasher, S. O., Ozga-Zielinski, B., ve Sliusarieva, A. (2012). Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada. *Water Resources Research*, 48(1).
- Adamowski, J., Adamowski, K., ve Prokoph, A. (2013). A spectral analysis based methodology to detect climatological influences on daily urban water demand. *Mathematical Geosciences*, 45(1), 49-68.
- Al-Amin, S., Berglund, E. Z., ve Mahinthakumar, G. (2016). *Coupling Agent-Based and Groundwater Modeling to Explore Demand Management Strategies for Shared Resources*. World Environmental and Water Resources Congress 2016.141-150.
- Al-Amin, S., Berglund, E. Z., Mahinthakumar, G., ve Larson, K. L. (2018). Assessing the effects of water restrictions on socio-hydrologic resilience for shared groundwater systems. *Journal of Hydrology*, 566, 872-885.
- Altunkaynak, A., ve Assefa, T. (2017). Monthly Water Consumption Prediction Using Season Algorithm and Wavelet Transform–Based Models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(6).
- Altunkaynak, A., Özger, M., ve Çakmakci, M. (2005). Water Consumption Prediction of Istanbul City by Using Fuzzy Logic Approach. *Water Resources Management*, 19(5), 641–654.
- Alvisi, S., Franchini, M., ve Marinelli, A. (2007). A short-term, pattern-based model for water-demand forecasting. *Journal of Hydroinformatics*, 39-50.
- Makki, Anas & Stewart, Rodney & Beal, Cara & Panuwatwanich, Kriengsak. (2015). Novel bottom-up urban water demand forecasting model: Revealing the determinants, drivers and predictors of residential indoor end-use consumption. *Resources, Conservation and Recycling*, 95.15-37.
- André, D., ve Carvalho, J. (2014). Spatial determinants of urban residential water demand in Fortaleza, Brazil. *Water Resources Management*, 28, 2401–2414.

- Antunes, A., Andrade-Campos, A., Sardinha-Lourenço, A., ve Oliveira, M. (2018). Short-term water demand forecasting using machine learning techniques. *Journal of Hydroinformatics*, 20, 1343–1366.
- Arandia, E., Ba, A., Eck, B., ve McKenna, S. (2016). Tailoring seasonal time series models to forecast short-term water demand. *Water Resources Planning and Management*, 142(3).
- Arasteh, M. A., ve Farjami, Y. (2021). New hydro-economic system dynamics and agent-based modeling for sustainable urban groundwater management: A case study of Dehno, Yazd Province, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 72.
- Arbues, F., Garcia-Valinas, M., ve Martinez-Espineira, R. (2003). Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *The Journal of Socio-Economics*, 32(1), 81-102.
- ASKİ. (2022). Ahimesut Mahallesi Su Tüketimi Verileri. Ankara: ASKİ.
- ASKİ. (2022, 5 Ekim). Sözlü Mülakat. ASKİ. Ankara.
- Athanasiadis, I., Mentis, A., Mitkas, P., ve Mylopoulos, Y. (2005). A hybrid agent-based model for estimating residential water demand. *Simulation*, 81(3), 175-187.
- Aybuğa, K., ve Yücel Işıldar, A. (2022). Agent-Based Approach on Water Resources Management: A Modified Systematic Review. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 6(2), 202-236.
- Aydın, M. E., ve Keleş, R. (2021). A multi agent-based approach for energy efficient water resource management. *Computers ve Industrial Engineering*, 151(6).
- Babel, M., ve Shinde, V. (2011). Identifying prominent explanatory variables for water demand prediction using artificial neural networks: a case study of bangkok. *Water Resources Management*, 25(6), 1653–1676.
- Baeza, A., Bojorquez-Tapia, L. A., Janssen, M. A., ve Eakin, H. (2019). Operationalizing the feedback between institutional decision-making, socio-political infrastructure, and environmental risk in urban vulnerability analysis . *Journal of Environmental Management*, 241, 407-417.
- Bai, Y., Wang, P., Li, C., Xie, J., ve Wang, Y. (2014). A multi-scale relevance vector regression approach for daily urban water demand forecasting. *Journal of Hydrology*, 517, 236–245.
- Bakhtiari, P. H., Nikoo, M. R., Izady, A., ve Talebbeydokhti, N. (2020). A coupled agent-based riskbased optimization model for integrated urban water management. *Sustainable Cities and Society*, 53,101922.
- Bakker, M., Vreeburg, J., van Schagen, K., ve Rietveld, L. (2013). A fully adaptive forecasting model for short-term drinking water demand. *Environmental Modelling ve Software*, 48, 141-151.
- Bakker, M., Van Duist, H., Van Schagen, K., Vreeburg, J., ve Rietveld, L. (2014). Improving the performance of water demand forecasting models by using weather input. *Procedia Engineering*, 70, 93–102.

