

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MELEN HAVZASI YAYILI KİRLETİCİLERİNİN BELİRLENMESİ
İÇİN AKIM AYIRIMINDA KULLANILABİLECEK UYGUN
HİDROLOJİK MODELLERİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Cemile DEDE

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR

Ocak 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MELEN HAVZASI YAYILI KİRLETİCİLERİNİN BELİRLENMESİ
İÇİN AKIM AYIRIMINDA KULLANILABİLECEK UYGUN
HİDROLOJİK MODELLERİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Cemile DEDE

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16 / 01 /2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



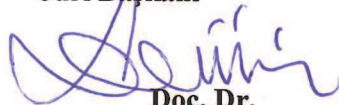
Prof. Dr.
Bülent ŞENGÖRÜR
Jüri Başkanı



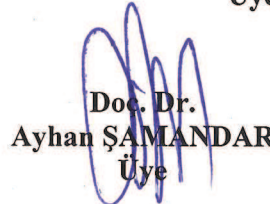
Prof. Dr.
Saim ÖZDEMİR
Üye



Doç. Dr.
Emrah DOĞAN
Üye



Doç. Dr.
İbrahim DEMİR
Üye



Doç. Dr.
Ayhan ŞAMANDAR
Üye

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana başından sonuna kadar yardımcı olan, desteğini hiç eksiltmeyen, yardımcı ve yol gösterici olan, engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren değerli doktora tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR' e en içten teşekkürlerimi arz eder, şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın her aşamasında bilgi birikimleri ve tecrübeleri ile yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR ve Sayın Doç. Dr. Emrah DOĞAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmada kullanılan bilgisayar yazılımlarının hazırlanmasında katkı sağlayan Öğr. Gör. Sayın Uğur Erkin KOCAMAZ' a değerli desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Benim bu aşamaya gelmemde en çok emeği geçen, her zaman maddi ve manevi desteklerini arkamda hissettiğim başta annem ve babam Hatice-Ali DEDE, ablam Prof. Dr. Nursan DEDE ÇINAR kardeşim Yrd. Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE ve değerli eşi Yrd. Doç. Dr. Gülgün DEDE olmak üzere tüm aileme en içten saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ..... | vi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | viii |
| TABLolar LİSTESİ | x |
| ÖZET | xii |
| SUMMARY | xiii |

BÖLÜM 1.

| | |
|---|----|
| GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Konunun Bilimsel ve Teknolojik Uygulamadaki Yeri | 2 |
| 1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar | 4 |
| 1.2.1. Akım ayırma ile ilgili yapılmış çalışmalar | 4 |
| 1.2.2. Yapay zeka uygulamalarının hidrolojik modellerde kullanılması ile ilgili çalışmalar | 7 |
| 1.2.3. Melen Havzası ile ilgili yapılmış çalışmalar | 11 |
| 1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı | 14 |

BÖLÜM 2.

| | |
|--|----|
| MATERYAL VE METOT | 16 |
| 2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması | 16 |
| 2.1.1. Coğrafi konum | 16 |
| 2.1.2 Topografya ve jeomorfolojik durum | 16 |
| 2.1.3. Toprak yapısı ve arazi kullanımı | 18 |
| 2.1.4 . İklim ve meteorolojik özellikler | 18 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2. Çalışmada Kullanılan Veriler | 20 |
| 2.2.1. 1302 nolu istasyon | 20 |
| 2.2.2. 1339 nolu istasyon | 21 |
| 2.2.3. 1340 nolu istasyon | 21 |
| 2.3. Akımın Bileşenlerine Ayrılması | 22 |
| 2.3.1. Akarsu akımını oluşturan akım türlerinin tanımlanması | 22 |
| 2.3.2. Hidrograf | 23 |
| 2.3.3. Hidrografta taban akışının ayrılması | 27 |
| 2.3.3.1. Grafikselle yöntemler | 28 |
| 2.3.4. Sürekli taban akışı ayırma yöntemleri | 29 |
| 2.3.4.1. Sayısal filtreleme yöntemi | 29 |
| 2.3.4.2. Yuvarlatılmış minimumlar yöntemi | 30 |
| 2.4. Çalışmada Kullanılan Akım Ayırma Yöntemleri | 30 |
| 2.4.1. Yöntem 1: Dijital Filtreleme Yöntemi (DFM) | 30 |
| 2.4.2. Yöntem 2: İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (İHEY) | 32 |
| 2.5. Çalışmada Kullanılan Akış Ayırma Yöntemlerinin (DFM ve İHEY) Doğruluğunun Test Edilmesi | 34 |
| 2.6. Toplam Akışın Bölümlerine Ayrılmasında Yapay Zeka Tekniklerinin Kullanılması | 36 |
| 2.6.1. Çalışmada kullanılan yapay zeka modelinin seçimi | 38 |
| 2.6.2. Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (CANFIS) ve çalışmadaki uygulaması | 39 |
| 2.7. Taban Suyu Derinliklerinin Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) Kullanılarak Belirlenmesi | 41 |
| 2.8. Akım Ayırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Kullanılan İstatistiksel Yöntemler | 45 |
| | |
| BÖLÜM 3. | |
| BULGULAR VE TARTIŞMA | 48 |
| 3.1. Büyük Melen ve Aksu Deresinin Bazı Akım Özellikleri | 48 |

| | |
|--|------------|
| 3.2. Akımın Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemleri İle Bileşenlerine Ayrılması | 55 |
| 3.3. Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemlerinden Elde Edilen Sonuçların Kontrolü | 61 |
| 3.4. Yapay Zeka Yöntemleri İle Akımın Bölümlerine Ayrılması | 65 |
| 3.4.1. Kullanılacak yapay zeka yönteminin belirlenmesi | 66 |
| 3.4.2. 1302 nolu istasyondaki yapay zeka uygulaması sonuçları | 70 |
| 3.4.3. 1340 nolu istasyondaki yapay zeka uygulaması sonuçları | 75 |
| 3.4.4. 1339 nolu istasyondaki yapay zeka uygulaması sonuçları | 80 |
| 3.5. Taban Suyu Seviyesinin Yapay Zeka Yöntemiyle Belirlenmesi | 85 |
| | |
| BÖLÜM 4. | |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 94 |
| | |
| KAYNAKLAR | 101 |
| ÖZGEÇMİŞ | 114 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|--------------------------|--|
| A | : km ² cinsinden havza alanı |
| AÇE | : Ana çekilme eğrisi |
| BFI | : Taban akış indeksi |
| b _k | : Taban akışı |
| CANFIS | : Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi |
| CANFIS _{DFM} | : DFM sonuçlarının eğitim ve test verisi olarak kullanıldığı CANFIS uygulaması |
| CANFIS _{İHEY} | : İHEY sonuçlarının eğitim ve test verisi olarak kullanıldığı CANFIS uygulaması |
| DFM | : Dijital Filtreleme Metodu |
| DSİ | : Devlet su işleri |
| EİE | : Elektrik işleri etüt idaresi |
| i | : Minimum grupları |
| İHEY | : İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi |
| k | : Çekilme sabiti |
| K | : Hidrolik iletkenlik |
| m | : Metre |
| m ³ /s | : Metre küp / saniye |
| MH | : Mutlak hata |
| M-İHEY | : Modifiye İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi |
| N | : Minimum gruplarının eleman sayısı |
| OKHK | : Ortalama karesel hatanın karekökü |
| Q ₀ | : Başlangıç debisi |
| Q _{f(ortalama)} | : Ortalama akım değeri |
| Q _{fi} | : Uygulanan yöntemlerle elde edilen akım değeri |
| Q _t | : t anındaki debi |

| | |
|------------------|---------------------------|
| Q_{t+N} | : N gün sonraki debi |
| R^2 | : Determinasyon katsayısı |
| s_k | : Yüzeysel akış |
| S_X | : Standart sapma |
| TA | : Taban akışı |
| TAİ | : Taban akış indeksi |
| X_{\max} | : Maksimum değer |
| X_{\min} | : Minimum değer |
| X_{ort} | : Ortalama |
| YA | : Yüzeysel akış |
| y_i | : Dönüm noktaları |
| y_k | : Toplam akış |
| YSA | : Yapay sinir ağı |
| α | : Çekilme katsayısı |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 2.1. | Düzce yıllık yağışları | 19 |
| Şekil 2.2. | Büyük Melen Nehri ve Aksu Deresi | 20 |
| Şekil 2.3. | Çalışma alanı ve akım gözlem istasyonları | 21 |
| Şekil 2.4. | Bir hidrografın elemanları | 23 |
| Şekil 2.5. | Hidrografın çekilme eğrisinin üç bileşene ayrılması | 26 |
| Şekil 2.6. | Grafik yöntemlerle taban akışının ayrılması | 29 |
| Şekil 2.7. | Dijital filtreleme yönteminin akış diyagramı | 32 |
| Şekil 2.8. | İngiliz hidroloji enstitüsü yönteminin akış diyagramı | 34 |
| Şekil 2.9. | Base Flow İndex (BFI) Programının kullanıcı ara yüzü | 35 |
| Şekil 2.10. | Yapay sinir ağı modelinin temel yapısı | 37 |
| Şekil 2.11. | Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) genel ağ mimarisi | 40 |
| Şekil 2.12. | Taban suyu derinliği gözlem kuyularının konumları | 45 |
| Şekil 3.1. | 1302 nolu akım gözlem istasyonunun debi süreklilik eğrileri | 50 |
| Şekil 3.2. | 1340 nolu akım gözlem istasyonunun debi süreklilik eğrileri | 51 |
| Şekil 3.3. | 1339 nolu akım gözlem istasyonunun debi süreklilik eğrileri | 52 |
| Şekil 3.4. | 1302 nolu akım gözlem istasyonunun on yıllık dönemler halindeki debi gidiş eğrileri | 54 |
| Şekil 3.5. | 1340 nolu akım gözlem istasyonunun on yıllık dönemler halindeki debi gidiş eğrileri | 54 |
| Şekil 3.6. | 1339 nolu akım gözlem istasyonunun on yıllık dönemler halindeki debi gidiş eğrileri | 54 |
| Şekil 3.7. | DFM ve İHEY yöntemlerinin yüzeysel akış ve saçılma grafikleri | 59 |
| Şekil 3.8. | DFM ve İHEY yöntemlerinin taban akışı ve saçılma grafikleri | 60 |
| Şekil 3.9. | 1302 nolu İstasyonun DFM, İHEY ve M-İHEY akım sonuçlarının dağılımı | 63 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 3.10. | 1340 nolu İstasyonun DFM, İHEY ve M-İHEY akım sonuçlarının dağılımı | 64 |
| Şekil 3.11. | 1339 nolu İstasyonun DFM, İHEY ve M-İHEY akım sonuçlarının dağılımı | 65 |
| Şekil 3.12. | 1302 nolu istasyon için yüzeysel akış, taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri | 73 |
| Şekil 3.13. | 1340 nolu istasyon için yüzeysel akış, taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri | 78 |
| Şekil 3.14. | 1339 nolu istasyon için yüzeysel akış, taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri | 83 |
| Şekil 3.15. | Toplam akarsu akımının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları | 89 |
| Şekil 3.16. | DFM yüzeysel akışının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları | 90 |
| Şekil 3.17. | DFM taban akışının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları | 91 |
| Şekil 3.18. | İHEY yüzeysel akışının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları | 92 |
| Şekil 3.19. | İHEY taban akışının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları | 93 |

TABLolar LİSTESİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Tablo 2.1. | Düzce İli uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerler (1954-2013) | 19 |
| Tablo 3.1. | On yıllık dönemlerde zamanın %25, %50, %75, ve %100'ündeki debi sürekliliği..... | 49 |
| Tablo 3.2. | DFM ve İHEY yöntemleri ile belirlenen yüzeysel akış ve taban akışının bazı istatistiki değerleri | 56 |
| Tablo 3.3. | Yüzeysel akış, taban akışı ve taban akış indeksi sonuçlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması | 57 |
| Tablo 3.4. | Taban akış indekslerinin bazı istatistiki değerleri | 58 |
| Tablo 3.5. | DFM ve İHEY yöntemlerinin M-İHEY yöntemi karşılaştırılmasının istatistiki sonuçları | 62 |
| Tablo 3.6. | Akım tahmininde denenen yapay zeka tekniklerinin performansları (Dijital Filtreleme Yöntemi 1302 Nolu İstasyon) | 67 |
| Tablo 3.7. | Akım tahmininde denenen yapay zeka tekniklerinin performansları (İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi 1302 Nolu İstasyon) | 68 |
| Tablo 3.8. | 1302 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin istatistiki değerleri | 70 |
| Tablo 3.9. | 1302 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin performansının karşılaştırılması | 71 |
| Tablo 3.10. | 1302 nolu istasyon için taban akış indekslerinin (TAİ) istatistiki sonuçları | 72 |
| Tablo 3.11. | 1340 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin istatistiki değerleri | 75 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tablo 3.12. | 1340 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin performansının karşılaştırılması | 76 |
| Tablo 3.13. | 1340 nolu istasyon için taban akış indekslerinin (TAİ) istatistiki sonuçları | 77 |
| Tablo 3.14. | 1339 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin istatistiki değerleri | 80 |
| Tablo 3.15. | 1339 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin performansının karşılaştırılması | 81 |
| Tablo 3.16. | 1339 nolu istasyon için taban akış indekslerinin (TAİ) istatistiki sonuçları | 82 |
| Tablo 3.17. | CANFIS uygulaması ile belirlenen sağ sahil' deki taban suyu seviyelerinin karşılaştırılması | 86 |
| Tablo 3.18. | CANFIS uygulaması ile belirlenen sol sahil' deki taban suyu seviyelerinin karşılaştırılması | 87 |
| Tablo 3.19. | CANFIS uygulaması ile belirlenen tüm kuyular' daki taban suyu seviyelerinin karşılaştırılması | 87 |

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Akımın bileşenlerine ayrılması, yüzeysel akış, taban akışı, taban suyu derinliği, canfıs

Yayıllı kirletici kaynakların akarsudaki kirlilik yüküne etkisinin anlaşılabilmesi için, akım bileşenlerinin doğru olarak belirlenmesi önemli bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyaçtan yola çıkılarak yapılan bu çalışmada, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (CANFIS), toplam akımı yüzeysel akış ve taban akışı olarak bileşenlerine ayırma işleminde sıklıkla uygulanan matematiksel modellerden, Dijital Filtreleme (DFM) ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemlerine (İHEY) alternatif olarak kullanılabilirliği ve akım verileri kullanılarak taban suyu seviyesinin belirlenmesindeki başarısı incelenmiştir. Türkiye' nin Kuzey Batı Karadeniz Bölgesindeki Melen Havzası'nda bulunan ve ana havza ve alt havzayı temsil etmesi amacıyla seçilen Büyük Melen Nehri (ana havza) ve Aksu Deresine (alt havza) ait uzun dönemli günlük ortalama akım verileri önce DFM ($\alpha=0,830$) ve İHEY (N=5) yöntemleri kullanılarak bileşenlerine ayrılmış ve uygulamanın başarısı kontrol edilmiştir. Her iki yöntem ile belirlenmiş yüzeysel akış ve taban akışı değerleri, akım ayırma işleminde yeni bir alternatif olarak önerdiğimiz CANFIS' in, eğitim ve test verileri olarak kullanılmıştır. Elde edilen akım ve BFI sonuçları, DFM- CANFIS_{DFM} (Yüzeysel Akış $R^2=0,89-0,93$, Taban Akışı $R^2=0,87-0,91$) ve İHEY- CANFIS_{İHEY} (Yüzeysel Akış $R^2=0,78-0,92$, Taban Akışı $R^2=0,61-0,77$) uygulamalarının sonuçlarının önemli ölçüde benzer olduğunu ve 1339 nolu istasyonda en başarılı yüzeysel akış ve taban akışı tahminlerinin yapıldığını göstermiştir. Bununla birlikte CANFIS_{DFM} ve CANFIS_{İHEY} yöntemlerinin her ikisinde de, eğitim için kullanılan yöntemlerin yüzeysel akış ($R^2= 0,93-0,97$) ve taban akışı ($R^2= 0,91-0,97$), sonuçları üzerindeki etkilerinin sınırlı olduğu ve sonuçların önemli ölçüde benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca taban suyu derinliğini belirlemek için yapılan CANFIS uygulamalarının sonuçları sadece toplam akarsu akımı kullanılarak, taban suyu derinliğinin, kurak veya yağışlı dönemlerden etkilenmeksizin, başarı ile tahmin edilebileceğini göstermiştir ($R^2= 0,73$).

Sonuç olarak bu çalışma CANFIS' in DFM ve İHEY yöntemlerindeki çekilme sabiti ve minimum gruplarının eleman sayıları gibi parametrelere ihtiyaç duymadan, yüzeysel akış ve taban akışını belirlemede ve havzadaki taban suyu derinliğinin tahmin edilmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar yayıllı kaynakların akarsularda sebep olduğu kirliliğin belirlenmesinde, kirlilik önleyici çalışmaların planlanmasında ve uygulanmasında önemli katkılar sağlayacaktır.

INVESTIGATION OF APPROPRIATE HYDROLOGICAL MODELS THAT CAN BE USED TO FLOW SEPARATION OF MELEN BASIN TO DETERMINE THE NON-POINT POLLUTION

SUMMARY

Keywords: Separation of stream flow components, surface flow, base flow, groundwater depth, CANFIS

Determining the streamflow components accurately is an important requirement to understand the effects of non-point pollution sources in pollution of rivers. In this study this way the basis of necessity, usability of Co-Active Neuro-Fuzzy Inference System (CANFIS) as an alternative to the Digital Filtering (DFM) and United Kingdom Institute of Hydrology (UKIH) mathematical methods, which are frequently used for separating total stream flow into surface and base flow, and the success at prediction of groundwater depth using only stream flow data was examined. Long-term average daily flow data of Büyük Melen River (main basin) and Aksu Stream (sub-basin), selected to represent the main basin and sub-basin, in the Melen Basin of Turkey's Northern Black Sea Region was separated into surface flow and base flow flow components using DFM ($\alpha=0,830$) and UKIH ($N=5$) and success of the application was controlled. Surface flow and base flow values that identified by both methods are used as training and test data of CANFIS that proposed in this study as a new alternative in the separation of stream flow components. Obtained flow values and BFI results showed that estimations of DFM-CANFIS_{DFM} (surface flow $R^2=0,89-0,93$; base flow $R^2=0,87-0,91$) and UKIH-CANFIS_{UKIH} (surface flow $R^2=0,78-0,92$; base flow $R^2=0,61-0,77$) methods are significantly similar and the most successful surface flow and base flow estimations are obtained at gauging station 1339. In addition, it was understood that in both of the CANFIS_{DFM} and CANFIS_{UKIH} methods, the effects of the methods used for training were fairly limited on the surface flow ($R^2= 0,93-0,97$) and base flow ($R^2= 0,91-0,97$) values. In addition, the results of the CANFIS applications which are carried out to determine the groundwater depth revealed that the groundwater depth is estimated successfully using only the total stream flow data without affecting the dry or rainy periods ($R^2= 0,73$).

In conclusion, the study demonstrated that CANFIS may be used in the determination of surface flow and base flow without needing parameters required by the DFM and UKIH methods, namely recession coefficient and number of members in minimum groups, and estimation of groundwater depth in the basin. Obtained results from this study will make a significant contribution for the determination of pollution in rivers caused by non-point pollutants and planning and implementation of pollution preventive applications.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkelerin en önemli doğal zenginlikleri arasında yer alan su kaynakları tüm canlılar için vazgeçilemez sınırlı bir doğal kaynaktır. Dünyamızın %70'i sularla kaplı olmasına rağmen bu suların %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'i ise tatlı su olarak bulunmaktadır [1]. Tatlı suların ise sadece %0,3' ünü nehirler ve göllerin oluşturduğu düşünüldüğünde, yeryüzünde kolaylıkla faydalanılabilecek su miktarının oldukça kısıtlı olduğu anlaşılabilir.

Su kaynakları sınırlı miktarda olmasına karşın dünyadaki toplam su tüketimi son 50 yılda üç kat artış göstermiştir. Tatlı su ihtiyacı ise her yıl 64 milyar m³ artış göstermektedir [2]. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de suya olan talep artmaktadır. Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, eşdeğer su potansiyeli ortalama 501 milyar m³/yıldır. Bu suyun 274 milyar m³'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m³'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m³'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m³'lük suyun 28 milyar m³'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m³ su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m³ olmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m³ de dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m³ olarak hesaplanmıştır [1].

Ülkelerin su varlıkları su fakirliği, su azlığı ve su zenginliği şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre Türkiye su zengini bir ülke değildir. Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır [1].

Artan talebe karşın sınırlı miktarda bulunan ve kirlilik, küresel ısınma, nüfus artışı gibi faktörlerin olumsuz etkileriyle karşı karşıya olan su kaynaklarının etkin ve akılcı kullanılması bir zorunluluktur. Su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetiminin sağlanabilmesi için mevcut suyun miktar ve kalitesinin belirlenmesine ve su akışının anlaşılmasına yönelik çalışmalar oldukça büyük önem taşımaktadır.

1.1. Konunun Bilimsel ve Teknolojik Uygulamadaki Yeri

Su kaynaklarının yönetimi için yapılan planların başarısı, mevcut suyun miktar ve kalitesinin doğru bilinmesine bağlıdır. Su doğası gereği havza boyunca kirleticilerin taşınması için uygun bir alandır. Bu nedenle çevre sorunlarının doğru analiz edilebilmesi için su akışının anlaşılması oldukça büyük önem taşımaktadır. Akarsulardan alınabilecek ve deşarj edilebilecek su miktarının belirlenmesi, su alma yapılarının tasarımı, havza hidrolojisi ve yayılı kirletici kaynakların etkilerinin belirlenebilmesi, doğal arıtma sistemlerinin etkinliği, içme suyunun uzun vadedeki asitlik ya da tuzluluğunun belirlenmesi gibi çevre konularında, su akışının detaylı bir incelemesinin yapılması gereklidir [3]. Bu nedenle hidroloji alanında hidrograf bileşenlerinin doğru belirlenmesine yönelik çalışmalar uzun yıllardır sürmekte ve uygun teknikler geliştirilmeye devam edilmektedir.