- Banihabib, M., ve Mousavi-Mirkalaei, P. (2019). Extended linear and non-linear autoregressive models for forecasting the urban water consumption of a fast-growing city in an arid region. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101585.
- Bao, C., ve Chen, X. (2017). Spatial econometric analysis on influencing factors of water consumption efficiency in urbanizing China. *Journal of Geographical Sciences*, 27, 1450–1462.
- Barthel, R., Rojanschi, V., Wolf, J., ve Braun, J. (2005). Large-scale water resources management within the framework of GLOWA-Danube. Part A: The groundwater model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(6), 372-382.
- Bata, M., Carriveau, R., ve Ting, D.-K. (2020). Short-term water demand forecasting using hybrid supervised and unsupervised machine learning model. *Smart Water*, 5, 1–18.
- Baumann, D., Boland, J., ve Hanemann, M. (1997). *Urban Water Demand Management and Planning*. McGraw-Hill, 84.
- Beal, C., Stewart, R., Huang, T., ve Rey, E. (2011a). SEQ residential end use study. *Journal of Australian Water Association*. 38(1).
- Beal, C., ve Stewart, R. (2011b). South East Queensland residential end use study: final report, Technical Report No. 47. UWSRA. 11-15.
- Beal, C., ve Stewart, R. (2014). Identifying residential water end uses underpinning peak day and peak hour demand. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(7).
- Benítez, R., Ortiz-Caraballo, C., Preciado, J., Conejero, J., Figueroa, F., ve Rubio-Largo, A. (2019). A short-term data based water consumption prediction approach. *Energies*, 12, 2359.
- Bennett, C., Stewart, R., ve Beal, C. (2012). ANN-based residential water end-use demand forecasting model. *Expert Systems Applications*. 40(4), 1014-1023.
- Berglund, E. Z. (2015). Using Agent-Based Modeling for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(11).
- Berk, R. A. (1981). *Water Shortage: Lessons in Conservation From the Great California Drought, 1976-1977*. Cambridge: Abt Books, 173.
- Berthouex, P., ve Brown, L. (2002). *Statistics for Environmental Engineers*. Washington: Lewis Publishers, 52.
- Bi, W., Maier, H., ve Dandy, G. (2016). Impact of starting position and searching mechanism on the evolutionary algorithm convergence rate. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 142(9), 04016026
- Bich-Ngoc, N., ve Teller, J. (2018). *A review of residential water consumption determinants*. Proceedings of the International Conference on Computational Science and Its Applications, Melbourne, 685–696.
- Billings, B., ve Jones, C. (1996). *Forecasting Urban Water Demand*. Denver, USA: American Water Works Association, 31-41.

- Birleşmiş Milletler. (2012). *World Water Development Report 4*. UNESCO, 42.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 99(3), 7280-7287.
- Bonté, B., Farolfi, S., Ferrand, N., Abrami, G., Diallo, M. C., Dubois, D., Gaudi, W. A. (2019). Building new kinds of meta-models to analyse experimentally (companion) modelling processes in the field of natural resource management. *Environmental Modelling ve Software*, 120(2).
- Bougadis, J. A. (2005). Short-term municipal water demand forecasting. *Hydrological Processes*, 19(1), 137–148.
- Bourceret, A., Amblard, L., ve Mathias, J.-D. (2022). Adapting the governance of social–ecological systems to behavioural dynamics: An agent-based model for water quality management using the theory of planned behaviour. *Ecological Economics*, 194(C).
- Box, G., ve Jenkins, G. (1976). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day, 46.
- Brentan, B., Luvizotto, E. J., Herrera, M., Izquierdo, J., ve Pérez-García. (2017). Hybrid regression model for near real-time urban water demand forecasting. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 309, 532–541.
- Brentan, B., Meirelles, G., Manzi, D., ve Luvizotto, E. (2018). Water demand time series generation for distribution network modeling and water demand forecasting. *Urban Water Journal*, 15(2), 150–158.
- Caiado, J. (2010). Performance of combined double seasonal univariate time series models for forecasting water demand . *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(3), 215–222.
- Campisi-Pinto, S., Adamowski, J., ve Oron, G. (2012). Forecasting urban water demand via wavelet-denoising and neural network models. Case study: City of Syracuse, Italy. *Water Resources Management*, 26(12), 3539–3558.
- Candelieri, A. (2017). Clustering and support vector regression for water demand forecasting and anomaly detection. *Water*, 9(3), 224.
- Candelieri, A., ve Archetti, F. (2014). Identifying typical urban water demand patterns for a reliable short-term forecasting—The icewater project approach. *Procedia Engineering*, 89, 1004–1012.
- Candelieri, A., Soldi, D., ve Archetti, F. (2015). Short-term forecasting of hourly water consumption by using automatic metering readers data. *Procedia Engineering*, 119, 844–853.
- Castilla-Rho, J. C., Rojas, R., Andersen, M. S., Holley, C., ve Mariethoz, G. (2019). Sustainable groundwater management: How long and what will it take? *Global Environmental Change*, 58. 101972.
- Castonguay, A. C., Iftekhar, M. S., Urich, C., Bach, P. M., ve Deletic, A. (2018). Integrated modelling of stormwater treatment systems uptake. *Water Resources*, 142, 301-312.