Akışın bileşenlerine ayrılması çalışmaları hidrokimyasal izleyiciler ve çevresel izotopların kullanımı gibi alan çalışması ve gözlemleri ile başlasa da, çalışma alanının genişliğinden dolayı, bu yöntemlerin çok masraflı ve bazı havzalarda uygulanamaz olması hidrograf analizine dayanan yöntemlerin ön plana çıkmasını sağlamıştır [4, 5, 6].

Hidrografı bileşenlerine ayırma işlemlerinde kullanılan çeşitli teknikler bulunmasına rağmen, en çok önerilen yöntemler, gözlenmiş akış verilerinin filtrelenmesine dayanan, bilgisayar programları sayesinde pratik olarak uygulanabilen ve genellikle tekrarlanabilen sonuçların elde edildiği filtreleme yöntemleridir [6, 7, 8].

Akımın bileşenlerine ayrılmasının önemi kesin olarak kabul edilmektedir. Ancak bu işlem için kullanılan yöntemler konusunda henüz uluslararası bir fikir birliği

sağlanamamıştır. Özellikle bilgisayar programları sayesinde kolaylıkla uygulanabildiği için tercih edilen ve hidrograf analizine dayanan otomatik akım ayırma yöntemleri olan dijital filtreleme ve İngiliz hidroloji enstitüsünün önerdiği yuvarlatılmış minimumlar yöntemleri üzerindeki tartışmalar halen devam etmektedir [9]. Dijital filtreleme yönteminde kullanılan ve filtreleme işlemini önemli ölçüde etkileyen çekilme katsayısı ile İngiliz hidroloji enstitüsü yönteminde minimum akım değerlerini belirlemek için oluşturulan grupların eleman sayıları için, tüm havzalarda kullanılacak kesin değerler verilememesi, her iki yöntemin subjektif olarak görülen ve tartışılan yönleridir. Bundan dolayıdır ki, en çok kullanılan akım ayırma yöntemleri olmalarına rağmen, dijital filtreleme ve İngiliz hidroloji enstitüsünün önerdiği yuvarlatılmış minimumlar yöntemleri halen revize edilerek başarıları artırılmaya çalışılmakta ve tüm akarsularda başarı ile uygulanabilecek yeni yöntemler araştırılmaktadır [9, 10, 11, 12, 13].

Yeni bir yaklaşımla, mevcut akım ayırma yöntemlerinde ihtiyaç duyulan ve subjektiflik oluşturan parametrelerden bağımsız olarak, yüzeysel akış ve taban akışını belirleyebilmek için yapay zeka uygulamalarının kullanılması iyi bir alternatif oluşturmaktadır.

Çevre mühendisliği çalışmalarında yapay zeka uygulamalarının kullanımı özellikle fazla miktarda eleman, ekipman ve zaman gerektiren işlerin tüm bu gereksinimlere ihtiyaç duyulmaksızın yapılabilmesine olanak sağlar. Ayrıca geçmiş ve bugünkü durumu bilinen ancak gelecekteki durumunun bilinmesi ve böylece gerekli planlamaların yapılabilmesi çevre açısından çok önemli olan çalışmalarda yapay zeka uygulamaları başvurulabilecek en faydalı yöntem olarak görülmektedir.

Bu açıdan bakıldığında çevre mühendisliği alanında en çok ekipman ve zaman gerektiren uygulamalar arasında yer alan hidrolojik modellerin oluşturulması, yağış-akış ilişkilerinin belirlenmesi gibi konularda yapay zeka yöntemlerinin kullanımına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir.

Özellikle akım, yağış, sıcaklık gibi girdilerin kullanıldığı yapay zeka uygulamalarının, akarsu akımının tahmini, yağış-akış ilişkileri, yayılı kirleticilerin

etkilerinin belirlenmesi, arıtma sistemlerinin performansının belirlenmesi gibi önemli hidrolojik modellerde başarılı sonuçlar vermesi, bu uygulamaların akım ayırma işlemlerinde de etkili olarak kullanılabilceğini işaret etmektedir [14, 15].

1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

1.2.1. Akım ayırma ile ilgili yapılmış çalışmalar

Su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımı amacıyla yapılan planlamalar başta olmak üzere, çevre ve hidroloji alanındaki birçok çalışmanın başarıya ulaşabilmesi akım verilerinin analizinin doğru yapılabilmesine bağlıdır. Ancak akım verilerinin analizi ve özellikle toplam akımın bileşenlerine ayrılarak yüzeysel akış ve taban akışının belirlenmesi konusu son derece zor ve karmaşıktır. Başlangıçta, akımı bileşenlerine ayırma yöntemi olarak çok fazla zaman ve büyük maddi kaynak gerektiren saha çalışmaları denenmiştir. Fakat uygulanmasındaki çok çeşitli zorluklar nedeniyle günümüzde bu çalışmalar yerlerini matematiksel yöntemlere bırakmıştır. Özellikle bilgisayar programlarının gelişmesi ile birlikte matematiksel modeller literatürde yer alan bir çok çalışmaya konu olmuştur. Matematiksel modellere dayanan akım ayırma yöntemleri ile ilgili literatürden seçilmiş olan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Santhi ve ark. [16]. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde gerçekleştirdikleri çalışmalarında dijital filtreleme yöntemi ve yuvarlatılmış minimumlar yöntemini kullanarak günlük ortalama akış kayıtlarından taban akış indeksi ve hacmini belirlemişlerdir. Çalışmada taban akış indeksi ve hacmi ile hidrolojik tanımlayıcı değişkenler arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlar hidrolojik bölgelerin belirlenmesinde kullanılan tanımlayıcı değişkenlerin bu bölgelerdeki sığ yeraltı akışının ortalama hacmini belirlemek için kullanılabilceğini göstermiştir.

Welderufael ve Woyessa [17] Güney Afrika'da bulunan Modler Nehri Havzası'nda dört farklı yöntem kullanarak akarsu akışını incelemişlerdir. Çalışmada Nathan ve McMohan (N&M) metodu [18], Chapman metodu [19], Smakhtin ve Watkins (S&W) metodu [20] ve frekans analizi kullanılmıştır. Havzadaki dokuz yıllık taban

akışı ortalaması Nathan ve McMohan (N&M) metodu ile %75, Chapman metodu ile %69, Smakhtin ve Watkins (S&W) metodu ile %43 ve frekans analizi ile %69 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar nehrin büyük ölçüde yeraltı suyu deşarlarıyla beslendiğini işaret etmiştir.

Nejadhashemi ve ark. [21] beş farklı akım ayırma metodunun performansını ABD'nin güneydoğu sahil bölgesinde ölçülmüş olan yüzeysel ve yüzeyaltı akış verilerini kullanarak test etmişlerdir. Çalışmada birinci metod olarak Wittenberg ve Sivapalan [22], ikinci metod olarak Nathan ve McMohan [18] ve Mugo ve Sharma [23], üçüncü ve dördüncü metod olarak farklı iki varsayım kullanılarak gerçekleştirilen Bougton [24] tarafından önerilen metodlar, beşinci metod olarak ise Institute of Hydrology [25] tarafından geliştirilen yuvarlatılmış minimumlar yöntemi kullanılmıştır. Üçüncü ve dördüncü metodlar arasındaki temel fark; üçüncü metotta taban akışının yüzeysel akışın süresiyle ilgili olması, dördüncü metotta ise taban akışının yüzeysel akışın hacmiyle orantılı olmasıdır. Karşılaştırma sonuçları dördüncü metodun performansının en yüksek olduğunu göstermiştir. Bu çalışma sonucunda Boughton [24] metodu gibi deterministik/ampirik metodların doğruluğunun artırılabilmesi için uygun parametre değerlerinin gerekli olduğu sonucuna da ulaşılmıştır.

Collischonn ve Fan [6], Ekhardt [26] tarafından geliştirilen iki parametrelili dijital filtrede yer alan BFImax değerini tahmin etmek için geriye doğru filtreleme işlemini önermişler ve metodlarını Brezilya'daki yeraltı suyunun akarsuya katkısının farklı oranlarda olduğu 15 gözlem istasyonunun verilerini kullanarak incelemişlerdir. Bulgular geliştirilen yeni metodun nehir havzalarının jeolojik özelliklerini dikkate alarak uyarlanan değerlerle uyumlu olduğunu göstermiştir.

Koskelo ve ark. [9] küçük havzalarda yüksek maliyetli materyaller ve zaman alıcı tekniklerin yerine kullanılabilecek basit bir model sunabilmek için gerçekleştirdikleri çalışmalarında Sliding Average with Rain Record (SARR) olarak bilinen yağışa dayalı yeni bir yöntem tanımlamışlardır. SARR modeli United Kingdom Institute of Hydrology (UKIH) metodunun üzerinde bazı değişiklikler yapılarak küçük havzalara uyarlanmasıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen SARR modeli ABD'deki Choptank

Havzası'nın verileri kullanılarak test edilmiş ve sonuçları UKIH metodu sonuçları ile karşılaştırılmıştır. SARR modeli yıllık taban akış indeksini %10 daha yüksek hesaplarken, hidrokimyasal yöntemle karşılaştırıldığında ise daha düşük hesaplamıştır. Araştırmacılar SARR modelinin uygulanmasını kolaylaştırmak için sadece günlük yağış ve akış verilerine gereksinim duyan bir bilgisayar yazılımı da geliştirmişlerdir.

Kurt [27], İngiliz Hidroloji Enstitüsü'nün yuvarlatılmış minimumlar yöntemi (İHEY) ve onun revize edilmiş şekli (RİHEY) ile dijital filtreleme yöntemini (DF) Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki Filyos Havzası'nda yeralan üç akım gözlem istasyonunun günlük ortalama akım verilerine uygulamıştır. Çalışmada İHEY ve DF yöntemlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan ve günlük ortalama akım verilerini kullanan yeni bir taban akışı ayırma yöntemi (FİHEY) teklif edilmiştir. Kullanılan yöntemlerle taban akışı toplam akıştan ayrılmış ve taban akışı indeksi hesaplanmıştır.

Pektaş [28], İHEY, RİHEY ve DF yöntemlerini kullandığı çalışmasında İHEY için Delphi yazılım dili tabanlı bir program geliştirerek yöntemi kuruyan akarsular için düzenlemiştir. Program sayesinde İHEY'de geçen katsayı ve blok aralığının değiştirilmesinin mümkün olduğu bildirilmiştir. Yöntemler Ergene Havzası'nda bulunan üç akım gözlem istasyonunun 1964-1994 yılları arasındaki günlük akım verilerine uygulamıştır. Yöntemler birbirine yakın taban akışı sonuçları verse de, İHEY ve RİHEY ile bulunan taban akışının DF yöntemi ile hesaplanan taban akışı değerlerine göre büyük çıkma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.

Köken [29], çalışmasında Birleşik Krallık Hidroloji Enstitüsü tarafından geliştirilen taban akışı analizi, düşük akım debi-süreklilik eğrisi analizi ve debi-frekans analizi yöntemlerini Dicle Havzası'na uygulanarak istasyonlardaki önemli düşük akım karakteristiklerini belirlemiştir. Bu karakteristikler, ortalama akış, taban akış indeksi (TAİ); zamanın yüzde 50, 90 ve 95'inde aşılacak 1-günlük debiler (Q50, Q90, Q95), 7-günlük en düşük ortalama debi (MAM7), 2 ve 10 yıl tekerrürlü 7-günlük en düşük ortalama debi tahminleridir (2Q10, 7Q10). Çalışmada coğrafi yakınlık, mamba-mansap ilişkileri, beslenme koşulları gibi faktörler göz önünde bulundurularak, Dicle Havzası için bölgesel boyutsuz debi-süreklilik tip eğrileri ve boyutsuz düşük akım

frekans dağılımları geliştirilmiştir. Ayrıca havzada gözlem bulunmayan veya kısa gözlemi olan yerlerde kullanılabilecek, ortalama akış – yağış alanı ilişkileri ile Q95, MAM7 ve TAİ gibi kurak akış karakteristikleri arasındaki bölgesel ilişkiler elde edilmiştir.

Korkmaz [30], Bursa İli'nin önemli su kaynağını oluşturan Nilüfer Nehri Havzası'ndaki yüzeysel akışı simüle etmek için sayısal bir model olan MODCOU [31, 32] modelini kullanmıştır. Model sonuçlarının karşılaştırılması için Eckhardt [26] tarafından önerilen iki parametrelili dijital filtreleme yöntemi kullanılarak toplam akış hidrografından taban akışı ayrılmıştır. Sonuçlar dijital filtreleme yöntemi ile elde edilen değerlerin MODCOU modeli simülasyonları ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

1.2.2. Yapay zeka uygulamalarının hidrolojik modellerde kullanılması ile ilgili çalışmalar

Yapay zeka uygulamaları, içme suyu ve atık su arıtma tesislerinin işletilmesi, su alma yapılarının planlanması ve işletilmesi, su kalitesi kontrolü, havza koruma, evsel ve endüstriyel atık toplama ve bertarafı, geri dönüşüm ve temiz üretim teknolojilerin geliştirilmesi gibi çevre mühendisliği alanına giren bir çok işlemin planlanmasında ve sürdürülmesinde başarı ile kullanılmaktadır.

Aşağıda konu ile ilgili literatürden seçilen, yapay zeka yöntemleri kullanılarak yapılmış çalışmalar verilmiştir.

Sedki ve ark. [14] yağış akış tahmini için yapay sinir ağı (YSA) tabanlı genetik algoritmanın etkinliğini araştırmışlar ve yarı kurak iklimde yer alan bir havzada akış tahmini için uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada herhangi bir zamandaki akışı tahmin etmek için bundan bir önceki zamanda gözlenen yağış ve akış değerleri girdi olarak kullanılmıştır. Yöntem olarak geri yayılım algoritması ile gerçek kodlu genetik algoritma stratejisi birlikte uygulanmıştır. Sinir ağı tabanlı genetik algoritmanın performansını değerlendirmek ve bir kıyaslama yapmak amacıyla geri

yayımlı, sinir ağı kullanılmıştır. Çalışma sonuçları iyi eğitilmiş YSA modelinin akış tahmini için yararlı bir araç olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Cıgızoglu [33] çalışmasında Türkiye'nin Doğu Akdeniz bölgesindeki nehirlere ait günlük akım verilerinin tahmini ve ekstrapolasyonu için YSA uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada YSA yapısı olarak çok katmanlı algılayıcı ağ kullanılmıştır. Çalışmanın tahmin bölümünde bir günlük ve altı günlük ileriye dönük tahminler incelenmiştir. Çalışmanın diğer bir konusu YSA'nın ekstrapolasyon yeteneğinin araştırılmasıdır. Daha sonra YSA'nın genelleme yeteneğini araştırmak için eğitilmiş modelle farklı bir zaman serisinin tahmininde YSA uygulanmıştır. Çalışmada YSA'nın son uygulaması yakın istasyonlara ait veriler kullanılarak nehir akışının tahmin edilmesi olmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen grafikler ve istatistikler bir sinir ağı çözümünün klasik modellere kıyasla verilere daha iyi uyum sağlayabildiğini açıkça göstermiştir.

Besaw ve ark. [15] ölçümü olmayan havzalarda akışı tahmin etmek için iki yeni YSA geliştirmiş ve test etmişlerdir. Çalışmada ötelenmiş yağış ve sıcaklık kayıtları girdi olarak kullanılmıştır. Ayrıca tekrarlayan geribildirim döngüleri YSA'nın akış tahminlerinin de model girdisi olarak kullanılmasına olanak vermiştir. Metodları eğitmek ve test etmek için alt havzalara ait iklim ve akış verileri kullanılmıştır. İklim-akış verilerinin zaman serisi analizi, giriş verileri için uygun öteleme sayısının belirlenmesinde sistematik bir yöntem sağlamıştır. Ölçülmüş değerleri bulunmayan bir havzadaki akışı tahmin etmek için kullanılan YSA yakındaki bir havzanın iklim ve akış verileri ile eğitilerek akışı tahmin etmek için kullanılmıştır. Çalışmada lokal olarak ölçülmüş iklim verilerinin ötelenerek kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuçlar önerilen metodların en azından nemli ve ılıman iklime sahip bölgelerde geniş ölçüde uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Ulukaya [34] çalışmasında yağış-akış ilişkisini nonlinear olarak modelleyen ve fiziksel bir tabanı bulunan yeni bir model öne sürmüş, yeni modelin parametrelerini kullanarak yapay zeka teknikleri ile yeni modelin performansını araştırmıştır. Model performans kıyaslaması için birim hidrograf ve basitleştirilmiş iki boyutlu birim hidrograf gibi literatürdeki önemli lineer ve nonlinear modeller kullanılmıştır.

Sonuçlar en iyi akım tahminlerini yeni model girdilerini kullanan YSA modelinin ürettiğini göstermiştir.

Turan [35] geçmiş akımlardan ve memba akım ölçüm değerlerinden nehir akımlarının tahmini için yapay zeka teknikleri kullanmıştır. Çalışmada kullanılan yapay zeka teknikleri arasında ileri beslemeli geri yayılım YSA, genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağı, bulanık mantık yöntemleri bulunmaktadır. Kıyaslama amacıyla çok değişkenli regresyon analizi kullanılmıştır. Çalışmada geçmiş nehir akımları kullanılarak gelecekteki akım değerlerinin tahmini ve ölçüm yapılamayan akım gözlem istasyonundaki ölçümün kestirimi konularında uygulamalar yapılmıştır. Sonuçlar ele alınan iki konuda da yapay zeka tekniklerinin uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Şahin [36] ileri beslemeli geriye yayımlı sinir ağı, radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı sinir ağı ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı olmak üzere üç YSA metodu ve klasik yöntemlerden olan Çok Değişkenli Regresyon metodu ile yağış, sıcaklık, geçmiş akım değerlerini kullanarak, akım tahminleri yapmıştır. Elde ettiği sonuçları regresyon analizi sonuçları ile karşılaştırmış ve daha başarılı bulmuştur. Ekstrapolasyon yapılması gerektiğinde tercih edilmesi gereken YSA metodlarının daha ziyade ileri beslemeli geriye yayımlı sinir ağı ve radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı sinir ağı olduğunu belirlemiştir. Buna karşın bu iki metodun bazı durumlarda düşük akım değerleri için negatif tahminler verebildiğini, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı kullanıldığında ise bu sorunla karşılaşmadığını belirtmiştir.

Yılmaz ve ark. [37] karla kaplı alanların hakim olduğu dağlık Karasu Havzasında akış tahmini için YSA uygulamışlardır. Gerçek kar verilerinin mevcut olmaması nedeniyle havzadaki akış sadece temel meteorolojik veriler kullanılarak tahmin edilmiş ve modelde en iyi performansa ulaşmak için en iyi meteorolojik veri seti araştırılmıştır. YSA modeli 12 yıllık bir döneme ait kaydedilmiş akış verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Doğru modellemeye ulaşabilmek için model hem yıllık hem de mevsimlik veriler kullanılarak simüle edilmiştir. Mevsimlik veriler kullanıldığında model doğruluğunun önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Çalışmada model sonuçlarının ümit verici olduğu ve simülasyonların kar kalınlığına ya da karın

su eşdeğerine ait verileri içermesi halinde modelin doğruluğunun daha da artabileceği belirtilmiştir.

Mohanty ve ark. [38] alüvyonlu bir akifer sisteminde yeraltı suyu seviyelerini simüle etmek için geliştirdikleri YSA modelinin ve MODFLOW modelinin performansını değerlendirmişlerdir. MODFLOW modelinin kalibrasyonu 2 yıl 4 aylık bir döneme ait haftalık yeraltı suyu seviyesi verileri kullanılarak yapılmıştır. Modelin geçerliliği için ise bir yıllık yeraltı suyu seviyesi verileri kullanılmıştır. Modelin kalibrasyonu deneme-yanılma yöntemi ve otomatik kalibrasyonun kombinasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Geçerlilik dönemi için 18 gözlem kuyusundaki yeraltı suyu seviyeleri simüle edilmiştir. Ayrıca, gözlem kuyularında bir zaman basamağı ilerisine ait yeraltı suyu seviyelerini tahmin etmek için YSA modelleri geliştirilmiştir. YSA modelinin girdileri haftalık yağış, buharlaşma, nehir zemini, drenaj su seviyesi, pompalama oranı ve bir önceki zaman adımında bu kuyulardaki yeraltı suyu seviyelerinden oluşmuştur. MODFLOW modelinde kullanılan zaman aralıkları geliştirilen YSA modeli için de kullanılmıştır. MODFLOW ve YSA ile simüle edilen yeraltı suyu seviyeleri gözlenen yeraltı suyu seviyeleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar çalışma alanındaki yeraltı suyu seviyelerinin kısa süreli tahminlerinde YSA modelinin sayısal modele göre daha iyi tahminler sağladığını göstermiştir.

Bisht ve ark. [39] su tablası yüksekliği simülasyonu için YSA ve bulanık mantık uygulamışlar, aynı zamanda en iyi tahmin sonuçlarını veren modeli araştırmışlardır. Çalışmada 10 YSA modeli geliştirilmiş, modellerin eğitimi, test ve geçerliliği için Hindistan'ın Baudan bölgesine ait gözlenmiş veriler kullanılmıştır. Modellerin girdilerini yeraltı suyunun deşarj ve beslenme verileri, çıktısını ise su tablası yüksekliği oluşturmuştur. Gözlenmiş verilerle geliştirilen YSA ve bulanık mantık modellerinin sonuçlarının karşılaştırılması YSA ve bulanık mantık modellerinin doğru ve güvenilir sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

Bisht ve ark. [40] su tablası yüksekliğindeki dalgalanmaları simüle etmek için bulanık mantık ve ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) modelleri geliştirmişlerdir. Girdi olarak yeraltı suyunun beslenme ve boşalma verileri ile bir

önceki zaman basamağında gözlenen su tablası yüksekliği verilerinin kullanıldığı modelin, girdi olarak sadece yeraltı suyunun beslenme ve boşalma verilerinin kullanıldığı modele kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Sonuçlar ANFIS modellerinin performansının bulanık mantık temeline dayalı modellerden daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Ghose ve ark. [41] Back Propagation Neural Network (BPNN) ve Radial Basis Function Network (RBFN) modellerini kullanarak Hindistan'ın batı bölgesindeki çalışma alanında su tablası derinliğini tahmin etmişlerdir. Çalışma bölgesindeki su tablası dalgalanmalarını simüle etmek için BPNN modeli bölgedeki yeraltı suyu seviyesi kayıtları ve ilgili hidrometeorolojik veriler kullanılarak kalibre edilmiştir. Benzer şekilde RBFN modeli de 4 farklı istasyon için su tablası derinliği tahminlerini analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Çalışma sonuçları BPNN modelinin çalışma alanında olduğu gibi yetersiz yağış alan bölgelerde uzun süreli su tablası derinliği dalgalanmalarının tahmininde etkili olduğunu RBFN modelinin ise tahmin hatalarının BPNN modeline kıyasla daha yüksek düzeyde olduğunu göstermiştir.