- Chen, J., ve Boccelli, D. (2014). Demand forecasting for water distribution systems. *Procedia Engineering*, 70(2014), 339–342.
- Crooks, A., Heppenstall, A., ve Malleson, N. (A. Báldi, C. Lundquist ve B. Jonsson). (2018). *Comprehensive Geographic Information Systems*. Elsevier, 218-243.
- Cryer, J. (1986). *Time Series Analysis*. Boston: Duxbury Press, 8-163.
- Darbandsari, P., Reza, K., ve Siamak, M.-E. (2017). An Agent-based behavioral simulation model for residential water demand management: The case-study of Tehran, Iran. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 78, 51-52.
- Ding, K. J., Gilligan, J. M., Yang, Y. C., Wolski, P., ve Hornberger, G. M. (2021). Assessing food– energy–water resources management strategies at city scale: An agent-based modeling approach for Cape Town, South Africa. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105573.
- Doğa Koruma Merkezi. (2013). Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. *Doğa Koruma Merkezi*. 17-44.
- Donkor, E., Mazzuchi, T., Soyer, R., ve Roberson, J. (2014). Urban water demand forecasting: a review of methods and models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(2), 146-159.
- Dos Santos, C., ve Pereira Filho, A. (2014). Water demand forecasting model for the metropolitan area of São Paulo. *Water resources management*, 28(13), 4401-4414.
- Efron, B. (1979). Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *The Annals of Statistics*, 7(1), 1-26.
- Elhamian, S. A., Rakhshandehroo, G., ve Javid, A. H. (2021). Quantitative and qualitative optimization of water allocation in no bandegan aquifer using an Agent-based Approach. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 46(1), 523-534.
- Farhadi, S., Nikoo, M. R., Rakhshandehroo, G. R., Akhbari, M., ve Alizadeh, M. R. (2016). An agentbased-nash modeling framework for sustainable groundwater management: A case study. *Agricultural Water Management*, 177, 348-358.
- Firat, M., Turan, M. E., ve Yurdusev, M. A. (2010). Comparative analysis of neural network techniques for predicting water consumption time series. *Journal of Hydrology*, 384(1-2), 46-51.
- Fleming, N. (1994). Forecasting Water Consumption in the Northern Adelaide Plains SA, Using Artificial Neural Networks, Regression and Time-Series Methods. *Research Report No. R115*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Adelaide. Adelaide, 38.
- Franczyk, J., ve Chang, H. (2009). Spatial analysis of water use in Oregon, USA, 1985–2005. *Water Resources Management*, 23, 755–774.
- Franklin, S., ve Maidment, D. (1986). An evaluation of weekly and monthly time series forecasts of municipal water use. *Water Resources Bulletin*, 22(4), 611 - 621.

- Froukh, M. L. (2001). Decision-Support System for Domestic Water Demand Forecasting and Management. *Water Resources Management*, 15(6), 363-382.
- Fullerton, T. J., Ceballos, A., ve Walke, A. (2016). Short-term forecasting analysis for municipal water demand. *Journal of American Water Works Association*. 108(1), E27-E38.
- Galán, J. M., Adolfo, L.-P., ve Ricardo, D. O. (2009). An agent-based model for domestic water management in Valladolid metropolitan area. *Water resources research*, 45(5).
- Gardiner, V., ve Herrington, P. (1986). *The Basis and Practices of Water Demand Forecasting, Norway*. (1st Edition). Norway: CRC Press, 7-17.
- Gato, S. (2006). *Forecasting urban residential water demand*. Doktora Tezi. School of Civil, Environmental and Chemical Engineering. RMIT University.
- Gato-Trinidad S, J. N. (2011). Understanding urban residential end uses of water. *Water Science and Technology*, 64(1), 36-42.
- Ghalehkhondabi, I., Ardjmand, E., Young, W., ve Weckman, G. (2017). Water demand forecasting: Review of soft computing methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(7), 313.
- Ghiassi, G., Zimbra, D., ve Saidane, H. (2008). Urban water demand forecasting with a dynamic artificial neural network model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(2), 138–146.
- Giabbanelli, P., Freeman, C., Devita, J., Rosso, N., ve Brumme, Z. (2019). *Mechanisms for Cell-to-cell and Cell-free Spread of HIV-1 in Cellular Automata Models*. SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation, New York, 103-114.
- Graeser, H. J. (1958). Meter records in system planning. *Journal of American Water Works Association*, 50(11), 1395-1402.
- Grimm, V., Railsback, S. F., Vincenot, C. E., Berger, U., Gallagher, C., DeAngelis, D. L., (2020). The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models: A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(2).
- Guo, N., Shi, C., Yan, M., Gao, X., ve Wu, F. (2022). Modeling agricultural water-saving compensation policy: An ABM approach and application. *Journal of Cleaner Production*, 344, 131035.
- Han, D., Kwong, T., ve Li, S. (2007). Uncertainties in real-time flood forecasting with neural networks. *Hydrological Processes*, 21(2), 223–228.
- Hanif, H., Rasmani, K., ve Ramli, N. (2013). *Challenges in determining attributes to generate models for estimation of residential water consumption based on consumer data*. AIP Conference Proceedings, Putrajaya, 1306-1311.
- Haque, M., de Souza, A., ve Rahman, A. (2017). Water demand modelling using independent component regression technique. *Water Resources Management*, 31(1), 299–312.

- Hartley, J., ve Powell, R. (1991). The Development of a Combined Water Demand Prediction Systems. *Civil Engineering Systems*, 8(4), 231-236.
- Herrera, M., Torgo, L., Izquierdo, J., ve Pérez-García, R. (2010). Predictive models for forecasting hourly urban water demand. *Journal of Hydrology*, 387(1-2), 141–150.
- Herrera, M., Guglielmetti, A., Xiao, M., ve Coelho, R. (2014). Metamodel-assisted optimization based on multiple kernel regression for mixed variables. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 49(6), 979–991.
- Herrera, M., Izquierdo, J., Pérez-García, R., ve Ayala-Cabrera, D. (2014). On-line learning of predictive kernel models for urban water demand in a smart city. *Procedia Engineering*, 70, 791–799.
- Homwongs, C., Satsri, T., ve Foster, J. W. (1994). Adaptive forecasting of hourly municipal water consumption. *Journal of Water Resources Planning ve Management*, 120(6), 888-905.
- House-Peters, L., ve Chang, H. (2011). Urban water demand modeling: review of concepts, methods, and organizing principles. *Water Resources Research*. 47(5).
- Howe, C. W., ve Linaweaver, F. P. (1967). The impact of price on residential water demand and its relation to systems design and price structure. *Water Resources Research*, 3(1), 13-32.
- Hu, P., Tong, J., Wang, J., Yang, Y., ve de Oliveira Turci, L. (2019). *A hybrid model based on CNN and Bi-LSTM for urban water demand prediction*. Proceedings of the 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Wellington, 1088-1094.
- Huang, L., Zhang, C., Peng, Y., ve Zhou, H. (2013). Application of a combination model based on wavelet transform and KPLS-ARMA for urban annual water demand forecasting. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(8).
- Huber, L., Bahro, N., Leitinger, G., Tappeiner, U., ve Strasser, U. (2019). Agent-Based Modelling of a coupled water demand and supply system at the catchment scale. *Sustainability*, 11(21).
- Huber, L., Rüdiger, J., Meisch, C., Stotten, R., Leitinger, G., ve Tappeiner, U. (2021). Agent-based modelling of water balance in a social-ecological system: A multidisciplinary approach for mountain catchments. *Science of the Total Environment*, 755(1).
- Hussien, W., Memon, F., ve Savic, D. (2016). Assessing and modelling the influence of household characteristics on per capita water consumption. *Water Resources Management*, 30(9), 2931–2955.
- Hyun, J.-Y., Huang, S.-Y., Yang, Y.-C. E., Tidwell, V., ve Macknick, J. (2019). Using a coupled agent-based modeling approach to analyze the role of risk perception in water management decisions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(5), 2261-2278.
- Iftekhar, M. S., Tisdell, J. G., ve Connor, J. D. (2013). Effects of competition on environmental water buyback auctions. *Agricultural Water Management*, 127, 59-73.