Moumeni ve ark. [42] İran'daki Tajan ve Nekaroud nehirleri arasında yer alan ovadaki yeraltı su seviyesini tahmin etmek için YSA ve ANFIS kullanmışlardır. Sonuçlar çalışma alanında su derinliği sıfır olarak gözlenen kuyu verilerinin çalışmaya dahil edilmemesinin su derinliği tahminlerinin doğrulunu oldukça artırdığını ve her iki model sonuçlarının birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir. YSA ve ANFIS modelleri için korelasyon katsayısı sırasıyla 0.8416 ve 0.8593, ortalama hatanın karakökü ise 0.2667 ve 0.2491 olarak bulunmuştur.

1.2.3. Melen Havzası ile ilgili yapılmış çalışmalar

Melen Havzası ülkemizin ve bölgemizin en önemli havzalarından biridir. Bundan dolayıdır ki Melen Havzası'nın su miktarı ve su kalitesi literatürdeki birçok çalışmaya konu olmaktadır. Literatürdeki Melen Havzası'nda gerçekleşmiş ve bu çalışma kapsamında yürütülen uygulamalara katkı sağlayan çalışmalar ve içerikleri aşağıda verilmiştir.

Doğan ve ark. [43] Melen Nehri Havzası'nda 2001-2002 yılında toplanan ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) konsantrasyonunu etkileyen su kalitesi parametrelerini kullanarak YSA'nın BOİ tahmin etmedeki yeteneğini araştırmışlardır. BOİ tahmininde kullanılacak YSA modelinin geliştirilmesi için mevcut veri seti istasyonlara göre eğitim seti ve test seti olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. En uygun gizli tabaka bağlantı sayısının belirlenmesi için 2, 3, 5, 10 tabaka test edilmiştir. En uygun YSA yapısının 8 girdi ve 3 nodlu 1 gizli tabakadan oluşacağı belirlenmiştir. YSA tekniğinin Melen Nehri Havzası'ndaki BOİ değerlerini tahmin etme potansiyelini değerlendirmek için model sonuçları gözlenen BOİ sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar YSA modelinin BOİ tahmini için makul tahminler ürettiğini ortaya koymuştur.

Köklü [44] Melen Nehri su kalitesini değerlendirdiği çalışmada istatistiksel analiz yöntemleri ve yapay zeka tekniklerini kullanmıştır. Çalışmada istatistiksel analiz ve yapay zeka tekniklerinin çok boyutlu veri setlerinin daha yorumlanabilir hale getirilmesi için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Su kalitesinin değerlendirilmesi, yorumlanması, etkili kirletici parametreler ile kirletici kaynakların belirlenmesi, su kalitesinde etkili bir yönetim için çok değişkenli istatistiksel yöntemler ve yapay zeka tekniklerinin etkili yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır.

Akiner ve Akkoyunlu [45] Melen Havzası'nda YSA ile yağış tahmini performansını artırmak için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmada eksik değerlerin ve gelecekteki yağış değerlerinin tahmini için YSA kullanılmıştır. Bu amaçla Bolu ilinin aylık ortalama yağış değerleriyle Düzce ilinin sınırlı sayıdaki yağış verileri kullanılmıştır. Üretilen akış değerleri ile gerekli olan diğer mekansal ve zamansal veriler SWAT modelinde kullanılarak Melen Havzası'ndaki aylık akış modellenmiştir. Sonuçlar gözlenen değerlerle model simülasyonları arasında önemli bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Ertürk ve ark. [46] Melen Havzası'ndaki beş istasyondan temin edilen 26 parametreyi kapsayan su kalitesi değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ayrıca tek boyutlu bir su kalitesi modeli geliştirilerek havzada uygulanabilecek daha gelişmiş su kalitesi modelleri için bir temel oluşturulmuştur. Sonuçlar değerlendirilen

örneklerin NH_4^+ , BOD_5 , fekal streptokok, mangan, fenol açısından nispeten düşük kaliteli olduğunu, COD , PO_4^{3-} , toplam koliform, toplam askıda katı, civa ve toplam krom bakımından içme suyu temini için uygun olmadığını göstermiştir. Çalışmada ayrıca nehir boyunca yüksek bulunan azot ve fosfor konsantrasyonlarının yayılı besi maddeleri yükleri ile ilişkili olduğu, evsel ve endüstriyel atıksuların birlikte yönetilmesinin gerekliliği ifade edilmiştir.

Tavşan [47] Melen Havzası'nda arazi kullanım faaliyetlerinden kaynaklanan yayılı besi maddesi yüklerini tahmin ettiği çalışmasında havzayı 77 adet drenaj alanı ve 4 adet ana alt havzaya ayırmış ve buralardan gelen aylık besi maddesi yüklerini hesaplanmıştır. Havza drenaj alanlarına göre ele alındığında, tarım ve yerleşim başta olmak üzere çeşitli arazi kullanım faaliyetlerinden kaynaklanan yayılı besi maddesi yüklerinin idari sınırları Düzce İli merkez ilçeye dâhil olan drenaj alanlarından daha fazla geldiği belirlenmiştir. Alt havza bazında ise yayılı besi maddesi yüklerinin her ay için en fazla geldiği alt havzaların Küçük Melen ve Büyük Melen alt havzaları olduğu belirlenmiştir. Bu alt havzaları ise sırası ile Aksu ve Uğur alt havzaları izlemektedir. Küçük Melen alt havzasının alt havzalarına bakıldığı takdirde de en fazla yükün Küçük Melen ana kolu ve Asar alt havzalarından geldiği tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca yayılı kirliliği önlemeye yönelik olarak "En İyi Yönetim Uygulamaları" araştırılmış ve kısa vadede de olsa yayılı besi maddesi yüklerini azaltmakta faydalı olacağı belirlenmiştir.

Çelebi ve ark. [48], Melen Havzası'nda 2010 Eylül- 2011 Ağustos tarihleri arasında aylık olarak alınan yüzeysel ve yeraltı suyu örneklerini inceleyerek havza suyundaki metallerin sağlık açısından taşıdığı riski değerlendirmişlerdir. Yüzeysel sularda Al, B, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo ve V, yeraltı suyunda As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Mo, V ve Zn bulunmuştur. Yüzeysel sularda tüm metallerin risk düzeyinin altında olduğu tespit edilmiştir. Sindirim yoluyla tüketimden kaynaklanan riskin deri yoluyla alma riskinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Yeraltı suyunda arsenik miktarı 0,044 mg/L olarak gözlenmiştir. Arseniğin karsinojenik risk değeri uluslararası kabul edilen risk değerinden yüksek bulunmuştur. Yeraltı suyu tüketiminin karsinojenik risk değeri yetişkinlerde çocuklardan daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar Melen

Havzası gibi kirlenmemiş havzaların bile insan sağlığı açısından risk oluşturduğunu göstermiştir.

Şamandar [49] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Büyük Melen Nehri'nde ve kollarında Ekim 2000 - Eylül 2001 tarihleri arasında su kalite sınıfını belirlemek ve uygulanacak modellere veri sağlamak amacıyla her ay 11 noktadan numune alınarak analizler yapılmıştır. Bulunan sonuçlar Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Avrupa Topluluğu su sınıfları kalite kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler yıllık, kurak ve yağışlı dönem aritmetik ortalamaları göz önüne alınarak yorumlanmış bunlara bağlı olarak kirleticiler ve kirlilik kaynaklarının nedenselliği araştırılmıştır. Yine bu veriler kullanılarak nehre QUAL2EU ve QUAL2K su kalite modelleri uygulanmıştır. Model parametreleri çoğunlukla ölçülen değerlerle uyumlu çıkmıştır. Büyük Melen Nehri'nin içme suyu amaçlı kullanılabilmesi için bu matematiksel modeller yardımı ile farklı senaryolar üretilerek yapılması gerekenler ortaya konmuştur. Senaryo sonuçlarına göre Büyük Melen Nehir sisteminin kirlenmesinde yayılı yüklerin oldukça etkili olduğu görülmüştür.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Toplam akarsu akımının bileşenlerine ayrılarak yüzeysel akış ve taban akışının belirlenmesinin çevre ve hidroloji alanında yapılacak çalışmalardaki önemi gözönünde bulundurularak planlanan bu çalışmada, çalışma alanı olarak seçilen Melen Havzası dünyanın en kalabalık şehirlerinden biri olan İstanbul'un karşı karşıya kaldığı su kıtlığına çözüm olarak üretilen havzalar arası su transferinin kaynağını oluşturmaktadır. Havzadan sağlanan suyun 2040 yılına kadar İstanbul'un su ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılaması beklenmektedir. Bu kapsamda DSİ XIV. Bölge Müdürlüğu (İstanbul) tarafından Büyük Melen Çayı üzerinde Uğurlu Köyü mevkiinde regülatör inşa edilmiş olup, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğu 20.10.2007 tarihi itibari ile Büyük Melen Çayı'ndan içme suyu temin etmeye başlamıştır [50, 51]

Akarsularda istenilen su kalitesi standartlarının temin edilerek, havzanın sürdürülebilir yönetiminin sağlanabilmesi için, havzada etkili olan yayılı kirletici

kaynakların etki derecesinin belirlenmesi ve kontrol altına alınması gerekmektedir. Yayılı kaynakların kirletici yük üretimlerinin tespit edilebilmesi ve havzanın beklenen hedefleri karşılayabilmesi için yapılacak çalışmalarda, akım bileşenlerinin ayrılması ve bu amaçla kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi çok önemlidir. Bundan dolayı, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar bölgenin ve havzalar arası su transferinin kaynağı olan Melen Havzası'nın yönetiminde, kısa ve uzun vadeli planlamalarında yol gösterici ve yönlendirici olacaktır.

Melen Havzası'nda bulunan akım ölçüm istasyonlarından (1302, 1339 ve 1340 Nolu istasyonlar) temin edilen veriler kullanılarak yürütülen bu çalışma ile, Büyük Melen Nehri ve Aksu Deresi'nin akım hidrograflarının belirlenmesi, toplam akarsu akımının uygun yöntemler kullanılarak yüzeysel akış ve taban akışı olarak bileşenlerine ayrılması, günlük ortalama akışın yüzeysel akış ve taban akışı olarak bileşenlerine ayrılmasında diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiği görülen Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemlerinin aynı havzada bulunan farklı özellikteki (ortalama akım miktarı, su toplama alanı, ortalama yükselti) akarsulardaki kullanılabilme başarısının incelenmesi, akımın bileşenlerine ayrılması işlemlerine yeni bir yaklaşım olarak bugüne kadar akım ayırma çalışmalarında kullanılmayan yapay zeka tekniklerinden Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (Co-Active Neuro-Fuzzy Inference System (CANFIS)) kullanılarak yüzeysel akış ve taban akışının belirlenmesi ve elde edilen akım bileşenleri kullanılarak yapay zeka teknikleri ile taban suyu derinliğinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

2.1.1. Coğrafi konum

Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Melen Havzası $41^{\circ} 5' 00''$ - $40^{\circ} 40' 00''$ kuzey enlemleri ve $30^{\circ} 50' 00''$ - $31^{\circ} 40' 00''$ doğu boylamları arasında yer almakta olup, 2.437 km^2 'lik alanı kapsamaktadır. Havzanın büyük bir bölümü Düzce İli idari sınırları içindedir. Havzanın geri kalan küçük bir bölümü komşu Sakarya, Bolu ve Zonguldak İlleri'nin sınırları içerisinde yer almaktadır. Akçakoca hariç Düzce İline bağlı ilçelerin neredeyse tamamı havza sınırları içerisinde bulunmaktadır. Akçakoca İlçesi'nin ise küçük bir bölümü (bütün havzanın % 3'ünü meydana getirmektedir) havza içindedir [47, 52, 53].

Düzce İli'nin Akçakoca kıyı kesimi dışında kalan alanda yer alan akarsuların tümü, Batı Karadeniz havzasının bir alt havzası olan Melen Havzasına, ya da başka adıyla Efteni Havzasına aittir [54]. Bu nedenle Düzce İli ile ilgili özellikler Melen Havzası'nı da içermektedir.

2.1.2. Topografya ve jeomorfolojik durum

Havza genel olarak dağlar, ovalar ve platolardan oluşmakta olup, il topraklarının yaklaşık %61'ini kaplayan dağlar kuzeyden güneye ve batıdan doğuya giderek yükselirler. Batıda da kıyıya paralelliklerini yitirerek seyrekleşirler. Bu sıradağlar arasına vadiler ve ovalar girer. Karadeniz kıyı dağlarının batı kesiminde yer alan Düzce İli'nin % 86'sına karşılık gelen yaklaşık 2.200 km^2 'si dağlık ve engebeldir. Dağlar birçok yerde derin vadilerle yarılmıştır [51].

Düzce Ovası'nın güneyinde Elmacık dağlarının kuzey kesimi, doğusunda da Bolu dağlarının kuzeybatı kesimi Düzce İli sınırları içinde kalır. Elmacık dağları üzerinde yaylaların da yer aldığı doğu-batı yönünde uzanan dorukta, Kardüz yaylasında 1.830 m rakımlı tepe İl' in en yüksek noktasıdır. 1700 rakımlı Erenler tepe, 1699 rakımlı Mercan tepe ve 1368 rakımlı Yanık tepe İl'in diğer yüksek noktalarıdır. Bu zirvelerle rakımı 150 metre civarında olan ova arasındaki 4-5 km'lik kısa mesafelerde, yamaç eğimleri büyüktür [51, 55].

Elmacık dağının kuzeyinde Düzce fayı; güneyinde Kuzey Anadolu fayı yer almaktadır. Düzce Ovası ile Akçakoca arasında Kaplandede ve Orhan dağları yer almaktadır. Bu dağlarda en yüksek nokta 1.169 m ile Kaplandede tepedir. Bu yüksekliklerden kuzeye doğru arazi orta dereceli bir eğimle alçalarak denize ulaşır. Gölyaka, Gümüşova ve Cumayeri ilçelerinin batısı ile Sakarya ovası arasında rakımı daha düşük engebeler bulunur. Gölyaka'nın 8 km. batısındaki 943 rakımlı Muhappede tepesi bu kesimdeki en yüksek noktadır. Gümüşova batısındaki yükseltilerde rakımlar 500 m'nin altında kalır. Bolu dağlarının Düzce İli sınırları içinde kalan kesiminde Düzce'nin 24 km doğusundaki Karadikmen tepe 1388 m, bu tepenin 13 km kuzeydoğusundaki Tüllükiriş tepe ise 1657 metre rakımlıdır. Karadikmen tepeden kuzeye doğru gidildiğinde Yığılca'nın da bulunduğu Küçük Melen vadisine inilir. Yığılca'da vadi rakımı 330 m'dir. Bolu dağları daha tatlı eğimle, gittikçe alçalarak Nalbantlar-Sallar köyleri civarında ovayla birleşir [51, 55].

Çiçekli, Kocayayla, Şehirli Yayla, Odayeri, Torkul, Derinoba, Kelik, Topuk, Kütüklü, Pakı, Mantarlı, Sakarca, Oflu, Eğreltilik, Kardüz, Pürenli ve Abaza Yayla başlıca yaylalardır [51].

Küçük Melen Nehri, Asar Deresi, Uğur Deresi, Aksu Deresi, Büyük Melen Nehri, Kocası Deresi, Lahana Deresi, Hasanlar Baraj Gölü, Efteni Gölü Melen Havzası sisteminin bileşenlerini oluşturmaktadır [56].

2.1.3. Toprak yapısı ve arazi kullanımı

Düzce İlinde Büyük Melen Havzası'nda ovada alüvyal ve kollüvyal topraklar, Efteni Gölü çevresinde hidromorfik alüvyal ve ırmak yatağı toprakları, dağlık alanlarda ise sarı-kırmızı podsolik topraklar ile kireçli ve kireçsiz kahverengi orman toprakları bulunmaktadır [54, 57, 58].

Düzce Ovası hiçbir kısıtlayıcı etmen olmadan yoğun olarak kullanılabilir 1. Sınıf tarım arazisidir. Toprak-Su'nun araştırmalarına göre bu nitelikte arazi Türkiye'nin sadece % 3'ünü kaplamaktadır [57, 59]. Bugün bu miktar azalmıştır. Büyük Melen Havzasında dağlık alanlar ise iklimin uygunluğu nedeniyle çok çeşitli ve gür ormanlarla kaplıdır [54, 57].

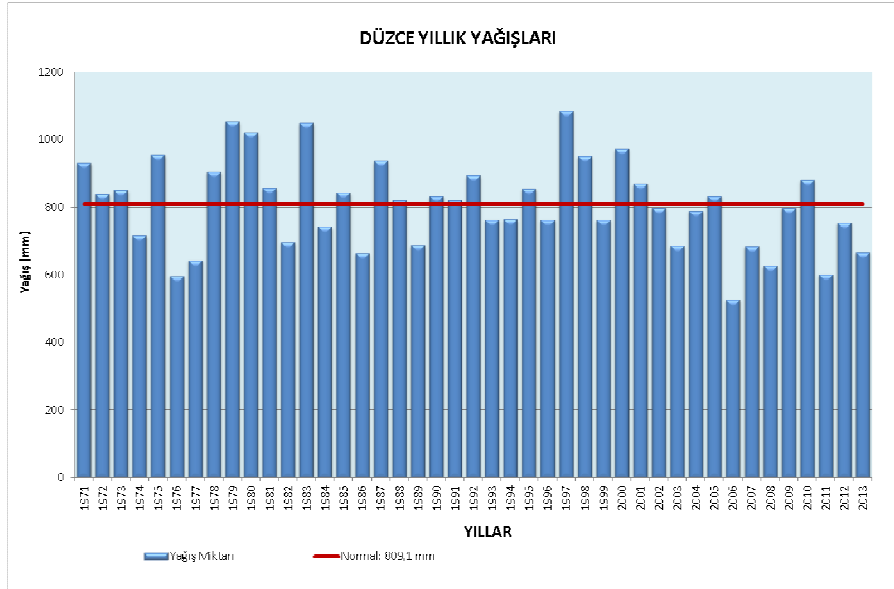
Düzce Tarım İl Müdürlüğü, 2012 verilerine göre; 256.700 ha genişliğinde olan toplam il arazisinin yüzde 35,62'si tarım arazisi, yüzde 47,78'i ormanlık ve fundalık, yüzde 0,81'i çayır ve mera, yüzde 15,82'si tarım dışı arazidir [54, 60].

2.1.4. İklim ve meteorolojik özellikler

Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Düzce ilinin iklimi Karadeniz İklimi ile Marmara Bölgesi'nde gözlenen Akdeniz İklimi arasında geçiş özelliği göstermektedir. Yazları sıcak geçerken kışları soğuk ya da ılık olabilmektedir. İlde aynı iklim tipi alanında yer alan bölümlerde yükselti ve yüzey şekilleri gibi bazı etkenler nedeniyle, farklı özellikler ortaya çıkar. Örneğin Batı Karadeniz iklim tipi içerisinde yer alan Akçakoca, Yığılca ve Düzce birbirinden farklı özellikler göstermektedir. Ormanlar, göller ve akarsuların bulunmasının yanı sıra Düzce'nin Karadeniz kıyısındaki konumu, kıyı boyunca uzanan dağların çok yüksek olmamalarından dolayı denizden kaynaklanan nemin tutulamayarak havza içine kadar ulaşması, bölgede yoğun yağışa neden olmaktadır [47, 61, 62].

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1971-2013 yılları arasındaki yıllık yağış miktarlarına ait veriler incelendiğinde Düzce İli'nin en

az yağışı 2006 yılında, en fazla yağışı ise 1997 yılında aldığı görülmüştür [63]. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Düzce yıllık yağışları [63]

Ayrıca Düzce İlinde 1954 – 2013 yılları arasında gözlenen bazı iklim parametrelerinin aylık ortalamaları Tablo 2.1’de verilmiştir.

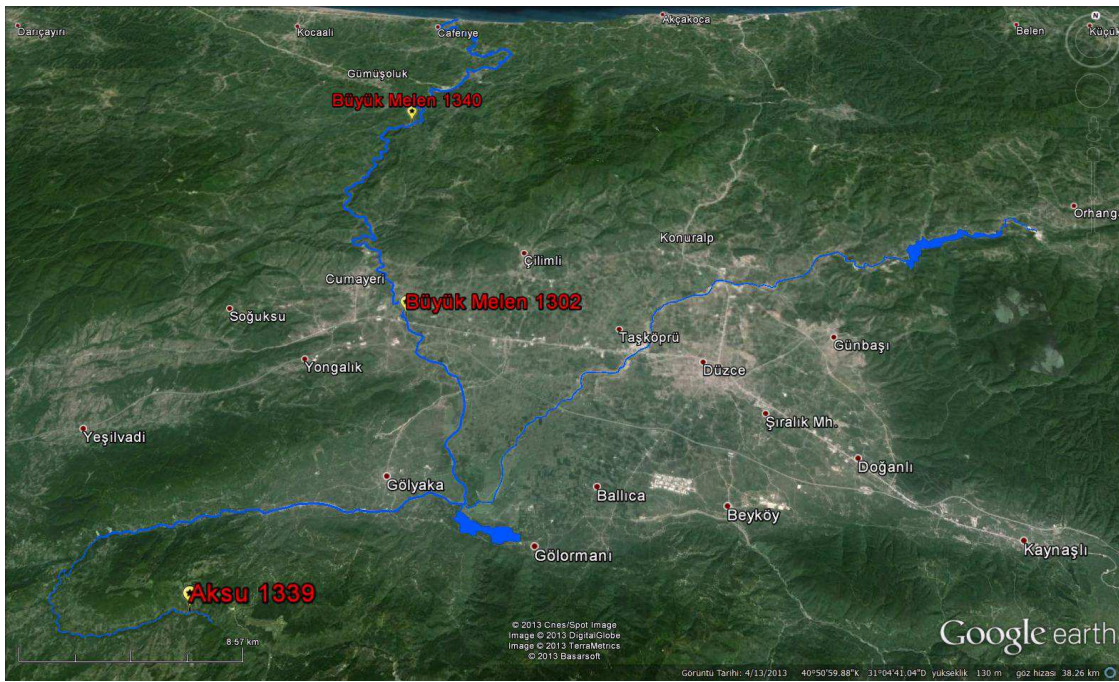
Tablo 2.1 Düzce İli uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerler (1954-2013) [63]

| (Ortalama) | O | Ş | M | N | M | H | T | A | E | E | K | A |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Sıcaklık (°C) | 3.8 | 5.1 | 7.7 | 12.3 | 16.7 | 20.5 | 22.6 | 22.3 | 18.6 | 14.3 | 9.5 | 5.8 |
| En Yüksek Sıcaklık (°C) | 8.0 | 9.9 | 13.3 | 18.7 | 23.3 | 27.0 | 28.9 | 28.9 | 25.7 | 20.7 | 15.4 | 10.2 |
| En Düşük Sıcaklık (°C) | 0.3 | 1.1 | 3.3 | 7.2 | 11.1 | 14.5 | 16.7 | 16.7 | 13.1 | 9.6 | 5.1 | 2.3 |
| Güneşlenme Süresi (saat) | 2.6 | 2.6 | 3.5 | 5.1 | 7.1 | 8.5 | 9.0 | 8.4 | 6.4 | 4.3 | 2.5 | 1.5 |
| Yağışlı Gün Sayısı | 15.3 | 13.6 | 13.7 | 12.4 | 11.5 | 9.4 | 6.3 | 6.0 | 7.5 | 10.9 | 12.1 | 15.4 |
| Aylık Toplam Yağış Miktarı (kg/m ²) | 87.5 | 69.7 | 74.5 | 60.3 | 59.5 | 56.4 | 42.9 | 50.9 | 49.8 | 80.6 | 83.1 | 101.9 |

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün verileri kullanılarak Düzce İli için 1970-2012 yılları arası yıllık ortalama sıcaklık değerleri (°C), Türkiye ortalama değerleri inceleme sonuçları ortalama sıcaklıklarda 2.6°C/100 yıl artış eğilimi olduğunu, aynı dönemdeki yağış miktarları (kg/m²) incelemeleri ise yağışlarda 189 mm/100 yıl olmak üzere bir azalış eğilimi olduğunu göstermiştir [54].

2.2. Çalışmada Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, Melen Havzası'nda bulunan akarsular üzerinde debi ve su kalitesi ölçümleri yapılan ölçüm istasyonlarından, Elektrik İşleri Etüt İdaresinin (EİE) 1302, 1339 ve 1340 nolu istasyonlarındaki geçmişe dönük uzun dönemli günlük ortalama akım verileri kullanılmıştır. Büyük Melen üzerinde bulunan 1302 nolu istasyon için 1980-2010 yılları arası, Aksu Deresi üzerinde bulunan 1339 ve yine Büyük Melen üzerinde bulunan 1340 no'lu istasyonlar için ise 1980-2005 yılları arasındaki günlük ortalama akım verileri alınmıştır. Büyük Melen Nehrinin orta bölümlerinde bulunan 1302 ve son bölümlerinde bulunan 1340 nolu istasyonlar ana havzayı, Aksu Deresi üzerinde bulunan 1339 nolu istasyon ise alt havzayı temsil etmesi açısından seçilmiştir.



Şekil 2.2. Büyük Melen Nehri ve Aksu Deresi

2.2.1. 1302 nolu istasyon

1302 nolu Büyük Melen-Yakabaşı akım gözlem istasyonu $30^{\circ} 59' 09''$ doğu - $40^{\circ} 51' 22''$ kuzey koordinatları arasında yer almaktadır. Yaklaşık yükseltisi 115 metre, yağış alanı 1988.0 km^2 'dir. 1980-2010 gözlem yılları arasında kaydedilen en küçük akım değeri $1,86 \text{ m}^3/\text{s}$ olup 19.09.1994 tarihinde, en büyük akım değeri ise $472 \text{ m}^3/\text{s}$ olup

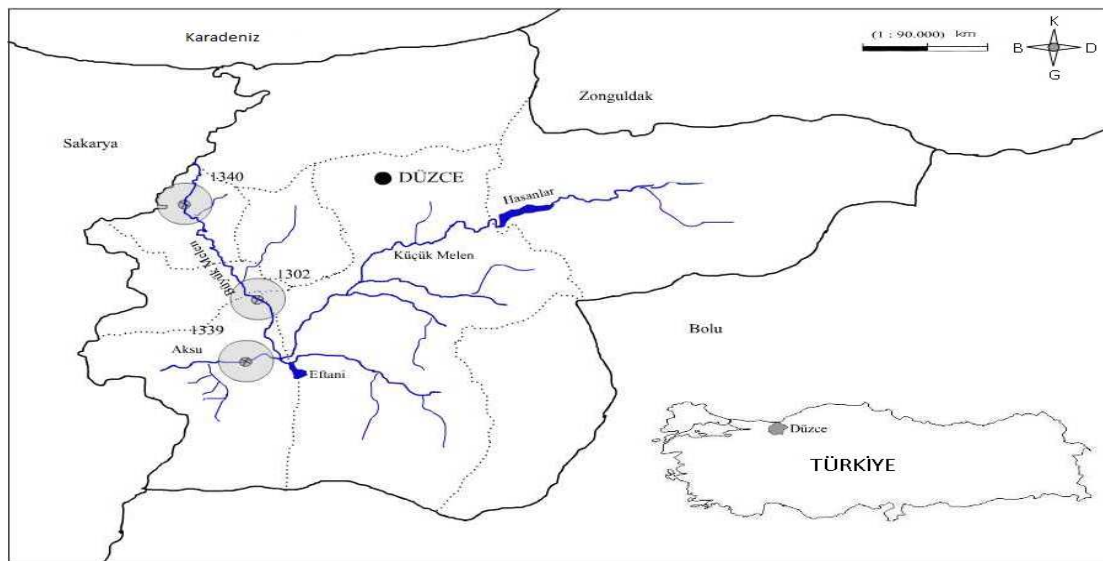
22.05.1998 tarihinde gözlenmiştir. Aynı dönemdeki ortalama akım değeri 36,35 m³/s'dir. 1302 nolu akım gözlem istasyonunun konumu Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

2.2.2. 1339 nolu istasyon

30° 55' 13" doğu- 40° 42' 55" kuzey koordinatları arasında bulunan 1339 nolu Aksu Deresi- Çiftekese akım gözlem istasyonu 105,2 km² yağış alanına sahiptir. Yaklaşık yükseltisi 634 m'dir. Gözlem süresindeki en küçük akım değeri 17.08.1998 tarihinde gözlenen 0,06 m³/s, en büyük akım değeri 30.01.1987 tarihinde gözlenen 75,80 m³/s, ortalama akım değeri 3,83 m³/s'dir. 1339 nolu akım gözlem istasyonunun konumu Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

2.2.3. 1340 nolu İstasyon

1340 nolu Büyük Melen-Beyler akım gözlem istasyonu 30° 57' 20" doğu- 40° 58' 58" kuzey koordinatları arasında yer almaktadır. 2174 km² yağış alanına sahip olan istasyonun yaklaşık yükseltisi 23 m'dir. Gözlem süresindeki en küçük akım değeri 6.10.1994 tarihinde gözlenen 2,1 m³/s, en büyük akım değeri 22.03.1998 tarihinde gözlenen 680 m³/s, ortalama akım değeri 48,89 m³/s olmuştur. 1340 nolu akım gözlem istasyonunun konumu Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Çalışma alanı ve akım gözlem istasyonları

2.3. Akımın Bileşenlerine Ayrılması

2.3.1. Akarsu akımını oluşturan akım türlerinin tanımlanması

Bir akarsu yatağına akım üç ayrı yoldan ulaşır. Bu su yollarındaki debilerin birbirine nazaran rölatif büyüklüğüne göre akım hidrografının şekli değişir. Bu debileri şöylece birbirinden ayırabiliriz: (1) Arazi yüzeyinden direkt yüzeysel akış; (2) Yeraltı su seviyesine ulaşmayan, fakat yeryüzü ile yeraltı su seviyesi arasındaki bölgede süratle akarak akarsuya kavuşan yağış suyu; (3) Yer altı suyunun akarsuya kavuşan kısmı. Bunun akarsuya ulaşabilmesi için aylar, hatta senelerin geçmesi gerekebilir [64].

Havzaya düşen yağıştan tutma, sızma, buharlaşma gibi kayıplar çıktıktan sonra geriye kalan kısım yüzeysel akış haline geçer. Yerçekimi etkisi ile arazi eğimine uyarak havzanın yüksek noktalarından alçak noktalarına doğru hareket eder. Yüzeysel akışı birçok etmen denetlemekle birlikte en önemlileri meteorolojik faktörler (yağış tipi, yoğunluğu, miktarı, süresi, yağışın drenaj havzası üzerindeki dağılımı, fırtına hareketinin yönü, daha önceki yağışlar sonucunda oluşan toprak nemi, sıcaklık, rüzgar, bağıl nem, ve iklim gibi buharlaşmayı etkileyen diğer meteorolojik koşullar), fiziksel faktörler (arazi kullanımı, bitki örtüsü, toprak tipi, drenaj alanı, havza şekli, yükseklik, özellikle eğim gibi topografik özellikler, drenaj ağı şekilleri, akışın havzada ilerlemesini önleyen ya da geciktiren göller, göletler, rezervuarlar vb. yapılar gibi) ve insan yapılarıdır [65, 66, 67]. Zemine sızan suyun bir kısmı zeminin üst tabakalarında (doymamış bölgede) ilerleyerek geçirimsiz bir tabakaya rastlayınca yüzeye çıkabilir, buna yüzeyaltı akışı denir. Zemine sızan suyun bir kısmı ise daha derinlere ilerleyerek yeraltı suyuna karışır ve sonunda yeraltı akışı şeklinde akarsuyu besleyebilir [68].

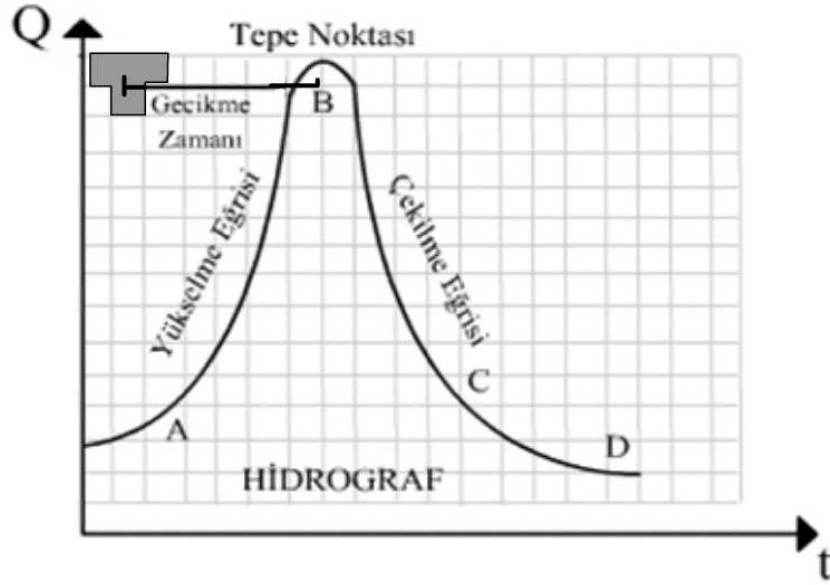
Herhangi bir anda akarsudaki suyun hangi bileşen olduğunun belirlenmesinin güçlüğü nedeniyle pratikte toplam akış akarsuya varış süresine göre dolaysız akış ve taban akışı olmak üzere iki bileşene ayrılır. Dolaysız akış; yüzeysel akış ile yüzeyaltı akışının gecikmesiz kısmından meydana gelir. Yüzeyaltı akışının büyük kısmı

dolaysız akışın içinde kabul edilir. Taban akışı ise yeraltı suyu akışı ve yüzeyaltı suyunun uzun süre sonra akarsuya ulaşan kısmından meydana gelir [69].

2.3.2. Hidrograf

Hidrograf bir akarsu kesitindeki akış miktarının zamanla değişimini gösteren grafikdir. Akış miktarı genellikle (debi) m^3/s cinsinden ifade edilir ve düşey eksende gösterilir.

Şekil 2.4'te bir yağışa ait tipik bir hidrograf ve elemanları görülmektedir [68]. Tipik bir hidrograf simetrik olmayan bir çan eğrisi şeklindedir ve üç parçadan meydana gelir. Bu parçalara yükselme eğrisi veya toplanma eğrisi, tepe ve alçalma eğrisi veya çekilme eğrisi adları verilir [70].



Şekil 2.4. Bir Hidrografın Elemanları

Yükselme eğrisi; AB boyunca görülen eğridir. Bu eğri boyunca debi zamanla artmaktadır. Bu eğrinin dikliği yağış özelliklerine, yağış öncesi şartlara ve havza özelliklerine göre değişir. Bu eğri genellikle yukarı konkavdır. Bunun sebebi yağışın başlangıcından itibaren zaman ilerledikçe havzanın yukarı kısımlarından gelen suların katkısının artmasıdır.

Tepe noktası; debinin maksimum olduğu noktadır. Pik noktası olarak da bilinir. Şekil 2.4’de B noktası olarak gösterilen bu nokta ile hidrografın ağırlık merkezi arasındaki zaman uzunluğuna gecikme zamanı denir.

Çekilme eğrisi; havzada biriken suyun yağış sonrası boşalmasına karşı gelir. Şekil 2.4’de BD eğrisi çekilme eğrisini göstermektedir. Eğri boyunca debi zamanla azalır. Yükselme eğrisine oranla yatık olan bu eğrinin şekli özellikle havzanın karakteristiklerine bağlıdır. Eğrinin üst kısmı yüzey kanallarından toplanan suyun boşalmasını ve yüzeyaltı akışını gösterir. Eğrinin taban akışını gösteren alt kısmı Şekil 2.4’de CD eğrisi ile gösterilmiştir. CD eğrisinin davranışı yağıştan yağışa çok az değişir [68].

Boussinesq tarafından 1877 ve Maillet tarafından 1905 yılında yürütülen çalışmalara kadar uzanan çekilme eğrisi analizleri havzanın depolama ve akifer özellikleri ile ilgili önemli bilgiler içerir [71, 72]. Çekilme eğrisinin incelenmesi sulama suyu, su temini, hidroelektrik santraller ve atıkların seyreltilmesi projelerinde kullanılan düşük akım değerlerinin tahmininde; yağış-akış modellerinin kalibrasyonu için matematiksel modellemede; akımın grafik yöntemlerle bileşenlerine ayrılması için hidrograf analizinde; düşük akım istatistiklerinin tahmini için yapılan frekans analizlerinde ve havzanın depolama kapasitesinin belirlenmesi için yapılan bölgesel akım çalışmalarında büyük önem taşır [27, 73].

Çok büyük havzalarda çekilme eğrisi düşen yağışa bağlı olarak değişebilir. Ancak kanalın fiziksel özellikleri ve zemin koşullarından çok etkilenir. Zemin koşulları sulak ve kurak mevsimlerde farklı olacağından hidrografın çekilme eğrisi kurak ve sulak mevsimlerde farklı davranışlar gösterecektir. Bir yağıştan sonra meydana gelen çekilme eğrisi devam ederken ikinci bir yağış meydana gelirse çekilme eğrisi bozulacak, hidrograf yükselmeye başlayacaktır. Tüm bunlara karşın çekilme eğrisi havzanın karakterini yansıtan yararlı bir hidrolojik araçtır [7, 27, 74].

Teorik araştırmalar ve deneye dayalı çalışmalar çekilme eğrisinin aşağıdaki eksponansiyel denklem ile ifade edilebileceğini göstermiştir.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{(-\alpha t)} \quad (2.1)$$

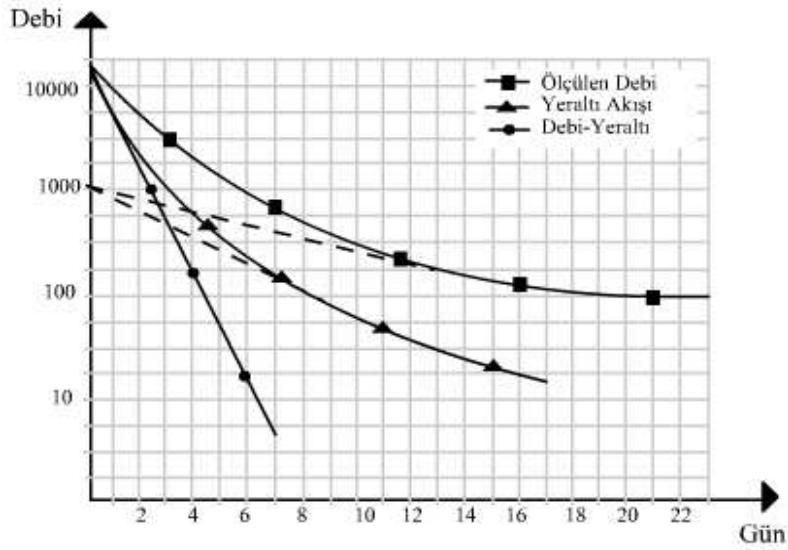
Bu denklemde; Q_0 , başlangıç değer debisi, Q_t , t anındaki debi ve α bir sabit olup $e^{-\alpha t}$, K çekilme sabiti ile simgelenebilecek bir terimi ifade etmektedir. Bu durumda denklem,

$$Q_t = KQ_0 \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir.

Toplam akışın üç ana bileşeni olan yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı, yeraltı akışının zaman eksenine karşı logaritmik olarak işaretlenerek ayrılabilceği bir çok çalışmada ifade edilmiştir. Bu çalışmalarda (2.1) denklemine uyan çekilmelerin yarı logaritmik kağıda bir doğru şeklinde çizilebileceği, bu doğrunun eğiminin ise çekilme sabiti (K) olacağı belirtilmiştir. Böylece üç ana bileşenin farklı eğimli doğrular olarak ayırt edilebileceği ifade edilmiştir [28, 75].

Ancak üç akış kaynağı arasındaki geçiş çok belirgin olmadığından bunları birbirinden ayırmak kolay değildir. Yine de çizilen eğrinin yeraltı akışına karşı gelen son kısmının geriye doğru uzatılması ile bu akış kaynağının toplam akış içindeki katsayısı belirlenerek toplam akıştan çıkarılmasından sonra geriye kalan eğriye de aynı işlem uygulanırsa (yani yer altı akışı çıkarılmış akış eğrisinin son kısmının geriye doğru uzatılması ile elde edilen değerler yüzeysel akış ve yüzeyaltı akışı toplamından çıkarılırsa), yüzeyaltı akışı ile yüzeysel akış da ayrılmış, böylece hidrografın çekilme eğrisinin üç bileşeninin ayrılması gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 2.5. Hidrografın çekilme eğrisinin üç bileşene ayrılması

Hidrografın çekilmesi sürekli değişen birçok etmen altında sürekli tekrarlayan çekilmelerin birbirini takip ederek ardı ardına gerçekleşmesidir. Bu yüzden, ardı ardına gerçekleşen çekilme olaylarını, taban akışı davranışını karakterize edecek şekilde belli parametrelerle ifade edebilmek için Ana Çekilme Eğrisi (AÇE) tanımlanmıştır. Ana çekilme eğrisinin elde edilmesinde iki yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır [28].

Korelasyon yönteminde hidrografın yeraltı suyu çekilme eğrisindeki Q_t değerleri Q_{t+N} (N gün sonraki akım) değerlerine karşı çift logaritmik grafik kağıdına işaretlenir. Bu noktalardan bir doğru veya eğri uygun bir şekilde geçirilir. Eğer bir doğru elde edilmişse bu doğrunun eğimi havzanın çekilme katsayısını verir [27].

Şerit birleştirme yönteminde incelenen hidrografların çekilme eğrisi kısımları şeffaf bir kağıda büyüklük sırasına göre peş peşe gelecek şekilde çizilir. Birbirini izler şekilde olan eğrilere alt taraftan çizilen zarf eğrisi havzanın ortak çekilme eğrisini verir. Bu eğri yarı logaritmik kâğıtta bir doğru şeklindedir ve eğimi çekilme katsayısına karşılık gelir [28].

Klaassen ve Pilgrim (1975) çekilme sabitinin yüzeysel akış için (0.2–0.8), yüzey altı akışı için (0.7–0.94) ve taban akışı için (0.93-0.995) aralığında olduğunu

göstermişlerdir. Buradaki aralıkların iç içe geçmesi akışın yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltı akışı olarak bileşenlerine ayrılmasının zorluklarını yansıtmaktadır [18,76].

Pratikte yüzey altı akışının, yağıştan hemen sonra akarsuya ulaşan kısmı yüzeysel akışa, geri kalan kısmı yeraltı suyu akışına katılarak hidrograf üç kısma değil iki kısma ayrılır. Birinci kısma dolaysız akış, ikinci kısma da taban akışı adı verilir [64,66].

2.3.3. Hidrografta taban akışının ayrılması

Akışın bölümlere ayrılması hidroloji biliminin önemli bir konusu olmuş, uygun teknikler ve bunu kontrol eden fiziksel faktörlerin belirlenmesi amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Nejadhashemi ve ark. [21] çok sayıda hidrograf ayırma teknikleri arasından 40 farklı akım ayırma yöntemini inceleyerek bunları üç bileşenli akım ayırma yöntemleri, analitik yöntemler, deneysel yöntemler, grafiksel yöntemler, jeokimyasal yöntemler ve otomatik yöntemler olarak sınıflandırmışlardır. Bu yöntemlerin herbirinin farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Üç bileşenli akım ayırma yöntemlerinin rutin uygulamalar için çok ayrıntılı olması, jeokimyasal ve deneysel yöntemlerin alana özgü bölgesel uygulamalara sahip olması, kullanılmalarının yüksek maliyet gerektirmesi ve büyük havzalara uygulanamaması gibi nedenlerle hidrograf incelemesine dayanan yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar içinde grafiksel yöntemlerin önemli bir yere sahip olması nedeniyle aşağıda bu yöntemler özetlenmiştir.