İnternet: AA, AA, URL: <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/barajlarda-ankaraya-1-yil-yetecek-su-bulunuyor/2939267>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.

İnternet: Ankara Büyükşehir Belediyesi, «Ankara'nın Kısa Tarihi,» URL: <https://www.ankara.bel.tr/ankara-kent-rehberi/ankara-nin-kisa-tarihi>. Son Erişim Tarihi: 01.05.2018.

İnternet: Anonim, Türkiye Nüfusu İl ilçe Mahalle Köy Nüfusları, 2017. URL: <https://www.nufusune.com/1625-ankara-etimesgut-ahimesut-mahallesi-nufusu>. Son Erişim Tarihi: 21.12.2021.

İnternet: ASKİ, Ankara'da Su Altyapısı, URL: http://yayinlar.aski.gov.tr/pdf/06-ankarada_su_alt_yapisi_1487939566.pdf. Son Erişim Tarihi: 01.05.2018.

İnternet: ASKİ, ASKİ Web Sitesi, URL: <http://aski.gov.tr/TR/Anasayfa>. Son Erişim Tarihi: 01.10.2018.

İnternet: ASKİ, Ankara'da Su Altyapısı, URL: https://yayinlar.aski.gov.tr/pdf/06-ankarada_su_alt_yapisi_1487939566.pdf. Son Erişim Tarihi: 05.01.2024.

İnternet: ASKİ, ASKİ Kurumsal Web Sitesi, URL: <https://www.aski.gov.tr/tr/HABER/Ankaran%C4%B1n-Icme-Suyu-Garant%C4%B1s%C4%B1-Gerede-S%C4%B1stem%C4%B1nde-Tekn%C4%B1k-Inceleme/463>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.

İnternet: ASKİ, ASKİ Su ve Atıksu Tarifesi (TL/m³), URL: <https://www.aski.gov.tr/Yukle/Dosya/YillikTarife/2020.pdf>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.

İnternet: ASKİ, Yıllara Göre Barajlara Gelen Su Miktarı, URL: <https://aski.gov.tr/tr/baraj.aspx>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.

İnternet: B. Foltz, Time Series 101: Basic Concepts and the Naïve Forecast, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EggOdnSsolU>. Son Erişim Tarihi: 28.11.2022.

İnternet: B. Foltz, Time Series 101: Formulating Time Series Problems, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=K9hBi-ZlrjQ&list=PLIeGtxpvyG-I735qr28zD2dVOcAZ4h4xuveindex=5>. Son Erişim Tarihi: 26.09.2022.

İnternet: DSİ, Toprak Su Kaynakları, URL: <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>, Son Erişim Tarihi: 06 06 2023.

İnternet: DSİ, ANKARA 2050 YILINA KADAR İÇME SUYU SORUNU YAŞAMAYACAK, URL: <https://shorturl.at/RpbIO>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.

İnternet: ENDEKSA, Endeksa, URL: <https://www.endeksa.com/tr/analiz/turkiye/ankara/etimesgut/ahi-mesut/demografi>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.

İnternet: FAO, Chapter I. The arid environments, 1989. URL: <http://www.fao.org/docrep/t0122e/t0122e03.htm#3>. arid zone climate. Son Erişim Tarihi: 08.07.2023