2.3.3.1. Grafiksel yöntemler

Grafiksel yöntemlerle taban akışı ve dolaysız akışı ayırırken önce dolaysız akışın başladığı ve bittiği anların belirlenmesi gerekir. Dolaysız akışın başlangıcı debide ani bir artış olarak görülür. Dolaysız akışın bittiği anı belirlemek için yarılogaritmik kağıda çizilen hidrografın gidişinin doğrudan ayrıldığı an bulunur. Dolaysız akışın başladığı nokta (Şekil 2.6'da A noktası) ile bittiği nokta (Şekil 2.6'da E noktası)

böylece belirlendikten sonra taban akışı ile dolaysız akışı ayıran çizgi çeşitli şekillerde çizilebilir [77].

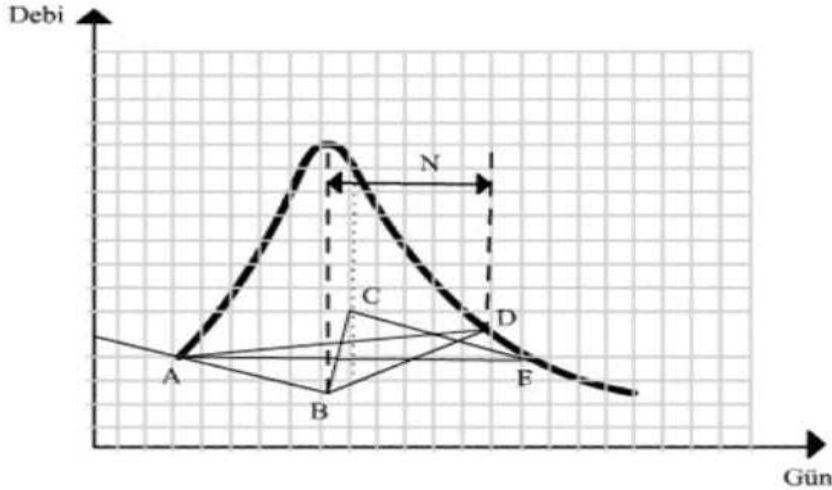
Düz çizgi yöntemi ya da sabit debi yöntemi olarak bilinen yöntemde bulunan A ve E noktaları bir doğru çizgi ile birleştirilir. Çizginin altında kalan alanın taban akışına karşılık geldiği kabul edilir. Şekil 2.6'da düz çizgi yöntemi AE çizgisi ile gösterilmiştir.

Değişken eğim yönteminde hidrografın yükselme eğrisinden önceki kısım aynı eğimle pik noktasının (Şekil 2.6'da B noktası) altına kadar uzatılır. Öte yandan çekilme eğrisinin doğrusal kısmı da aynı eğimle pik noktasından sonraki dönüm noktasının altına kadar uzatılır (Şekil 2.6'da C noktası). Bulunan A, B, C, D noktaları bir kırık çizgiyle birleştirilir. Eğrinin altında kalan alanın dolaylı akışı, üstünde kalan alanın ise dolaysız akışı verdiği kabul edilir. Şekil 2.6'da AB-BC-CE doğruları taban akışının değişken akım yöntemiyle ayrılmasını göstermektedir [7, 77].

Sabit eğim yöntemi taban akışının dolaysız akıştan ayrılması için kullanılacak diğer bir yöntem olup dolaysız akışın bittiği anın pik noktası anından uzaklığının formülle hesaplanmasıdır. Büyük havzalarda dolaysız akışın hidrografın tepe noktasından N_T gün sonra sona erdiği kabul edildiğinde bu değer aşağıdaki (2.3) formülü ile belirlenebilir.

$$N_T = bA^{0.2} \quad (2.3)$$

Bu formülde A havza alanı olup km^2 olarak alındığında $b=0,8-0,9$ olarak alınabilir. Bu yöntemde, akım hidrografında çekilme eğrisinin ikinci türevinin sıfır olduğu nokta olarak tanımlanan kırılma noktasından (Şekil 2.6'da D noktası) düz bir çizgi çizilerek taban akışının başladığı varsayılan A noktası ile birleştirilir [77]. Şekil 2.6'da bu yöntem AD doğrusu ile gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Grafik yöntemlerle taban akışının ayrılması [3].

2.3.4. Sürekli taban akışı ayırma yöntemleri

Yukarıda ifade edilen taban akışı ayırma yöntemleri genellikle taban akışının tek bir yağış sonrasında oluşan akımdan ayrılmasında kullanılmakta olup birden çok yağış dönemi bulunan uzun süreli akım dönemlerinde yapılacak hesaplamalarda grafiğin dönüm noktalarının tek tek belirlenmesi gerektiğinden kullanılması zordur ve havzanın sürekli davranışını modelleyememektedir. Bu nedenle sürekli taban akışı ayırma yöntemleri geliştirilmiştir.

Literatürdeki bir çok çalışmada araştırmacılar tarafından önerilen farklı sürekli akım ayırma yöntemleri mevcut ise de, “sayısal filtreleme” ve “yuvarlatılmış minimumlar” metotlarına dayanan, Dijital Filtreleme Yöntemi (DFM), İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (İHEY) ve bunların geliştirilmiş versiyonlarından oluşan yöntemler, uzun ölçüm dönemlerinde akımı yüzeysel akış ve taban akışı şeklinde ayırmak için kullanılan en iyi yöntemler olup diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmektedir [29, 78, 79, 80].

2.3.4.1. Sayısal filtreleme yöntemi

Sayısal filtreleme yöntemi akarsu akımının basit bir sinyal analizi ile yüzeysel akış ve taban akışı şeklinde ayrılması ilkesine dayanır. Toplam akış parçaları olan yüzeysel akış ve taban akışı frekansları farklı iki ayrı sistem olarak düşünülür. Bu

yöntemde hesaplamalarda kullanılan filtre katsayısının seçimi, yapılan ayırma işleminin doğruluğunda çok önemlidir. Literatürde filtre katsayısı için yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır. Genel olarak önerilen filtre katsayısı 0,90-0,95 aralığında olmaktadır [27].

2.3.4.2. Yuvarlatılmış minimumlar yöntemi

Yuvarlatılmış minimumlar yönteminde akarsu akımından önce taban akışı ayrılır. Daha sonra toplam akıştan taban akışı çıkarılarak yüzeysel akış belirlenir. Taban akışını ayırmak için mevcut akıma ait hidrografa basit yumuşatma ve ayırma yöntemleri uygulanır. Ölçümlerle elde edilen akarsu akım verileri birbiri ile çakışmayan gruplara ayrılır. En iyi sonucu almak için gruplamada kullanılacak eleman sayısı değiştirilerek denemeler yapılabilir. Ayrılan gruplarda yapılan inceleme sonucunda hidrografın dönüm noktaları tespit edilmeye çalışılır. Dönüm noktalarının birleştirilmesi ve ara noktaların tanımlanması ile sürekli bir taban akışı serisi elde edilmiş olur.

2. 4. Çalışmada Kullanılan Akım Ayırma Yöntemleri

Bu çalışmada sürekli akım verilerinin bölümlere ayrılması için literatürde kullanılan yöntemler araştırılmış ve en iyi sonuç veren yöntemler olan dijital filtreleme yöntemi ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Seçilen iki yöntem MATLAB programında yazılan kodlarla akım verilerine uygulanmış ve akım verileri yüzeysel akış ve taban akışı olmak üzere bölümlere ayrılmıştır. Çalışmada seçilen yöntemlerden dijital filtreleme yöntemi kısaca DFM, İngiliz hidroloji enstitüsü yöntemi de kısaca İHEY olarak adlandırılmıştır.

2.4.1. Yöntem 1: Dijital Filtreleme Yöntemi (DFM)

Dijital Filtreleme yöntemi akarsuyun toplam akışının yüzeysel akış ve taban akışı olmak üzere iki bileşene ayrıldığını varsayarak taban akışını hesaplamak için kullanılan algoritmadır [18, 19, 26]. Bu yöntemde toplam akışın taban akışı ve

yüzeysel akış olarak ayrılmasında kullanılan filtre denkleminin revize edilmiş birçok versiyonu bulunmaktadır.

Bu çalışmada dijital filtre denkleminin Chapman ve Maxwell (1996), tarafından revize edilmiş versiyonu olan denklem (2.4) kullanılmıştır [81]. Bu filtre denkleminin seçilmesinin nedeni, yüzeysel akışın taban akışından büyük ve eşit olduğu durumlarda daha kullanışlı olmasıdır. Yapılan filtreleme işlemi ile taban akışı bulunduğundan sonra denklem (2.5) kullanılarak yüzeysel akış hesaplanmıştır.

$$b_k = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot b_{k-1} + \frac{1-\alpha}{1-\alpha} \cdot y_k \quad (2.4)$$

$$s_k = y_k - b_k \quad (2.5)$$

Denklem (2.4) ve (2.5)' de bulunan

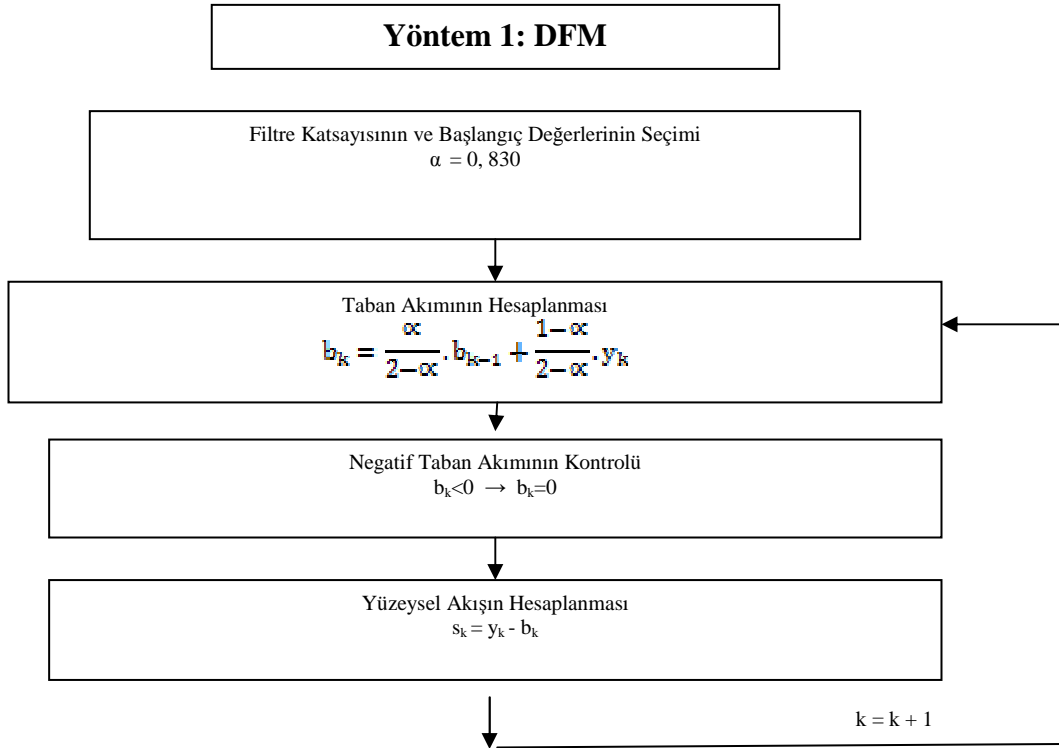
b_k : taban akışını,

y_k : toplam akışı,

s_k : yüzeysel akışı

α : çekilme katsayısını belirtir.

Çekilme katsayısı için çekilme incelemeleri sonucunda bulunan ve literatürde verilen ideal değer aralığı 0,900-0,950 olmasına rağmen bir çok çalışmada farklı filtre parametrelerinin iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir [13]. Bu çalışmada toplam akımın yüzeysel akış ve taban akışına ayrıldığı filtreleme işleminde filtre katsayısı $\alpha=0,830$ olarak alınmıştır. Birinci yöntem olarak kullanılan dijital filtreleme yönteminin uygulama adımları Şekil 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2.7. Dijital filtreleme yönteminin akış diyagramı

2.4.2. Yöntem 2: İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (İHEY)

İngiliz Hidroloji Enstitüsü tarafından sürekli akım görülen akarsuların verileri kullanarak geliştirilen bu yöntem, temel olarak akarsu akışının tamamen taban akışı tarafından beslendiği zamanların belirlenmesi esasına dayanır [10].

Toplam akımın günlere göre grafiği çizildiğinde, akarsuyun sadece taban akımıyla beslendiği günlerin grafiğin minimum noktaları olduğu görülür. Bu noktalara dönüm noktaları denir [10].

Uzun süreli akım verilerinin kullanıldığı bu çalışmada dönüm noktalarının belirlenebilmesi için akım değerleri birbirleri ile çakışmayan, ardışık gruplara ayrılmıştır. Bu grupların eleman sayısı N ile gösterilmiştir. Grupların eleman sayıları havza genişliği ile alakalı olup aşağıdaki denklem (2.6) kullanılarak belirlenmektedir.

$$N = 1,6.A^{0,2} \quad (2.6)$$

Bu formülde A km² cinsinden havza alanını göstermektedir. Bu çalışmada eleman sayısı beş olarak alınmıştır.

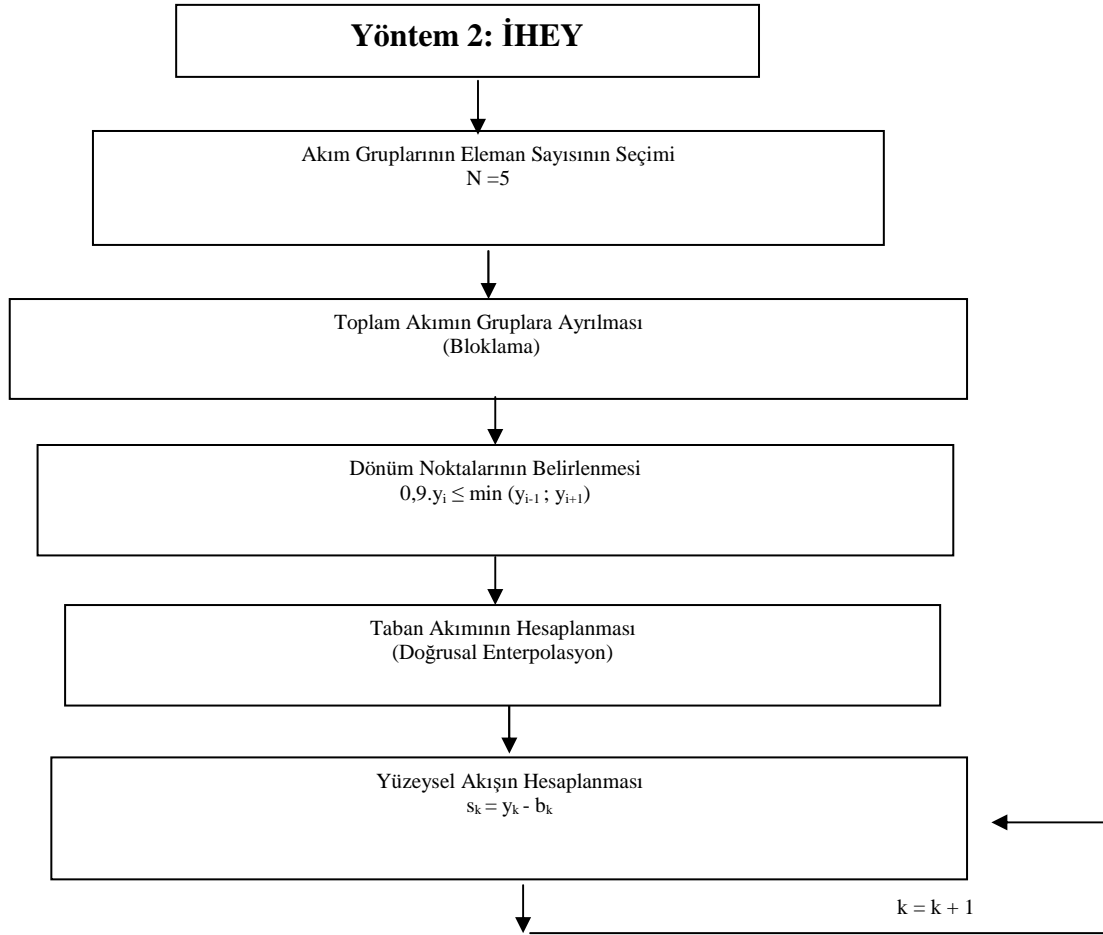
Oluşturulan gruplardaki minimumlardan literatürde de belirtildiği üzere grup içerisinde bir seri oluşturulmuş (y_i , $i = 1, 2, 3, 4, \dots$) ve denklem (2.7) ile yapılan karşılaştırma ile dönüm noktaları belirlenmiştir [12, 25, 82, 83].

$$0,9 y_i \leq \min (y_{i-1} , y_{i+1}) \quad (2.7)$$

Dönüm noktaları belirlendikten sonra, ardışık dönüm noktaları bir doğru ile birleştirilerek arada kalan günler için taban akışı değerleri hesaplanmıştır. Bazı günlerde hesaplanan taban akışının toplam akışı geçtiği veya negatif bulunduğu durumlar görülmüştür.

Taban akışının toplam akışı geçtiği durumlarda toplam akış taban akışına eşitlenmiş, eksi olduğu durumlar için ise sıfır alınmıştır. Literatürde hesaplamalarda bu iki durumda da karşılaşılabileceği belirtilmektedir [11].

Akımın bölümlere ayrılmasında ikinci yöntem olarak kullanılan bu yöntemin uygulama adımları Şekil 2.8'de belirtildiği gibidir.



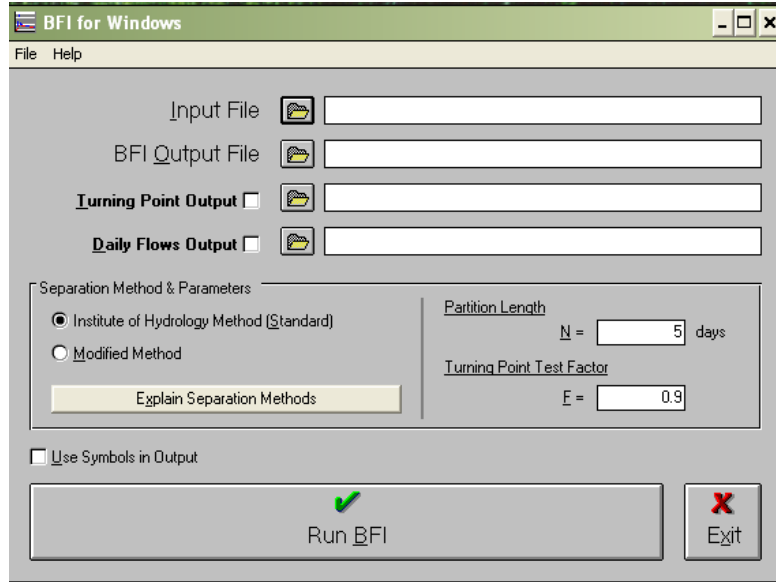
Şekil 2.8. İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yönteminin Akış Diyagramı

2.5. Çalışmada Kullanılan Akış Ayırma Yöntemlerinin (DFM ve İHEY) Doğruluğunun Test Edilmesi

Bu çalışmada akım gözlem istasyonlarından alınan günlük akım değerlerinin yüzeysel akış ve taban akışı olarak bölünmesinden elde edilen sonuçlar, toplam akımı bölme işlemi için kullanılan DFM ve İHEY yöntemleri sonuçlarının birbirleri ve akım bölme işlemi için kabul görmüş bir program olan ve Amerika Birleşik Devletleri İç İşleri Bakanlığı Su Kaynakları Islah Bürosu tarafından geliştirilen Base Flow Index (BFI) programı kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak test edilmiştir.

BFI (Base Flow Index) 1988 yılında hazırlanmış ve ilk olarak Oklahoma Panhandle' deki taban akışı eğilimlerini belirlemek için kullanılmıştır [84]. Programdan elde

edilen sonuçlar umut verici bulunmuş ve günümüze kadar program geliştirilmeye devam edilmiştir. Program bugün halen Amerika Birleşik Devletleri İç İşleri Bakanlığı Su Kaynakları Islah Bürosu tarafından kullanılmakta ve kurumun resmi internet sitesinde yayınlanmaktadır [85].



Şekil 2.9. Base Flow İndex (BFI) programının kullanıcı ara yüzü [85]

FORTTRAN programlama dili ile yazılan ve kullanıcı ara yüzü şekil 2.9' da görülen BFI programı başlangıçta İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi kullanılarak yazılmış, daha sonra yapılan geliştirme çalışmaları kapsamında yöntemin verimi artırılmış ve programın son algoritması olarak İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yönteminin modifiye edilmiş bir versiyonu ortaya çıkmıştır [86]. Bu yüzden bizim çalışmamızda bu yöntem M-İHEY (Modifiye İHEY) olarak isimlendirilmiştir.

BFI programına kullanıcı ara yüzü sayesinde günlük akım verilerini yüklenir ve taban akışı, taban akış indeksi ve bu değerlere ait bazı istatistikler çıktı olarak elde edilir. Program aynı zamanda ardışık yıllar boyunca sürekli işleyebilir ve sadece verilerin tam olduğu yıllar için hesaplama yapar. Böylece her bir su yılının başlangıç ve bitişine yakın değerler de analizin dışında kalmamış olur. Ayrıca BFI programının, minimum noktaları belirlemek için oluşturduğu grupların eleman sayıları farklı havzalarda da etkin şekilde kullanılması ve farklı akım ayırma

yöntemleri ile eşleştirilmesine olanak sağlaması için farklı değerler verilerek değiştirilebilir.