- İnternet: GASKİ, GASKİ Kurumsal, URL: <https://gaski.gov.tr/pandemi-surecinde-su-tuketimi-artti/>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.
- İnternet: MachineLearningPlus, www.machinelearningplus.com, URL: <https://www.machinelearningplus.com/wp-content/uploads/2019/02/stationary-and-non-stationary-time-series-865x569.png?ezimgfmt=ng:webp/ngcb1>. Son Erişim Tarihi: 11.07.2024.
- İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İklim Sınıflandırması Ankara, URL: <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=ANKARA>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.
- İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler, URL: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.
- İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yıllık Toplam Alansal Yağış Verileri | Türkiye, URL: [https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/yagis-i-85728#:~:text=De%C4%9Ferlendirme%3A,dir%20\(1991%2D2020\)](https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/yagis-i-85728#:~:text=De%C4%9Ferlendirme%3A,dir%20(1991%2D2020)). Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.
- İnternet: Moll, E. What is a Semi-Arid Climate?, 2017. URL: <http://sciencing.com/semiarid-climate-10009421.html>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.
- İnternet: TÜİK, Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması, Aralık 2020. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Gelir-ve-Yasam-Kosullari-Arastirmasi-2020-37404>. Son Erişim Tarihi: 21.08.2023.
- İnternet: TÜİK, Su ve Atıksu İstatistikleri 2020, URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2020-37197>. Son Erişim Tarihi: 02.12.2021.
- İnternet: TÜİK, İstatistik Veri Portalı, URL: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>. Son Erişim Tarihi: 01.07.2021.
- İnternet: TÜİK, TÜİK, URL: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95velocale=tr>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.
- İnternet: İ. Ünver, İçme Suyu Olarak Kızılırmak, URL: <https://www.hidropolitikakademi.org/tr/article/5530/icme-suyu-olarak-kizilirmak>. Son Erişim Tarihi: 26.06.2024.
- Jager, W., ve Gotts, N. (L. Steg, A. van den Berg, ve J. de Groot). (2013). *Environmental psychology: An introduction*. BPS Blackwell, 319-329.
- Jain, A., Varshney, A., ve Joshi, U. (2001). Short-Term Water Demand Forecast Modelling at IIT Kanpur Using Artificial Neural Networks. *Water Resources Management*. 15, 299 – 321.
- Jain, A., ve Kumar, A. (2007). Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting. *Applied Soft Computing*, 7(2), 585–592.

- James, R., ve Rosenberg, D. (2022). Agent-Based Model to Manage Household Water Use Through Social-Environmental Strategies of Encouragement and Peer Pressure. *Earth's Future*, 10(2).
- Jowitt, P. W., ve Chengchao, X. (1992). Demand Forecasting for Water Distribution Systems. *Civil Engineering Systems*, 9, 105-121.
- Kadinski, L., Salcedo, C., Boccelli, D. L., Berglund, E., ve Ostfeld, A. (2022). A Hybrid Data-Driven Agent-Based Modelling Framework for Water Distribution Systems Contamination Response during COVID-19. *Water*, 14(7), 1088.
- Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü. (2022). *İlçelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması*. Ankara: Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü.
- Kamruzzaman, M., Metcalfe, A., ve Beecham, S. (2013). Wavelet based rainfall-stream flow models for the south-east Murray Darling basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(7), 1283-1293.
- Kandiah, V. K., Berglund, E. Z., ve Binder, A. R. (2019). An agent-based modeling approach to project adoption of water reuse and evaluate expansion plans within a sociotechnical water infrastructure system. . *Sustainable Cities and Society*, 46(1).
- Kanta, L., ve Berglund, E. (2015). Exploring tradeoffs in demand-side and supply-side management of urban water resources using Agent-Based Modeling and evolutionary computation. *Systems*, 3(4), 287-308.
- Karamaziotis, P., Raptis, A., Nikolopoulos, K., Litsiou, K., ve Assimakopoulos, V. (2020). An empirical investigation of water consumption forecasting methods. *International Journal of Forecasting*, 36(2), 588–606.
- Katipoğlu, O. M., Acar, R., ve Şengül, S. (2021). *Completing the Missing Rainfall Data in the Euphrates Basin with Regression Analysis*. Cukurova 6th International Scientific Researches Conference. Adana, 658-674.
- Kim, T. W., ve Valdes, J. B. (2003). Nonlinear model for drought forecasting based on a conjunction of wavelet transforms and neural networks . *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(6), 319–328.
- Koutiva, I., ve Makropoulos, C. (2016). Modelling domestic water demand: An agent based approach. *Environmental Modelling ve Software*, 79, 35-54.
- Koutiva, I., ve Makropoulos, C. (2016b). Exploring the effects of domestic water management measures to water conservation attitudes using agent based modelling. *Water Supply*, 17(2), 552-560.
- Koutiva, I., ve C., M. (2019). Exploring the effects of alternative water demand management strategies using an Agent-Based Model. *Water*. 11(11), 2216.
- Li, Y., Khalkhali, M., Mo, W., ve Lu, Z. (2021). Modeling spatial diffusion of decentralized water technologies and impacts on the urban water systems. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128169.

- Liu, J.-Q., Cheng, W.-P., ve Zhang, T.-Q. (2013). Principal factor analysis for forecasting diurnal water-demand pattern using combined rough-set and fuzzy-clustering technique. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(1), 23-33.
- López-Paredes, A., Saurí, D., ve Galán, J. M. (2016). Urban water management with artificial societies of agents: The FIRMABAR Simulator. *Simulation*, 81(3), 189-199.
- Macal, C., ve North, M. (2015). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. *Winter Simulation Conference*, 1451-1464.
- Maidment, D., ve Parzen, E. (1984). Time patterns of water use in six Texas cities. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 110(1), 90-106.
- Maidment, D., Miaou, S., ve Crawford, M. (1985). Transfer Function Models of Daily Urban Water Use. *Water Resources Research*, 21(4), 425-432.
- Makki, A., Stewart, R., Beal, C., ve Panuwatwanich, K. (2015). Novel bottom-up urban water demand forecasting model: Revealing the determinants, drivers and predictors of residential indoor end-use consumption. *Resources Conservation and Recycling*, 95, 15-37.
- Malleson, N., Heppenstall, A., ve Crooks, A. (2018). Place-Based Simulation Modelling: Agent-Based Modelling and Virtual Environments. *Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice*. Oxford: Oxford University Press, 1-24.
- Maruyama, Y., ve Yamamoto, H. (2019). A study of statistical forecasting method concerning water demand. *Procedia Manufacturing*, 39, 1801–1808.
- Mashhadi Ali, A., Shafiee, M. E., ve Berglund, E. Z. (2017). Agent-based modeling to simulate the dynamics of urban water supply: Climate, population growth, and water shortages. *Sustainable Cities and Society*, 28, 420-434.
- Miaou, S.-P. (1990). A class of time series urban water demand models with nonlinear climatic effects. *Water Resources Research*, 26(2), 169-178.
- Moglia, M., Perez, P., ve Burn, S. (2010). Modelling an urban water system on the edge of chaos. *Environmental Modelling ve Software*, 25(12), 1528-1538.
- Mohammed, J. R., ve Ibrahim, H. M. (2012). Hybrid wavelet artificial neural network model for municipal water demand forecasting. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(8), 1047–1065.
- Msiza, I., Nelwamondo, F., ve Marwala, T. (2008). Water demand prediction using artificial neural networks and support vector regression. *Journal of Computation*, 3(11), 1-8.
- Murphy, J. T. (2012). Exploring complexity with the Hohokam Water Management Simulation: A middle way for archaeological modeling. *Ecological Modelling*, 241, 15-29.
- Nagy, B. (2003). Shortest Paths in Triangular Grids with Neighbourhood Sequences. *Journal of Computing and Information Technology*, 11(2), 111–122.