2.6. Toplam Akışın Bölümlerine Ayrılmasında Yapay Zeka Tekniklerinin Kullanılması

Tüm çalışma alanlarında çok geniş bir uygulama alanı olan yapay zeka kavramının bir çok tanımı bulunmaktadır. Tüm benzer tanımlarından yola çıkılarak yapay zeka, bilgisayar biliminin, anlayabilen, öğrenen, problem çözme yeteneğine sahip bilgisayar sistemleri tasarlamak amacıyla çalışan bölümü şeklinde tanımlanabilir. Yapay zeka modelleri insan aklının çalışma prensiplerinden esinlenerek ortaya atılmıştır. Bu yüzden ki bu modellerin geliştirilmesi, insanın düşünme yapısının çözümlenmesindeki gelişmelerle birlikte artış göstermiş ve göstermeye devam etmektedir. Yapay zekanın gelişmesi ve farklı alanlarda kullanılması değişik yapay zeka tekniklerinin oluşmasını sağlamıştır. Bu tekniklerden en yaygın kullanılanları,

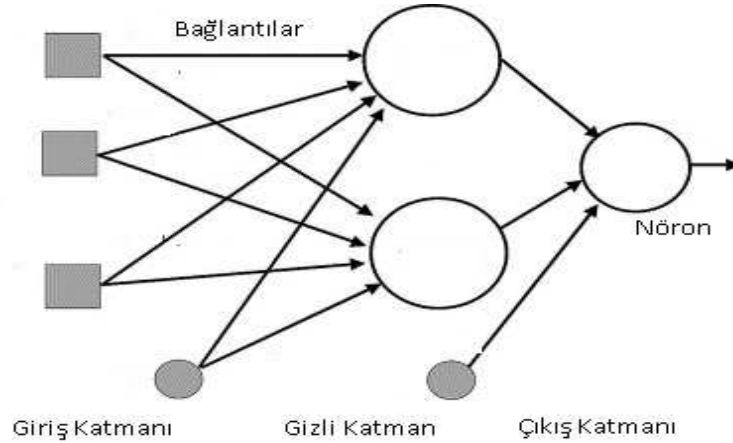
- Uzman Sistemler
- Yapay Sinir Ağları
- Bulanık Mantık
- Geleneksel Olmayan Optimizasyon Teknikleri (genetik ve hybrid algoritmalar gibi)

şeklinde sıralanabilir [87].

Uzman sistemler, bir uzmanın bilgi, görüş ve tecrübelerine dayanan, önceden oluşturulmuş kurallar sistemi olarak tanımlanabilir. Bu yüzden uzman sistemler kural tabanlı yapay zeka sistemleri olarak ifade edilirler. Uzman sistemlerin işleyişi önceden oluşturulan kurallar izlenerek sisteme yüklenen bilgiler ışığında bir neden – sonuç ilişkisi kurulması şeklinde gerçekleşir [88].

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir ağları taklit edilerek geliştirilmeye çalışılan ve verilen girdilere karşı, değişik bağlantı geometrileri ile birbirine bağlanmış yapay sinir ağlarını kullanarak çıktılar üreten sistemlerdir. Yapay sinir ağlarının sistem girdilerini kullanarak istenen çıktılara ulaşmak için yürüttüğü temel işlemlere

öğrenme denir. Bu sistemde kullanılan birçok öğrenme modeli bulunmakta ve en az girdi ile en etkili öğrenmeyi gerçekleştirebilecek modeller geliştirilmeye devam etmektedir. Kullanılan yapay sinir ağının öğrenme modelinin başarısı, modelin tahmin yeteneğini artırmakta ve çıktılarıdaki toplam hata oranını azaltmaktadır [35, 89].



Şekil 2.10. Yapay sinir ağı modelinin temel yapısı [90]

Basit bir yapay sinir ağının temel yapısı Şekil 2.10' da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bir yapay sinir ağı nöronlar, yan yana dizilmiş nöronlardan oluşan katmanlar ve katmanları bağlayan bağlantılardan oluşmaktadır. Kullanılan katmanlardan girdilerin girildiği katmana girdi katmanı, çıktıların oluştuğu katmana çıktı katmanı ve bu katmanlar arasında bulunan katmanlara ise gizli katman adı verilir [35, 90].

Bulanık mantık, uzman bilgisinin kullanıldığı kurallı bir sistemdir. Mantık sistemleri uzman sistemler gibi kural tabanlı sistemler olarak ele alınmasına rağmen, bulanık mantıkta kullanılan nitelendirmelerin kesin olmaması ile uzman sistemden önemli ölçüde ayrılır. Bunun nedeni günlük hayatta kullanılan nitelendirmelerin büyük çoğunluğunun kesin olmamasıdır. Bulanık mantık sistemleri sahip olduğu uzmanlık sonucu insan gibi karar verebilmeye en yakın sistemler olup, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalarla desteklenerek nöral bulanık sistemleri ve genetik bulanık sistemleri oluştururlar. Bu özellikleri ve yazılımlarının kolay olması, bulanık mantık sistemlerinin uygulama alanlarını genişletmiş ve uygulama başarılarını arttırmıştır [88].

Genetik algoritmalar, doğada var olan biyolojik seçim sistemlerinden üreme, çaprazlama, mutasyon gibi evrim operatörlerini içeren bir arama algoritmasıdır. Genetik algoritmalar, doğrudan parametreler yerine, kodlanmış parametre dizileri ile çalıştığından, uygulamalarda problemlerin değişken optimizasyon problemi gibi çözümlenmesini sağlar [88].

Uzman sistemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritmalar ile bilim, sanayi, tıp, eğitim gibi bir çok alanda yapay zeka uygulamaları yapılmaktadır. Bu uygulamalarda kimi zaman bu yapay zeka modelleri kullanılırken, bazı uygulamalarda bu sistemlerin bir veya birkaçının birleşiminden oluşan hibrid sistemler tercih edilmektedir. Bu tercihin başlıca nedeni uygulamanın ihtiyaç duyduğu modele en yakın sistemin kullanılması, toplam hata oranı azaltılarak en doğru sonuçların elde edilmeye çalışılmasıdır.

2.6.1. Çalışmada kullanılan yapay zeka modelinin seçimi

Yapay zeka modelleri yağış-akış ilişkilerinin belirlenmesi, hidrolojik modellerin oluşturulması ve test edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak yapay zeka modellerinin fazlalığı ve bu modellere her geçen gün yenilerinin eklenmesi nedeniyle, yapılacak uygulamada en az hata oranıyla çalışan ve en başarılı tahminleri yapan yapay zeka modelinin kullanılması önemlidir. Literatürde genellikle yağış-akış ilişkileri ve diğer hidrolojik olayların tahmininde kullanılan yapay zeka modelinin kendi içindeki hata oranı ve başarısı dikkate alınmış, diğer yapay zeka teknikleri ile mukayeseleri çok sınırlı kalmıştır. Ancak özellikle belirsizliklerin fazla olduğu yağış-akış ilişkisi ve hidroloji çalışmalarında, yapılan uygulamanın ve kullanılan yapay zeka tekniklerinin, diğer yapay zeka teknikleri ile tekrarlanıp kullanılan yapay zeka tekniğinin seçimindeki belirsizliğin ortadan kaldırılması ve seçim kriterlerinin net olarak ortaya konulması gerekir.

Bu çalışmada kullanılacak yapay zeka tekniğinin belirlenmesi amacıyla 1302 nolu istasyonun günlük ortalama akım değerleri ile DFM ve İHEY yöntemlerinin yüzeysel akış ve taban akışı değerleri kullanılarak aşağıda belirtilen yapay zeka teknikleri

denenmiştir. Yapılan bu denemelerin sonucunda, toplam akarsu akımı kullanılarak, yüzeysel akış ve taban akışının belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, akımı bileşenlerine ayırma işleminde daha önce hiç denenmemiş olan Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (Co-Active Neuro-Fuzzy Inference System (CANFIS))' nin kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışmada kullanacak yapay zeka tekniğinin belirlenmesi amacıyla yapılan denemelerde kullanılan yapay zeka yöntemleri aşağıda verilmiştir.

1. Çok Katmanlı Algılayıcılar (Multiplayer Perception)
2. Genelleştirilmiş İleri Beslemeli Ağlar (Generalized Feed Forward)
3. Modüler Yapay Sinir Ağları (Modular Neural Network)
4. Jordan/Elman Ağları (Jordan/Elman Network)
5. Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis)
6. Radyal Temelli Yapay Sinir Ağları, Genelleştirilmiş Regresyon Ağları, İstatistiksel Yapay Sinir Ağları (RBF/GRINN/PNN Network)
7. Kendi Kendine Öğrenen Nitelik Haritaları (Self-Organizing Feature Map Network)
8. Zaman Gecikmeli Yapay Sinir Ağları (Time-Log Recurrent Network)
9. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (Recurrent Network)
10. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (Canfis Network)

2.6.2. Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (CANFIS) ve çalışmadaki uygulaması

Bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi yapay zeka teknikleri her ne kadar birbirlerinden farklı ise de, birbirlerine rakip değildirler. Çoğu zaman bu yapay zeka tekniklerinin bir kaçı birlikte kullanılmaktadır. Bu tür yapay zeka uygulamalarının başarısı genellikle daha yüksek olup, uygulanabilme esnekliği açısından da çok elverişlidirler.

Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemleri, yapay zeka tekniklerinin uygulama alanlarını artırarak uygulama başarısını yükseltmek amacıyla, bu tekniklerin bir

kaçının birlikte denebilmesi ile ilgili araştırmaların sonucu ortaya çıkmış olup, bulanık mantık ve sinir ağlarının her ikisinin de bazı özellikleri kullanılarak ortaya çıkarılmıştır.

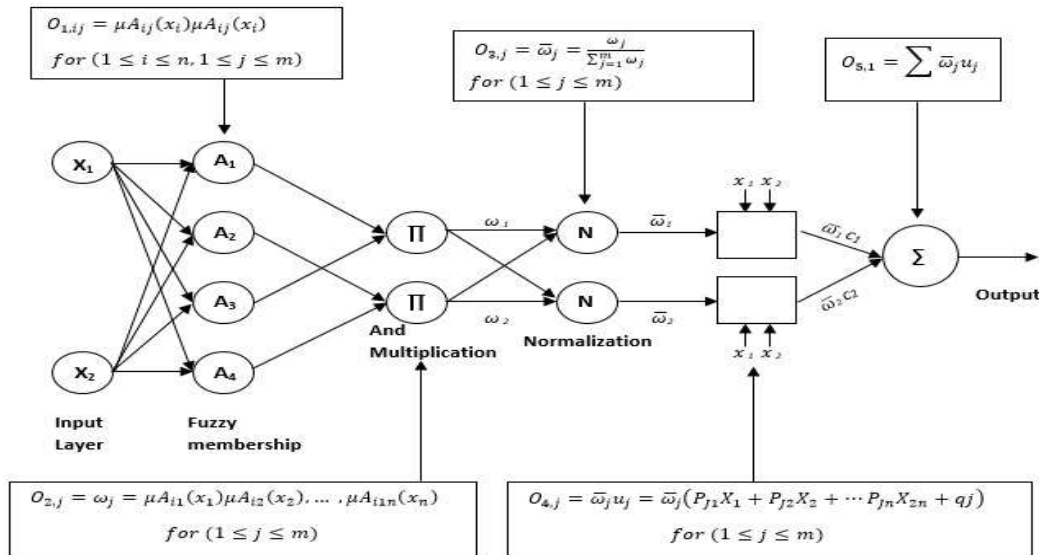
Genel ağ yapısı ve fonksiyonları Şekil 2.11' de verilmiş olan CANFIS, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştiren, katman halindeki düğümlerin birleşiminden oluşmuş, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısıdır [91, 92].

Şekil 2.11' de verilen katmanlardaki uyarlamalı ve sabit düğümlerden oluşan CANFIS' in çalışma yapısında, n giriş, bir çıkış ve aşağıda açıklandığı şekliyle m IF-THEN kuralı bulunmaktadır [91, 93, 94].

$$\text{Rule 1: If } x_1 \text{ is } A_{11} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{12} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{1n} \text{ then } u_1 = p_{11}x_1 + p_{12}x_2 + \dots + p_{1n}x_n + q_1 \quad (2.8)$$

$$\text{Rule 2: If } x_1 \text{ is } A_{21} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{22} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{2n} \text{ then } u_2 = p_{21}x_1 + p_{22}x_2 + \dots + p_{2n}x_n + q_2 \quad (2.9)$$

$$\text{Rule } m: \text{ If } x_1 \text{ is } A_{m1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{m2} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{mn} \text{ then } u_m = p_{m1}x_1 + p_{m2}x_2 + \dots + p_{mn}x_n + q_m \quad (2.10)$$



Şekil 2.11. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık ıkışım Sistemi (CANFIS) genel ağ mimarisi [93, 94]

Katman 1: Bu katmandaki her bir düğüm üyelik derecesini belirler ve giriş değişkenlerini bulanıklaştırır.

Katman 2: Bu katmanda bulunan düğüme gelen sinyallerin üyelik fonksiyonları çarpılır.

Katman 3: İkinci katmandan gelen her bir sinyal için normalizasyon işlemi yapılır.

Katman 4: Üçüncü katmandan gelen sinyaller ile çıkış fonksiyonları çarpılır.

Katman 5: Bu katmanda tek bir çıkış oluşturabilmek için, gelen fonksiyonlar toplanır.

Bu çalışmada, 1302, 1340, 1339 nolu istasyonların günlük akım verileri ve bu verilerin, DFM ve İHEY ile ayrılmasından elde edilen yüzeysel akış ve taban akışı değerleri CANFIS uygulamasının girdi ve çıktıları oluşturmaktadır.

Bu verilerin yarısı eğitim verisi, diğer yarısı ise test verisi olarak kullanılmıştır. DFM ile eğitilen uygulama $CANFIS_{DFM}$ ve İHEY ile eğitilen uygulama $CANFIS_{İHEY}$ olarak adlandırılmıştır. Akımın maksimum ve minimum değerleri hem eğitim hem de test verisinde yer almaktadır. Eğitim ve test verilerinin güncellenmesinde çoğu Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi uygulamasında olduğu gibi hibrit öğrenme algoritması kullanılmıştır.

Hibrit algoritmanın ileri yön geçişi ile giriş parametreleri (en küçük kareler yöntemi ile), geri yön geçişiyle çıkış parametreleri (geri yayılım yöntemi ile) güncellenmektedir.

2.7. Taban Suyu Derinliklerinin Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) Kullanılarak Belirlenmesi

Taban suyu, toprakta geçirimsiz bir katman üzerinde bulunan ve bulunduğu düzeyin altındaki toprak katlarını sürekli doygun halde tuttuğu için bitkilere zararlı olan su katmanı olarak tanımlanmaktadır [95].

Sulama ve yağışlar sonucunda toprağa süzülen sular geçirimsiz bir kat üzerinde birikip, toprak gözeneklerini doldurarak toprak yüzeyine kadar yükselebilir. Taban

suyu, yeraltı suyu veya su tablası gibi isimler verilen bu su kütlesinin üst sınırı taban suyu düzeyini gösterir [96].

Ancak kavram kargaşasına meydan vermemek için yeraltı suyu ile taban suyu arasındaki farkı belirtmekte fayda vardır. Yeraltı suyu yeraltında pompaj ile alınabilecek miktarda bulunan durgun ve hareketli tüm sulardır diye tanımlanabilir [97, 98]. Taban suyunu ise yüzeyden itibaren birkaç (0–5) m derinliğe kadar yer alan ve akifer özelliği göstermeyen geçirimsiz-yarı geçirimli birimler içinde litolojik birimin özgül tutma kapasitesi nedeni ile bulunan su olarak tarif etmek mümkündür. Taban suyu, sulamalar sonucu oluşabileceği gibi yağışlarla da olabilir. Ancak bu suları pompaj ile üretmek mümkün değildir. Zira su veren birimin hidrolik iletkenlik (K) değeri ($\leq 10^{-6}$) çok düşüktür [98].

Denetlenemeyen düzeyde taban suyunun varlığı doğrudan ya da yüksek su tablasının neden olduğu fiziksel, kimyasal, biyolojik etkilerin neticesinde dolaylı olarak ortaya çıkan birçok olumsuz etkinin kaynağını oluşturur [96].

Denetlenemeyen ve 1-2 m arasında bulunan taban suyunun varlığında sulanan alanlarda tuzluluk sorunu meydana gelmektedir [99, 100]. Özellikle sulu tarım yapılan alanlarda taban suyunun yüksekliğinden dolayı tuzlu ve alkali toprakların meydana gelmesi oldukça önemli bir çevre sorunudur [100, 101].

Yüksek taban suyu kapilarite ile üst katmanlara yükselerek buharlaşması sonucunda bileşimindeki tuzları üst katmanlarda veya bitki kök bölgesinde bırakarak toprakların tuzlulaşmasına ve bitkilerin bundan olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Özellikle drenajı bozuk alanlarda bitki kök bölgesine kadar yükselen taban suyu buradaki hava-su dengesini bozarak önemli sorunlara yol açmaktadır [101].

Ayrıca drenaj yetersizliğinden dolayı sulanan alanlarda meydana gelen tuzluluğun neden olduğu arazi bozunması sonucunda gıda üretimi olumsuz bir biçimde etkilenmektedir. Kurak ve yarı kurak alanlarda kök bölgesinde biriken tuzlu taban suları uzaklaştırılmaz ise ciddi bir sorun oluşturmakta ve farklı kullanımlar için gerek duyulan iyi nitelikli suya olan istemi de artırmaktadır [100, 102, 103].

Yüksek taban suyu ayrıca toprak yapısının bozulması, ürünlerde verim düşüklüğü, ekim ve hasat zamanlarının gecikmesi, yüksek taban suyundan dolayı tuzluluğun arttığı alanlarda tuza dayanıklı bitkiler dışında ürün yetiştirilememesi, çukur yerlerde su göllenmelerin oluşması, toprağın işlenmesi ve tarımsal çalışmaların güçleşmesi, tarım makinelerinin toprak yüzeyinde iz bırakması, mineralizasyon ve nitrifikasyonun azalması, bitkiler için yararlı mikroorganizmaların faaliyetlerinin durması, sivri sinek üremesi ve sıtma riskinin artması gibi problemlere de neden olabilmektedir [96, 101, 104, 105, 106, 107].

Diğer taraftan taban suyu düzeyinin fazla derinlerde olması da özellikle kılcal yükselmenin düşük olduğu kaba bünyeli topraklarda, su yetersizliğinden dolayı üründe azalmaya neden olabilmektedir [96].

Taban suyunun neden olduğu tüm bu sorunların önlenmesi için taban suyu seviyesinin ve taban suyu seviyesi ile niteliğinde meydana gelen zamansal ve mekânsal değişimlerin belirlenmesi ve elde edilen sonuçlara göre gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir bir tarımsal üretim ve su yönetimi için taban suyu sürekli izlenmeli ve gerekli düzeyde tutulmalıdır. Bu amaçla gerçekleştirilecek izleme ve değerlendirme çalışmaları özellikle tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve toprakların korunabilmesi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır [104, 107, 108, 109].

Türkiye’de sulamaya açılan alanlarda taban suyu düzeyi ve niteliğindeki değişikliklerin sürekli ve düzenli olarak izlenebilmesi amacıyla Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından taban suyu gözlem kuyuları tesis edilmekte olup bu kuyular aracılığıyla taban suyu gözlemleri rutin bir şekilde yapılmaktadır [104, 105, 110].

Literatürde yer alan çalışmalarda taban suyu gözlemlerinin yapılmasında ve yorumlanmasında coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı [104, 110, 111, 112], jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirme [113, 114], taban suyu tuzluluğu ile toprak tuzluluğu arasındaki ilişkinin incelenmesi [115], gözlem kuyularından elde edilen rasatların değerlendirilmesi [107] yapay zeka teknikleri ve meteorolojik veriler kullanılarak taban suyu ile ilgili tahminler yapılması [39, 40, 41, 42] gibi çalışmalar

mevcuttur. Ancak sadece akım verileri kullanılarak taban suyu derinliğinin tahmin edilmesi ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde taban suyu derinliğinin akım bileşenleri ve yapay zeka teknikleri kullanılarak tahmin edilebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Taban suyu derinliğinin doğru olarak tahmin edilmesinin, akım bileşenlerinin akarsu akımına katkılarının anlaşılması ve yayılı kirleticilerin yol açtığı kirliliğe etkilerinin belirlenmesi için önemli olduğu düşünülmektedir.

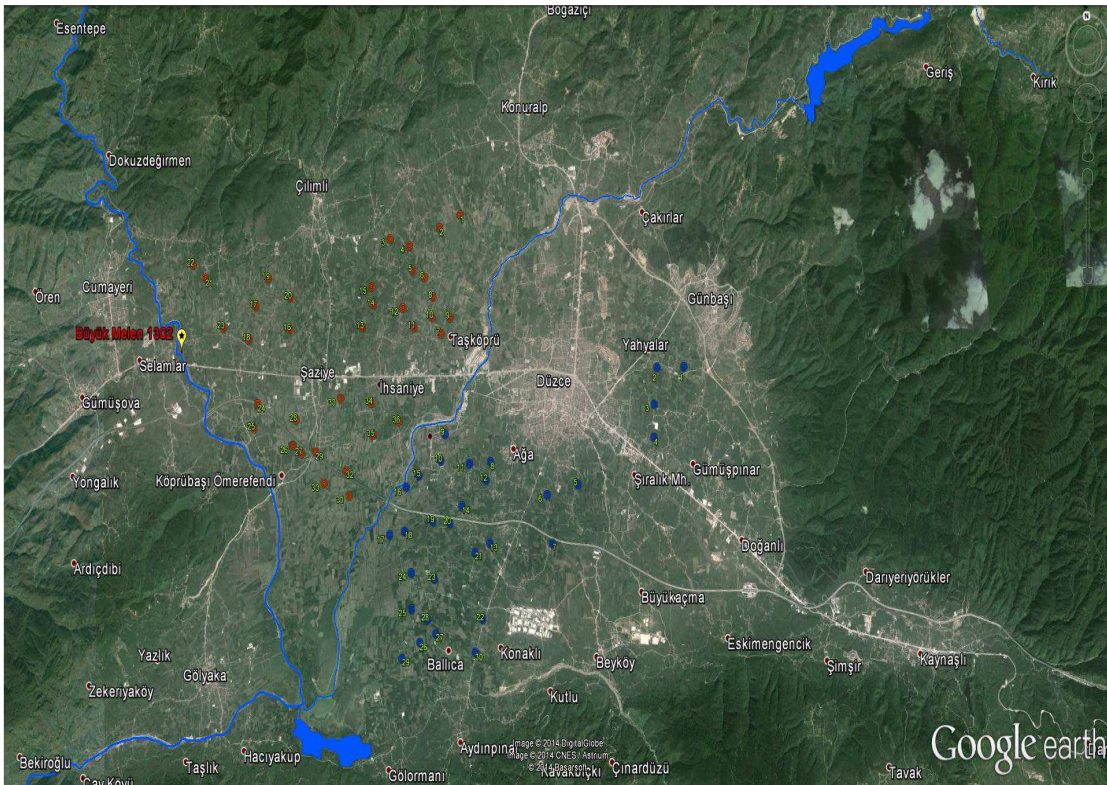
Çalışma alanı olarak Düzce Ovası sulama alanı seçilmiştir. Düzce Ovası sulamasının; doğusunda Bolu ve Ankara, batısında Sakarya ve İstanbul illeri yer almaktadır. Sulama sahası alüvyal toprak örtüye sahip olup, taban arazi niteliğindedir. Ortalama hakim kot 130 m ve Efteni gölünde 117 m dir. Sahanın genel eğimi kuzey güney yönünde % 0,5, doğu batı yönünde %2-3'dür. Düzce Ovası topraklarının % 39,6'sı ağır bünyeli, % 18,7'si orta bünyeli, % 5,1'i hafif bünyeli ve % 36,6'sı karışık bünyelidir. Karadeniz bölgesinin iklim özelliklerine sahip olan çalışma alanında yıllık ortalama yağış 837,70 mm ve bitki yetişme dönemi 15 Mart-31 Aralık tarihleri arasındadır [116].