- Nasseri, M., Moeini, A., ve Tabesh, M. (2011). Forecasting monthly urban water demand using extended Kalman filter and genetic programming. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7387–7395.
- Nayak, P. C., Venkatesh, B., Krishna, B., ve Jain, S. K. (2013). Rainfall runoff modeling using conceptual, data driven, and wavelet based computing approach. *Journal of Hydrology*, 493, 57-67.
- Nhim, T., ve Richter, A. (2022). Path dependencies and institutional traps in water governance – Evidence from Cambodia. *Ecological Economics*. 196, 107391.
- Niknam, A., Zare, H., Hosseiniinasab, H., Mostafaeipour, A., ve Herrera, M. (2022). A Critical Review of Short-Term Water Demand Forecasting Tools—What Method Should I Use? *Sustainability*. 14(9), 5412
- Noori, M., Emadi, A., ve Fazloula, R. (2021). An agent-based model for water allocation optimization and comparison with the game theory approach. *Water Supply*, 21(7), 3584-3601.
- Odan, F., ve Reis, L. (2012). Hybrid water demand forecasting model associating artificial neural network with Fourier series. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(3), 245-256.
- Oh, H. S., ve Yamauchi, H. (1974). An economic analysis of the patterns and trends of water consumption within the service areas of the Honolulu Board of Water Supply. *Water Resources Research*, 84.
- Ohab-Yazdi, S. A., ve Ahmadi, A. (2018). Using the agent-based model to simulate and evaluate the interaction effects of agent behaviors on groundwater resources, a case study of a sub-basin in the Zayandehroud River Basin. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 87, 274-292.
- Okeya, I., Kapelan, Z., Hutton, C., ve Naga, D. (2014). Online modelling of water distribution system using data assimilation. *Procedia Engineering*, 70, 1261–1270.
- Oyebode, O., Babatunde, D., Monyei, C., ve Babatunde, O. (2019). Water demand modelling using evolutionary computation techniques: Integrating water equity and justice for realization of the sustainable development goals. *Heliyon*, 5(11), e02796.
- Özdemir, M., Özav, L., ve Yasak, U. (2020). Örnek köyden kente dönüşen Etimesgut'ta fonksiyonel arazi kullanımının değişimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(44), 163-183.
- Palmatier, R. W., Houston, M. B., ve Hulland, J. (2018). Review articles: purpose, process, and structure. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 46(1), 1-5.
- Pandey, P., Bokde, N., Dongre, S., ve Gupta, R. (2021). Hybrid models for water demand forecasting. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(2).
- Perello-Moragues, A., Poch, M., Sauri, D., Popartan, L. A., ve Noriega, P. (2021). Modelling domestic water use in metropolitan areas using socio-cognitive agents. *Water*, 13(8), 1024.

- Pesantez, J., Berglund, E., ve Kaza, N. (2020). Smart meters data for modeling and forecasting water demand at the user-level. *Environmental Modelling and Software*, 125, 104633.
- Pillay, R. S. (2005). *Short-Term Water Demand Forecasting for Production Optimisation*. Lisans Tezi. University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying. Queensland, Australia.
- Ponte, B., de la Fuente, D., Pino, R., ve Rosillo, R. (2015). Real-Time Water Demand Forecasting System through an Agent-Based Architecture. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 7(3), 147-156.
- Pouladi, P., Afshar, A., Afshar, M. H., Molajou, A., ve Farahmand, H. (2019). Agent-based sociohydrological modeling for restoration of Urmia Lake: Application of theory of planned behavior. *Journal of Hydrology*, 576, 736-748.
- Qi, C., ve Ni-Bin, C. (2011). System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. *Journal of Environmental Management*, 92(6), 1628-1641.
- Quevedo, J., Puig, V., Cembrano, G., Blanch, J., Aguilar, J., Saporta, D., ve Molina, A. (2010). Validation and reconstruction of flow meter data in the Barcelona water distribution network. *Control Engineering Practice*, 18(6), 640-651.
- Rahman, S., ve Bhatnagar, R. (1988). Expert System Based Algorithm for Short-Term Load Forecast. *IEEE Trans Power Systems*, 3(2), 392-399.
- Ramsey, E. (2016). *Use of a Household Survey in the Development of an Agent-Based Model to Support Water Demand Management in Jaipur, India*. World Environmental and Water Resources Congress 2016, 171-176.
- Rasifaghihi, N., Li, S., ve Haghighat, F. (2020). Forecast of urban water consumption under the impact of climate change. *Sustainable Cities and Society*. 52, 101848.
- Redman, C., Groove, M., ve Kuby, L. (2004). Integrating Social Science into the Long Term Ecological Research (LTER) Network: Social Dimensions of Ecological Change and Ecological Dimensions of Social Change. *Ecosystems*, 7(2), 161-171.
- Ristow, D., Henning, E., Kalbusch, A., ve Petersen, C. (2021). Models for forecasting water demand using time series analysis: A case study in Southern Brazil. *Journal of Water Sanitation and Hygiene*, 11(2), 231–240.
- Rojas, R., Castilla-Rho, J., Bennison, G., Bridgart, R., Prats, C., ve Claro, E. (2022). Participatory and integrated modelling under contentious water use in semiarid basins. *Hydrology*, 9(3), 49.
- Romano, M., ve Kapelan, Z. (2014). Adaptive water demand forecasting for near real-time management of smart water distribution systems. *Environmental Modelling ve Software*, 60, 265-276.
- Russell, S., ve Fielding , K. (2010). Water demand management research: a psychological perspective. *Water Resources Research*, 46(5).

- Sağıroğlu, A. Z., Ünsal, R., ve Özenci, F. (2023). Deprem Sonrası Göç ve İnsan Hareketlilikleri: Durum Değerlendirme Raporu. AYBÜ-GPM, Ankara, 6-16.
- Saqalli, M., Thiriot, S., ve Amblard, F. (2010). Investigating social conflicts linked to water resources through agent-based modelling. *NATO Science for Peace and security series*, 75, 142-157.
- Sardinha-Lourenço, A., Andrea-Campos, A., Antunes, A., ve Oliveira, M. (2018). Increased performance in the short-term water demand forecasting through the use of a parallel adaptive weighting strategy. *Journal of Hydrology*, 558, 392-404.
- Schlüter, M., ve Pahl-Wostl, C. (2007). Mechanisms of resilience in common-pool resource management systems an Agent-based Model of water use in a river basin. *Ecology and Society*, 12(2), 4.
- Schroeder, O. B., Manez, M., ve Jeffrey, P. (2009). *The use of multi-agent based models to support water resources management The Moroccan case study*. Abingdon: Routledge, 1-16.
- Schütze, M., Campisano, A., Colas, H., Schilling, W., ve Vanrolleghem, P. A. (2004). Real time control of urban wastewater systems—where do we stand today? *Journal of Hydrology*, 299(3-4), 335-348.
- Schwarz, N., ve Ernst, A. (2009). Agent-based modeling of the diffusion of environmental innovations — An empirical approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(4), 497- 511.
- Scott, S., ve Koehler, M. (2014). *A Field Guide to NetLogo*. George Mason University.
- Shabani, S., Yousefi, P., ve Naser, G. (2017). Support vector machines in urban water demand forecasting using phase space reconstruction. *Procedia Engineering*, 186, 537–543.
- Shabani, S., Candelieri, A., Archetti, F., ve Naser, G. (2018). Gene expression programming coupled with unsupervised learning: A two-stage learning process in multi-scale, short-term water demand forecasts. *Water*, 10 (2), 142.
- Sharma, S. K., ve Tiwari, K. N. (2009). Bootstrap based artificial neural network (BANN) analysis for hierarchical prediction of monthly runoff in Upper Damodar Valley catchment. *Journal of Hydrology*, 374(3–4), 209–222.
- Shirkoohi, M., Doghri, M., ve Duchesne, S. (2021). Short-term water demand predictions coupling an artificial neural network model and a genetic algorithm. *Water Supply*, 21, 2374–2386.
- Shvartser, L., Shamir, U., ve Feldman, M. (1993). Forecasting Hourly Water Demands by Pattern Recognition Approach. *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*, 119(6), 611-627.
- Smith, J. (1998). A model of daily municipal water use for short-term forecasting. *Water Resources Research*, 24(2), 201-206.
- Steiner, R. C., ve Smith, J. A. (1983). *Short-term municipal water use forecasting*. ASCE National Specialty Conference, Tampa, 113-129.

- Strickling, H., DiCarlo, M. F., Shafiee, M. E., ve Berglund, E. (2020). Simulation of containment and wireless emergency alerts within targeted pressure zones for water contamination management. *Sustainable Cities and Society*, 52.
- Tabesh, M., ve Dini, M. (2009). Fuzzy and neuro-fuzzy models for short-term water demand forecasting in Tehran. Iran. *Iranian Journal of Science and Technology Transaction B: Engineering*, 33(B1), 61-77.
- Taştan, H. (2017). Estimation of dynamic water demand function: the case of Istanbul. *Urban Water Journal*, 15(1), 75-82.
- Tillman, D., Larsen, T. A., Pahl-Wostl, C., ve Gujer, W. (1999). Modeling the actors in water supply systems. *Water Science and Technology*, 39(4), 203-211.
- Tillman, T., Larsen, T. A., Pahl-Wostl, C., ve Gujer, W. (2001). Interaction analysis of stakeholders in water supply systems. *Water Science and Technology*, 43(5), 319-326.
- Tillman, D. E., Larsen, T. A., Pahl-Wostl, C., ve Gujer, W. (2005). Simulating development strategies for water supply systems. *Journal of Hydroinformatics*, 7(1), 41-51.
- Tiwari, M. K., ve Chatterjee, C. (2010a). Uncertainty assessment and ensemble flood forecasting using bootstrap based artificial neural networks (BANNs). *Journal of Hydrology*, 382(1-4), 20-33.
- Tiwari, M. K., ve Chatterjee, C. (2010b). Development of an accurate and reliable hourly flood forecasting model using wavelet-bootstrapANN hybrid approach. *Journal of Hydrology*, 394(3-4), 458–470.
- Tiwari, M. K., ve Chatterjee, C. (2011). A new wavelet–bootstrap-ANN hybrid model for daily discharge forecasting. *Journal of Hydroinformatics*, 13(3), 500–519.
- Tiwari, M., ve Adamowski, J. (2013). Urban water demand forecasting and uncertainty assessment using ensemble wavelet–bootstrapneural network models. *Water Resources Research*, 49(10), 6486–6507.
- Tiwari Mukesh, K. ve. (2015). Medium-Term Urban Water Demand Forecasting with Limited Data Using an Ensemble Wavelet–Bootstrap Machine-Learning Approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(2).
- Tomičić, I., ve Schatten, M. (2016). Agent-based framework for modeling and simulation of resources in self-sustainable human settlements: a case study on water management in an eco-village community in Croatia. *International Journal of Sustainable Development ve World Ecology*, 23(6), 504-513.
- UNESCO. (2019). The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. *WWAP*, Paris, 2-11.
- UNESCO. (2020). United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. *UNESCO*, Paris, 201-217.
- UNESCO-IHP. (2009). IWRM Guidelines at River Basin Level-Part1: Principles. *UNESCO*, 2-9.