Çalışmada Düzce Ovası sağ ve sol sahil sulama alanında bulunan sağ sahil 36, sol sahil 30 olmak üzere toplam 66 adet taban suyu gözlem kuyusunda Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) 5. Bölge tarafından ölçülmüş taban suyu derinliği değerleri kullanılmıştır.

Taban suyu derinliğinin tahmini için akım bileşenleri olarak 1302 nolu istasyonun günlük ortalama akım verilerine DFM ve İHEY uygulanarak elde edilen akım bileşenleri kullanılmıştır. DSİ tarafından ölçülmüş olan taban suyu derinliği verileri ölçüm yapılan aylarda elde edilen aylık değerler şeklindedir. Bu nedenle akım ayırma yöntemleriyle elde edilen akım bileşenlerinin de aylık ortalama değerleri hesaplanmıştır. Ölçüm yapılmayan ve kuyuların tahrip olması nedeniyle ölçüm değerleri bulunmayan dönemler çalışmaya dahil edilmemiştir. Çalışmada yapay zeka yöntemi olarak akımı bileşenlerine ayırmada başarı ile kullanılabileceği görülen [117] CANFIS kullanılmıştır.

Taban suyu derinliği tahminlerinin sonuçları eğitim sonuçlarının ortalama karesel hataları, test sonuçlarının ortalama karesel hataları ve test sonuçlarının determinasyon katsayıları (R^2) incelenerek değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan taban suyu derinliği gözlem kuyularının konumları Şekil 2.12' de gösterilmektedir. Şekil 2.12' de sağ sahilde yer alan kuyular kırmızı, sol sahilde yer alan kuyular ise mavi renkle gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Taban suyu derinliği gözlem kuyularının konumları

2.8. Akım Ayırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Farklı akım ayırma modelleri kullanılarak yapılan, toplam akımı ayırma çalışmalarında, sonuçların test edilmesi için kullanılan yöntemlerden biri de model sonuçlarının birbirleri ile uyumunun incelenmesidir. Bu amaçla yapılan karşılaştırma işlemlerinde doğrudan hesaplanan akım değerleri kullanılabilir gibi, bu değerlerden hesaplanan ortalamalar veya taban akış indeksi gibi oranlar da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada CANFIS' in yüzeysel akış ve taban akışını belirlemedeki başarısı, DFM, İHEY, CANFIS_{DFM}, CANFIS_{İHEY} yöntemlerinin sonuçları ve her yöntem için hesaplanan taban akış indeksleri (denklem 2.11) ayrı ayrı karşılaştırılarak incelenmiştir [9, 12, 21].

Taban akış hacminin toplam akış hacmine oranlanması ile bulunan taban akış indeksi (TAİ), akım ayırma modellerinin karşılaştırılmasında kullanılan önemli bir yöntem olarak, birçok çalışmada önerilmekte olup denklem 2.11 kullanılarak hesaplanmaktadır [6, 9, 11, 79].

$$TAİ = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_{taban}(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} Q_{toplam}(t) dt} \quad (2.11)$$

Bununla birlikte elde edilen sonuçlar, Ortalama Mutlak Hata (MH) ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK) hesaplanarak ve lineer regresyon yöntemi (R^2), ile karşılaştırılarak istatistiksel olarak incelenmiştir (denklem 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16) [117].

$$R^2 = \frac{Q_{fo} - Q_f}{Q_f} \quad (2.12)$$

$$Q_{fo} = \sum_{i=1}^n (Q_{fi(A)} - Q_{f(ortalama)}) \quad (2.13)$$

$$Q_f = \sum_{i=1}^n (Q_{fi(A)} - Q_{fi(B)}) \quad (2.14)$$

Burada $Q_{fi(A)}$ ve $Q_{fi(B)}$; sırasıyla DFM, İHEY, CANFIS_{DFM} ve CANFIS_{İHEY} metodları ile elde edilen akım değerleri, $Q_{f(ortalama)}$ ortalama akım değeridir. MH ve OKHK aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$MH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |Q_{\hat{n}(A)} - Q_{\hat{n}(B)}| \quad (2.15)$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_{\hat{n}(A)} - Q_{\hat{n}(B)})^2} \quad (2.16)$$

BÖLÜM 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Büyük Melen ve Aksu Deresinin Bazı Akım Özellikleri

Çalışmada öncelikle akım verilerinin elde edildiği Büyük Melen Nehri ve Aksu deresinin akım özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla Büyük Melen Nehri ve Aksu Deresi üzerinde bulunan akım gözlem istasyonlarının uzun döneme ait debi değerlerinin, debi gidiş ve debi süreklilik grafikleri çizilmiş ve her iki akarsuyun akım özelliklerinin yıllara bağlı değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Debi süreklilik eğrisi, belli bir zaman dönemi boyunca, akımın belli bir değere eşit veya geçtiği zaman yüzdesini gösteren ve böylece günlük, aylık ve yıllık akımın miktarı ve frekansı arasındaki ilişkiyi belirten bir kavramdır. Başka bir ifade ile debi süreklilik eğrileri, akımın belli bir değere eşit yada büyük olduğu değerler ve bunların görüldüğü zaman yüzdesinin grafiksel olarak ifade edilmiş biçimidir. Debi süreklilik eğrileri oluşturulurken, mümkün olan en uzun süreli akım verilerini kullanmak uygundur. Bu eğriler akımın zamanın ne kadarında belli bir değer üzerinde olduğunu anlamak için çok kullanışlı bir araçtır.

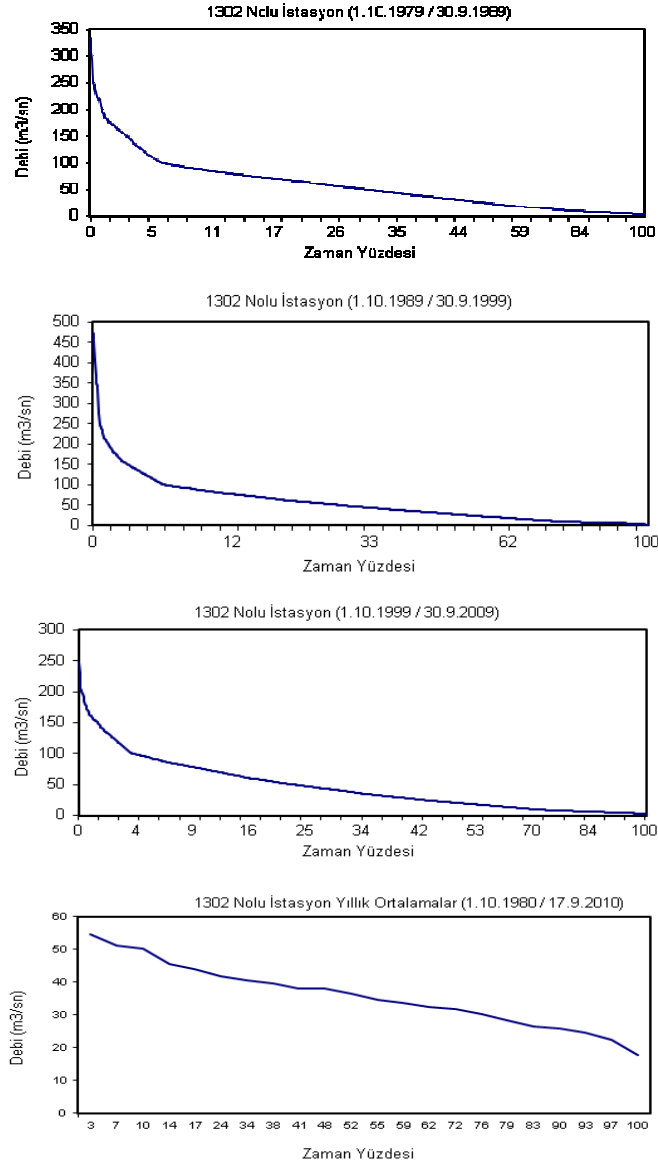
Bu çalışmada 1302, 1340 ve 1339 nolu akım gözlem istasyonlarının toplam akarsu akımı verileri kullanılarak debi süreklilik eğrileri çizilmiş ve elde edilen debi süreklilik eğrileri Şekil 3.1 (1302 nolu istasyon), Şekil 3.2 (1340 nolu istasyon) ve Şekil 3.3 (1339 nolu istasyon) de verilmiştir. Debi süreklilik eğrileri çizilirken havza alanındaki, şehirleşme ve arazi kullanımında meydana gelen değişimlerin akarsu akımına olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla, uzun süreli akım değerleri on yıllık zaman dönemlerine ayrılmış ve debi süreklilik eğrileri bu zaman dönemlerinde çizilmiştir.

Tüm gözlem dönemine ait yıllık ortalama akımların da debi süreklilik eğrileri hazırlanmış ve on yıllık dönemlerde akımın zamanın sırası ile %25, %50, %75 ve %100 lük kısımlarındaki değerleri Tablo 3.1' de sunulmuştur.

Tablo 3.1. On yıllık dönemlerde zamanın %25, %50, %75, ve %100' ündeki debi sürekliliği

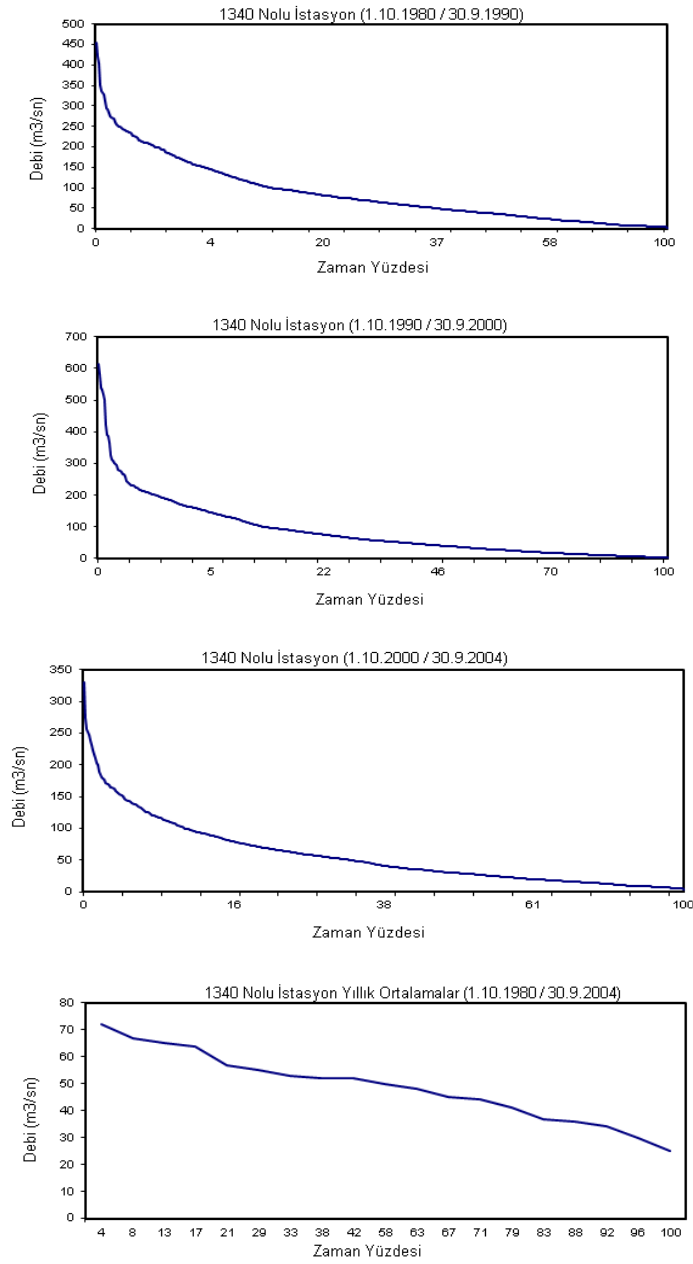
| İstasyon No | Yıllar | En Yüksek Debi | Ortalama Akım | Zaman Yüzdesi – Akarsu Akımı (m ³ /sn) | | | |
|-------------|-----------|----------------|---------------|---|------|------|------|
| | | | | 25 | 50 | 75 | 100 |
| 1302 | 1979-1989 | 333 | 38,60 | 56.68 | 24.6 | 11.5 | 2.16 |
| 1302 | 1989-1999 | 472 | 38,66 | 51.7 | 27.4 | 12 | 1.86 |
| 1302 | 1999-2009 | 247 | 32,19 | 47.6 | 20 | 8.68 | 1.95 |
| 1340 | 1980-1990 | 454 | 48,53 | 70.7 | 31 | 13.8 | 3.2 |
| 1340 | 1990-2000 | 680 | 51,72 | 69.6 | 36.2 | 14.9 | 2.1 |
| 1340 | 2000-2004 | 358 | 42,72 | 63.6 | 26 | 12.8 | 4.35 |
| 1339 | 1980-1990 | 75.8 | 4,24 | 5.58 | 2.77 | 1.51 | 0.3 |
| 1339 | 1990-2000 | 70.6 | 3,76 | 4.26 | 2.29 | 1.32 | 0.06 |
| 1339 | 2000-2008 | 45.3 | 3,36 | 4.01 | 1.7 | 0.85 | 0.04 |

Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve Tablo 3.1' daki değerler birlikte incelendiğinde, istasyonların üzerlerinde bulunduğu Büyük Melen ve Aksu Deresinin tüm akım gözlem dönemi boyunca su seviyelerinde düşüşler olmasına rağmen hiç kurumadığı söylenebilir. Ancak her üç istasyonda da sadece zamanın %25'inde ortalama akım değeri geçilmiş, zamanın %50' sinden fazla bir dönemde toplam akarsu akımı, ortalama akımdan düşük kalmıştır. Akım değerlerinde, zamanın %50' inde görülen ve %75 ve %100' ünde artarak devam eden düşüş, akımın genellikle taban akısından oluştuğu kurak dönemin fazlalığını göstermektedir. Başka bir ifade ile debi süreklilik eğrilerinin eğiminin fazla olduğu zamanın %25' inde akarsuyun genellikle yüzeysel akıştan beslendiği, debi süreklilik eğrilerinin eğiminin az olduğu bölümlerde (%50, %75 ve %100) ise akımın ağırlıklı olarak taban akımından oluştuğu söylenebilir.



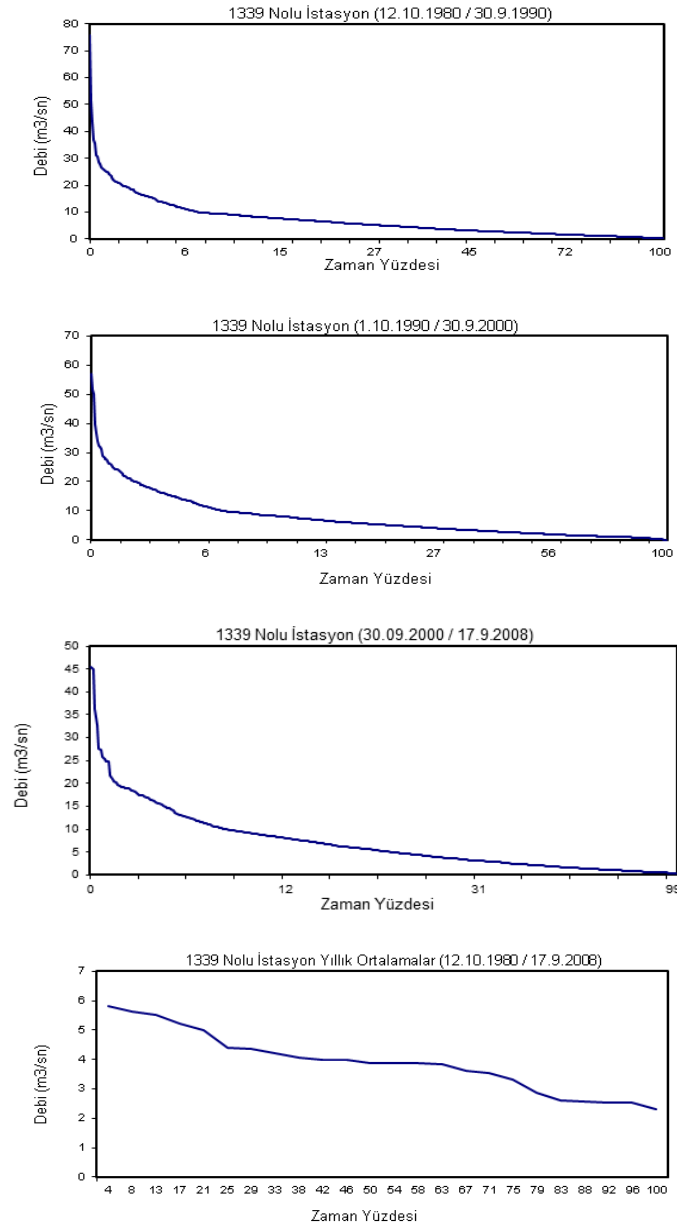
Şekil 3.1. 1302 Nolu akım gözlem istasyonunun debi süreklilik eğrileri

Şekil 3.1' deki Büyük Melen üzerindeki 1302 nolu istasyona ait debi süreklilik eğrileri incelendiğinde, ikinci on yıllık dönemde (1989-1999), ilk (1979-1989) ve son on yıllık (1999-2009) dönemlere göre debi süreklilik eğrisinin eğimi yüksektir. Ayrıca ilk ve son on yıllık dönemlerde debi süreklilik eğrisi zamanın yaklaşık %5'inde yüksek eğime sahip iken, ikinci on yıllık dönemde zamanın yaklaşık %10'unda yüksek eğime sahiptir. Bu durum ikinci on yıllık dönemde akarsuyun daha uzun süre ve yüksek oranda yüzeysel akıştan beslendiği şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 3.2. 1340 Nolu akım gözlem istasyonunun debi süreklilik eğrileri

1340 nolu istasyonda akım verilerin 1980-2004 yılları arasında olması nedeniyle iki on yıllık dönemin debi süreklilik eğrisi çizilebilmiş, üçüncü dönem dört yıllı sınırlı kalmıştır. Bu duruma rağmen 1302 nolu istasyon gibi ana havzayı temsil eden bu istasyonda da tüm dönemler için benzer debi süreklilik eğrileri oluşmuştur. Her iki istasyonun debi süreklilik eğrileri arasındaki tek fark, Büyük Melen Nehri'nin son bölümünde bulunan 1340 nolu istasyonda, yüksek eğimlerin daha dar bir zaman yüzdesinde görülmesidir.



Şekil 3.3. 1339 Nolu akım gözlem istasyonunun debi süreklilik eğrileri

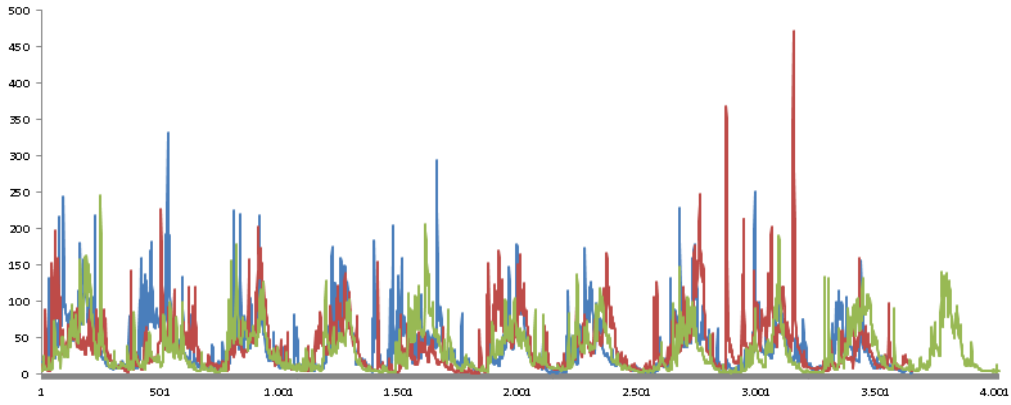
Alt havzayı temsil eden Aksu Deresi üzerinde bulunan 1339 nolu akım gözlem istasyonu için çizilen debi süreklilik eğrileri incelendiğinde ise, on yıllık dönemlerin tamamında eğrilerin eğiminin çok yakın ve diğer iki istasyona göre düşük olduğu görülebilir. Düşük akım değerlerine sahip 1339 nolu istasyonun debi süreklilik eğrilerinde görülen bu durum, Aksu Deresinin büyük oranda taban akışından beslendiğine işaret etmektedir.

Ayrıca üç akım gözlem istasyonunda da zamanın %25' inde ortalama akım değeri geçilse de, en yüksek akımlar ile toplam zamanın %25' inde görülen akımlar arasında önemli bir fark oluşmaktadır.