- Van Oel, P. R., ve Van der Veen, A. (2011). Using agent-based modeling to depict basin closure in the Naivasha basin, Kenya: a framework of analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 7, 32-37.
- Varahrami, V. (2010). *Application of genetic algorithm to neural network forecasting of short-term water demand*. Proceedings of the International Conference on Applied Economic. Athens, 783-787.
- Vijai, P., ve Sivakumar, P. (2018). Performance comparison of techniques for water demand forecasting. *Procedia Computer Science*, 143, 258–266.
- Wang, H., Zhang, J., ve Zeng, W. (2018). Intelligent simulation of aquatic environment economic policy coupled ABM and SD models . *Science of the Total Environment*, 618, 1160-1172.
- Wang, Y., Zhou, Y., Franz, K., Zhang, X., Ding, K. J., Jia, G., ve Yuan, X. (2021). An agent-based framework for high-resolution modeling of domestic water use. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105520.
- Watson, R., Wilson, H. N., Smart, P., ve Macdonald, E. K. (2018). Harnessing difference: A capability-based framework for stakeholder engagement in environmental innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 35(2), 254-279.
- Weeks, C. R., ve McMahon, T. A. (1973). A comparison of water use, Australia and the U.S. *Journal of American Water Works Association*, 65(4), 232-237.
- Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. Evanston, IL: Northwestern University, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling.
- Wilensky, U., ve Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. Mit Press, 21-42.
- Willis, R., Stewart, R., Panuwatwanich, K., Jones, S., ve Kyriakides, A. (2010). Alarming visual display monitors affecting shower end use water and energy conservation in Australian residential households. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 1117–1127.
- Willis, R., Stewart, R., Giurco, D., Talebpour, M., ve Mousavinejad, A. (2013). End use water consumption in households: Impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production*, 60, 107–115.
- Wu, Z., ve Yan, X. (2011). *Applying genetic programming approaches to short-term water demand forecast for district water system*. Water Distribution Systems Analysis 2010 American Society of Civil Engineers, Reston, 1498–1506.
- Xiao, Y., Fang, L., ve Hipel, K. (2018). Centralized and decentralized approaches to water demand management. *Sustainability*, 10(10).
- Yakut, M. E. (2020). Etimesgut İlçesi'nin (Ankara) Nüfus Coğrafyası. *The Journal of International Social Research*, 13(72), 319-336.
- Yang, J., Yang, Y. C., Chang, J., Zhang, J., ve Yao, J. (2019). Impact of dam development and climate change on hydroecological conditions and natural hazard risk in the Mekong River Basin. *Journal of Hydrology*, 579, 124177.

- Yalçıntaş, M., Bulu, M., Küçükvar, M., & Samadi, H. (2015). A Framework for Sustainable Urban Water Management through Demand and Supply Forecasting: The Case of Istanbul. *Sustainability*, 7(8), 11050-11067.
- Yasar, A., Bilgili, M., ve Simsek, E. (2012). Water Demand Forecasting Based on Stepwise Multiple Nonlinear Regression Analysis. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(8), 2333-2341.
- Yuan, X.-C., Wei, Y.-M., Pan, S.-Y., ve Jin, J.-L. (2014). Urban household water demand in Beijing by 2020: An Agent-Based Model. *Water Resources Management*, 28(10), 2967-2980.
- Yurdusev, M. A., ve Firat, M. (2009). Adaptive neuro fuzzy inference system approach for municipal water consumption modeling: An application to Izmir, Turkey . *Journal of Hydrology*, 365(3-4), 225-234.
- Zhao, J., Cai, X., ve Wang, Z. (2013). Comparing administered and market-based water allocation systems through a consistent agent-based modeling framework. *Journal of Environmental Management*, 123, 120-130.
- Zhou, S., McMahon, T., Walton, A., ve Lewis, J. (2002). Forecasting operational demand for an urban water supply zone. *Journal of Hydrology*, 259(1-4), 189-202.
- Zolfagharipoor, M. A., ve Ahmadi, A. (2021). Agent-based modeling of participants' behaviors in an inter-sectoral groundwater market. *Journal of Environmental Management*, 299, 113560.
- Zurada, M. J. (1992). *An Introduction to Artificial Neural Systems*. Mumbai: PWS Publishing Company, 43.





Gazili olmak ayrıcalıktır