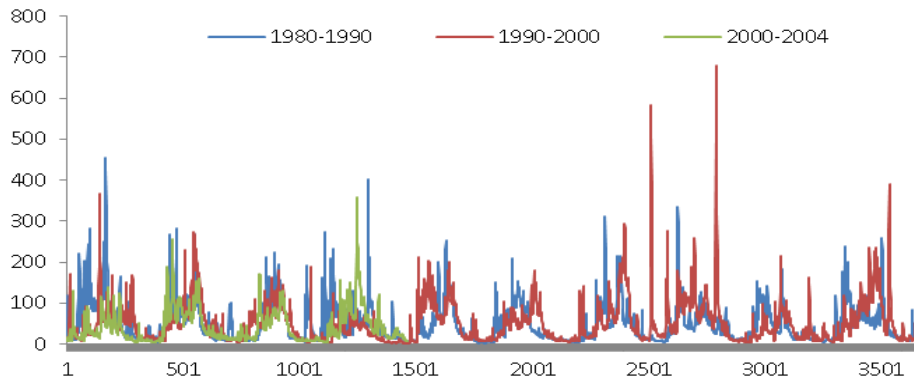
Genelde kısa süreli akım değerleri kullanılarak çizilen debi süreklilik eğrilerinde görülen bu farkın, yaklaşık otuz yıllık akım verisi kullanılarak oluşturulan bu debi süreklilik eğrilerinde de görülmesi, yağışların şiddetli ve kısa olduğu ve bu şiddetli yağışların kısa süreli olarak akarsuları beslediği ve debiyi kısa süreli olarak arttırdığı yönünde yorumlanabilir. Ana havza ve alt havzadaki yayılı kirletici kaynakların yüzey akış ile akarsuya ulaşması göz önüne alındığında, bu durumun akarsudaki kirlilik yükünde ani artışlara neden olabileceği düşünülmektedir.

Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6' daki on yıllık dönemler halinde ve üst üste çizilen debi gidiş eğrileri incelendiğinde ise, 1302 nolu istasyonun akım değerlerinin ikinci on yıllık dönemde (1989-1999) yükseldiği, ancak üçüncü on yıllık dönemde (1999-2009) hızlı bir düşüş yaşayarak ilk on yılında altında değerler aldığı görülmektedir. Bu durum 1340 nolu istasyonun debi değerlerinde de benzer şekilde gerçekleşmiştir. 1339 nolu akım gözlem istasyonunda ise debiler, her on yıllık dönemde azalmış, bu azalma üçüncü dönemde önemli ölçüde artmıştır.

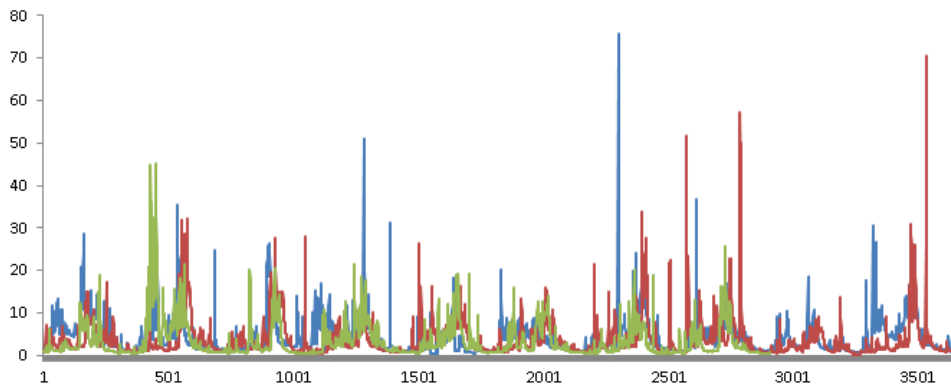
Debi eğrileri, akım gözlem süresinin tamamında incelendiğinde ise Büyük Melen Nehri ve Aksu Deresinin debilerinin sürekli azalmakta olduğu ve debilerdeki bu azalmanın son yıllarda fazlalaştığı söylenebilir. Bununla birlikte ana havza (1302 ve 1340 nolu istasyonlar) ve alt havzayı (1339 nolu istasyon) temsil eden debi süreklilik ve debi gidiş eğrilerin belirgin derecede benzer özellikler göstermesi, elde edilen sonuçların tüm havzanın karakteristiğini ifade ettiği şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 3.4. 1302 Nolu akım gözlem istasyonunun on yıllık dönemler halindeki debi gidiş eğrileri



Şekil 3.5. 1340 Nolu akım gözlem istasyonunun on yıllık dönemler halindeki debi gidiş eğrileri



Şekil 3.6. 1339 Nolu akım gözlem istasyonunun on yıllık dönemler halindeki debi gidiş eğrileri

3.2. Akımın Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemleri İle Bileşenlerine Ayrılması

Sadece akarsu akım verilerini kullanarak yüzeysel akış ve taban akışını belirlemek mümkün olup, literatürde bu amaçla geliştirilen modellerin iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir [119, 120]. Bununla birlikte akımı bölümlerine ayırma işlemlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli konu yöntemlerin doğruluğunun test edilmesidir. Kullanılan yöntemlerin tahmin yeteneğini test etmek için genel olarak kabul görmüş fikir, yöntemlerin sonuçlarının birbirleri ile karşılaştırılmasıdır [12, 17, 18, 21].

Bundan dolayıdır ki, bu çalışmada aynı havzada bulunan ve farklı büyüklük ve hidrolojik özelliklere sahip Büyük Melen ve Aksu derelerinin günlük ortalama akım verilerinin dijital filtreleme (DFM) ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü (İHEY) yöntemleri ile yüzeysel akış ve taban akışı olarak ayrılmasından elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak incelenmiş (Tablo 3.2) ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.2' de verilen yüzeysel akış ve taban akışının istatistiksel değerleri incelendiğinde, dijital filtreleme yönteminde üç akım gözlem istasyonunda da yüzeysel akış ve taban akışının ortalama değerleri birbirlerine çok yakın bulunmuştur.

İngiliz Hidroloji Enstitüsü yönteminde ise ortalama taban akışın değerleri yüzeysel akıştan büyüktür. Bununla birlikte yüzeysel akış sonuçlarının standart sapmaları akımın ortalama değerlerinden yüksek bulunmuştur. Bu durum maksimum ve minimum değerler arasındaki yüksek farktan da anlaşılacağı gibi, özellikle şiddetli yağış görülen dönemlerde, yağışın yüzeysel akışa dönüşerek toplam akarsu akışını beslemesinden kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan toplam akışın ortalama değerinin taban akışı değerine yakın ve minimum akarsu akışının taban akışına eşit olması, özellikle kurak dönemlerde, akarsu akımının çoğunlukla taban akışından oluştuğunu belirtmektedir.

Tablo 3.2. DFM ve İHEY yöntemleri ile belirlenen yüzeysel akış ve taban akışının bazı istatistiki değerleri

| Akım İstasyonları | Dijital Filtreleme Yöntemi (DFM) | | | | | | İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (İHEY) | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|--|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|
| | Yüzeysel Akış | | | Taban Akışı | | | Yüzeysel Akış | | | Taban Akışı | | |
| | 1302 (B.Melen) | 1340 (B.Melen) | 1339 (Aksu) | 1302 (B.Melen) | 1340 (B.Melen) | 1339 (Aksu) | 1302 (B.Melen) | 1340 (B.Melen) | 1339 (Aksu) | 1302 (B.Melen) | 1340 (B.Melen) | 1339 (Aksu) |
| Ortalama (m ³ /s) | 17,50 | 23,99 | 1,86 | 17,47 | 23,95 | 1,85 | 11,09 | 15,63 | 1,87 | 23,86 | 32,31 | 2,14 |
| En Yüksek (m ³ /s) | 344,2 | 498,8 | 62,58 | 170,3 | 229,84 | 18,07 | 438 | 629 | 72,66 | 136 | 179 | 12,5 |
| En Düşük (m ³ /s) | 0 | 0 | 0 | 1,09 | 1,184 | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 1,86 | 2,1 | 0,06 |
| Standart Sapma (m ³ /s) | 20,27 | 28,76 | 2,68 | 16,1 | 22,04 | 1,87 | 21,88 | 32,62 | 3,30 | 21,01 | 27,95 | 1,81 |

Yöntemlerin tüm istasyonlardaki yüzeysel akış ve taban akışı sonuçlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması Tablo 3.3' de sunulmuştur. Tablo 3.3' deki sonuçlardan tüm istasyonlarda yüzeysel akış ve taban akışının ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hatanın karekökü değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülebilir.

1302 ve 1340 nolu istasyonların 1339 nolu istasyona göre daha yüksek ortalama mutlak hata (MH) ve ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK) değerlerine sahip olması bu istasyonların akım değerlerinin yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Determinasyon katsayıları (R^2) incelendiğinde ise, Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü yöntemlerinin yüzeysel akış ($R^2 > 0,76$) değerlerinin taban akışına ($R^2 > 0,63$) göre daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir.

Ayrıca toplam akım değerleri azaldıkça iki yöntemin yüzeysel akış sonuçlarının bir birine yaklaştığı, taban akışı sonuçlarının ise farklılaştığı anlaşılmıştır. Bu durum 1302 ve 1340 nolu istasyonlara göre daha düşük akım değerlerine sahip olan 1339 nolu istasyonun yüzeysel akış ($R^2 = 0,89$) ve taban akışı ($R^2 = 0,63$) sonuçlarında açıkça görülmektedir.

Tablo 3.3. Yüzeysel akış, taban akışı ve taban akış indeksi sonuçlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması

| İstasyonlar | Yüzeysel Akış (DFM-İHEY) | | | Taban Akışı (DFM-İHEY) | | | Taban Akış İndeksi (DFM-İHEY) | | |
|-------------------|-----------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|----------------------------------|------|-------|
| | MH | OKHK | R^2 | MH | OKHK | R^2 | MH | OKHK | R^2 |
| 1302 (B.Melen) | 8,29 | 12,36 | 0,76 | 8,28 | 12,32 | 0,75 | 0,27 | 0,30 | 0,78 |
| 1340 (B.Melen) | 11,46 | 17,38 | 0,78 | 11,42 | 17,34 | 0,7 | 0,27 | 0,32 | 0,79 |
| 1339 (Aksu) | 0,76 | 1,20 | 0,89 | 0,72 | 1,18 | 0,63 | 0,29 | 0,34 | 0,71 |

Taban akış hacminin toplam akış hacmine oranlanması ile bulunan taban akış indeksi (TAİ), akım ayırma modellerinin karşılaştırılmasında kullanılan önemli bir yöntem olarak, bir çok çalışmada önerilmektedir [11, 79].

Çalışmada kullanılan yöntemlerin performanslarının karşılaştırılması için her bir yöntemin TAİ değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlara ait bazı istatistiksel bilgiler Tablo 3.3 ve Tablo 3.4' de verilmiştir.

Taban akış indeksi değerlerinin standart sapmaları Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü yöntemlerinin her ikisinde de düşüktür. Taban akış indekslerinin ortalama değerlerine bakıldığında her iki yöntemde de toplam akışın yarıdan fazlasının taban akışından oluştuğunu, maksimum değerler incelendiğinde ise toplam akışın bazı durumlarda tamamen taban akışından meydana geldiği söylenebilir (Tablo 3.4).

Ayrıca akım değerlerinin karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlara benzer şekilde, DFM ve İHEY yöntemlerinden elde edilen taban akış indeksi değerleri, toplam akımın yüksek olduğu 1340 nolu istasyonda en yakın sonuçları vermiş ($R^2 = 0,79$), toplam akım azaldıkça sonuçlar uzaklaşmaya başlamıştır.

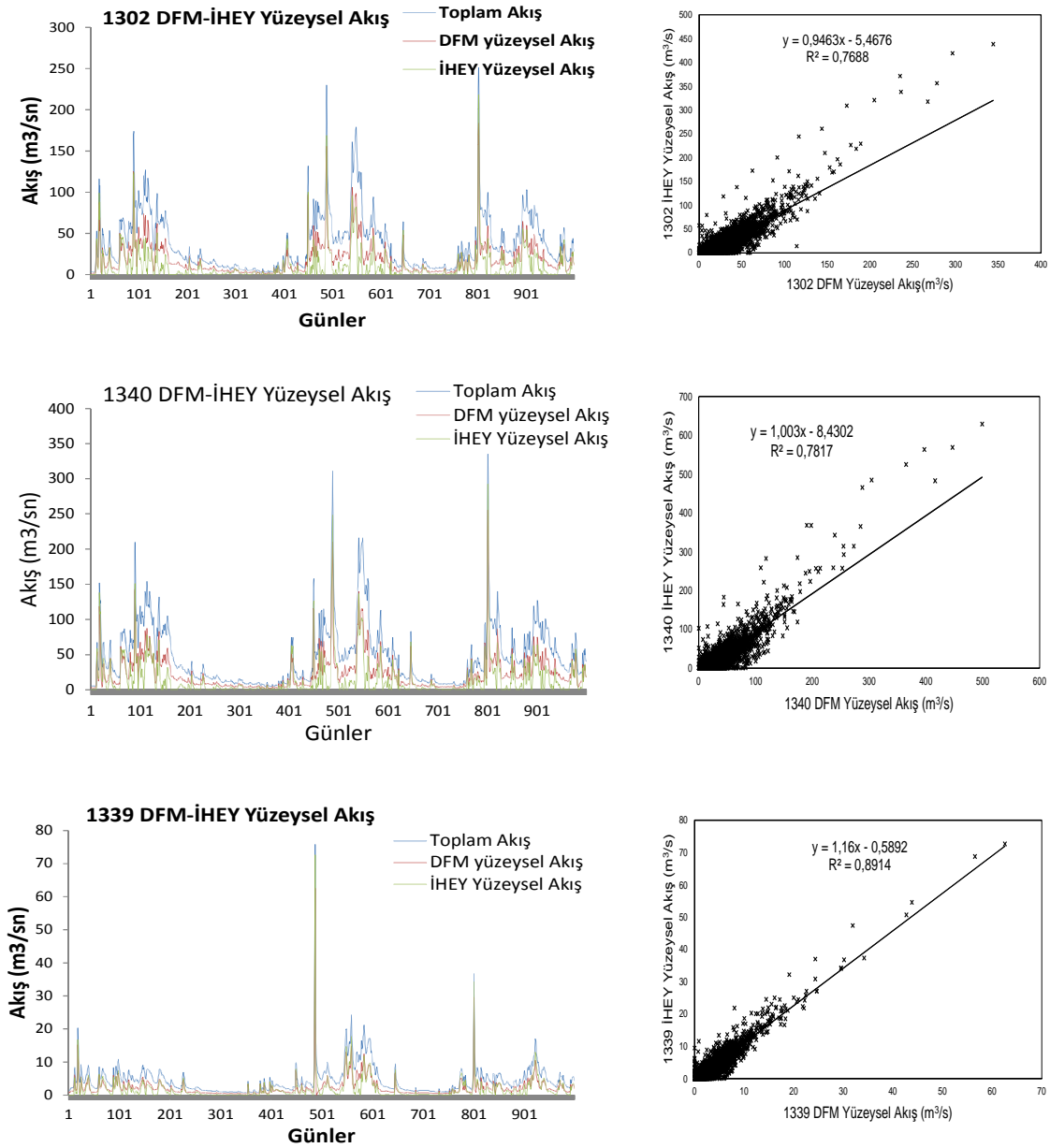
Bu durum DFM ve İHEY yöntemlerinin taban akışı sonuçları için, kabul edilebilir düzeyde olmakla birlikte ($R^2 > 0,71$), toplam akım azaldıkça sonuçların farklılaşmaya başladığını ortaya koymaktadır. Bu durumun akım ayırma yöntemleri ile ilgili literatürdeki benzer çalışmalarda görülebildiği rapor edilmektedir [121, 122, 123].

Tablo 3.4. Taban Akış İndekslerinin Bazı İstatistik Değerleri

| İstasyonlar | Dijital Filtreleme Yöntemi | | | İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi | | |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|
| | 1302 (B.Melen) | 1340 (B.Melen) | 1339 (Aksu) | 1302 (B.Melen) | 1340 (B.Melen) | 1339 (Aksu) |
| Ortalama (m ³ /s) | 0,52 | 0,51 | 0,52 | 0,768 | 0,76 | 0,73 |
| En Yüksek (m ³ /s) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| En Düşük (m ³ /s) | 0,162 | 0,17 | 1,62 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| Standart Sapma (m ³ /s) | 0,09 | 0,09 | 0,103 | 0,216 | 0,218 | 0,245 |

Toplam akarsu akımı, yüzeysel akış ve taban akışı değerlerinden oluşan hidrograflar ve saçılma grafikleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8' de verilmiştir. Veri fazlalığı nedeniyle oluşacak karmaşıklığı önlemek ve sonuçların daha net anlaşılmasını sağlamak amacıyla, hidrograflarda 1000 günlük akım değeri, saçılma grafiklerinde ise sonuçların tamamı kullanılmıştır. Akım hidrografları incelendiğinde, tüm akım gözlem istasyonlarında, özellikle yüzeysel akışın, toplam akışın artış ve azalışlarına uygun olarak ilerlediği açık olarak görülmektedir. Bununla birlikte hidrograflarda ki

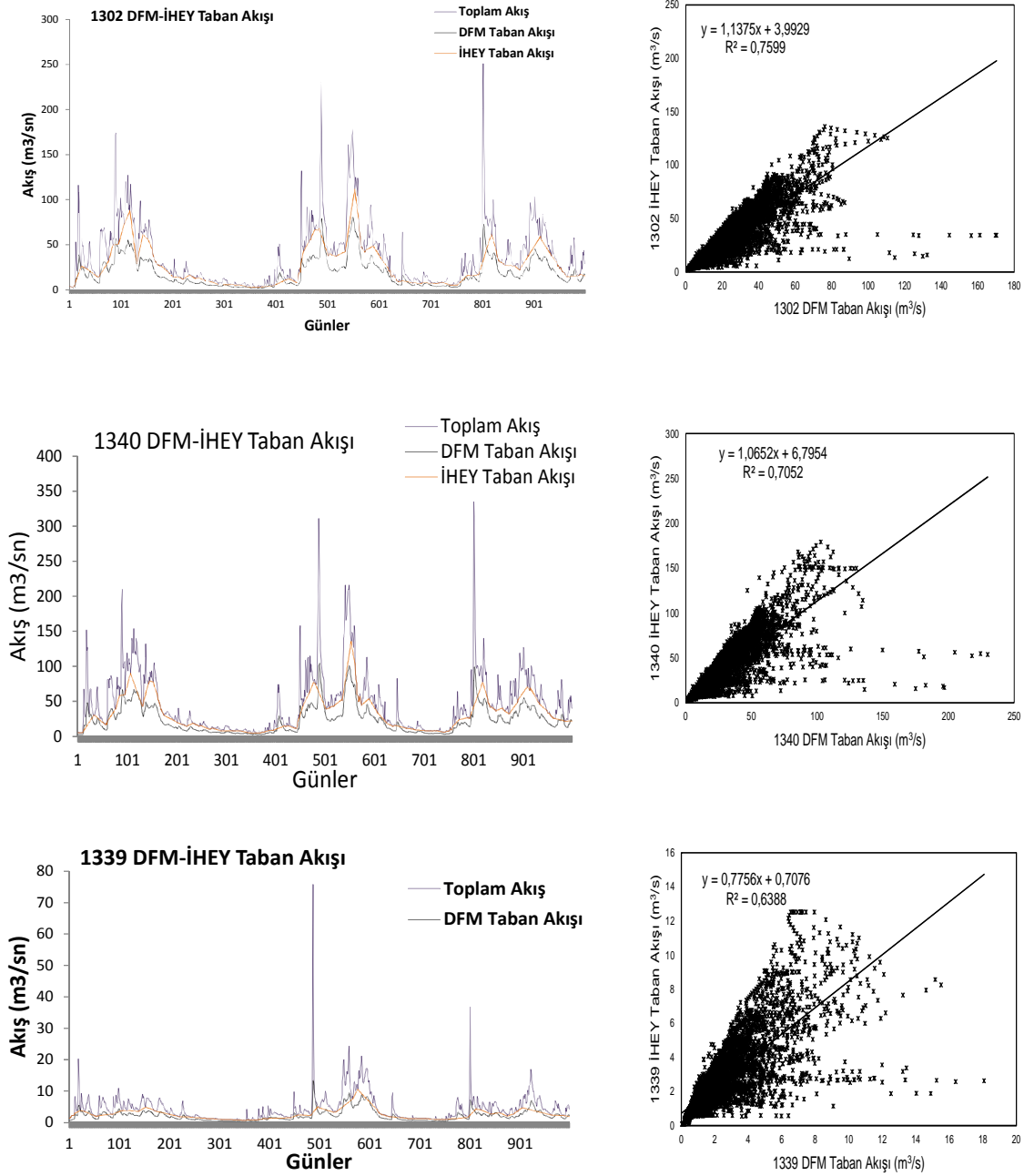
şiddetli yağış dönemlerini temsil eden, toplam akışın pik yaptığı bölümlerde, Dijital Filtreleme yöntemi ile belirlenen yüzeysel akış, toplam akarsu akımına en yakın pik değerleri vermiştir.



Şekil 3.7. DFM ve İHEY Yöntemlerinin yüzeysel akış ve saçılma grafikleri

Şekil 3.8’deki taban akışı hidrografları incelendiğinde, literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu şekilde, akımın pik değerlerine olan tepkilerin yavaş olduğu görülmektedir. Özellikle İngiliz hidroloji enstitüsü yönteminde açıkça görülen bu

durum, elde edilen sonuçların taban suyunun havzadaki gerçek hareketine uyumlu olduğunu belirtmektedir.



Şekil 3.8. DFM ve İHEY Yöntemlerinin taban akışı ve saçılma grafikleri

Ayrıca saçılma grafikleri tüm istasyonlarda yüzeysel akış değerlerinin taban akışına göre daha fazla benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8). Kabul edilebilir sınırlarda olmakla birlikte farklı yöntemlerle belirlenen taban akışlarındaki farklar, özellikle düşük akım değerlerine sahip 1339 nolu istasyonun

taban akışı değerlerinde ortaya çıkmıştır ($R^2 = 0.63$). Bu durum, İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi ile ayrılan taban akışının, Dijital Filtreleme Yöntemi ile belirlenen taban akışı değerlerinden yüksek olmasından kaynaklanmakta olup, literatürdeki DFM ve İHEY yöntemleriyle yapılan çalışmaların sonuçlarında da benzer şekilde rapor edilmektedir [12, 13].

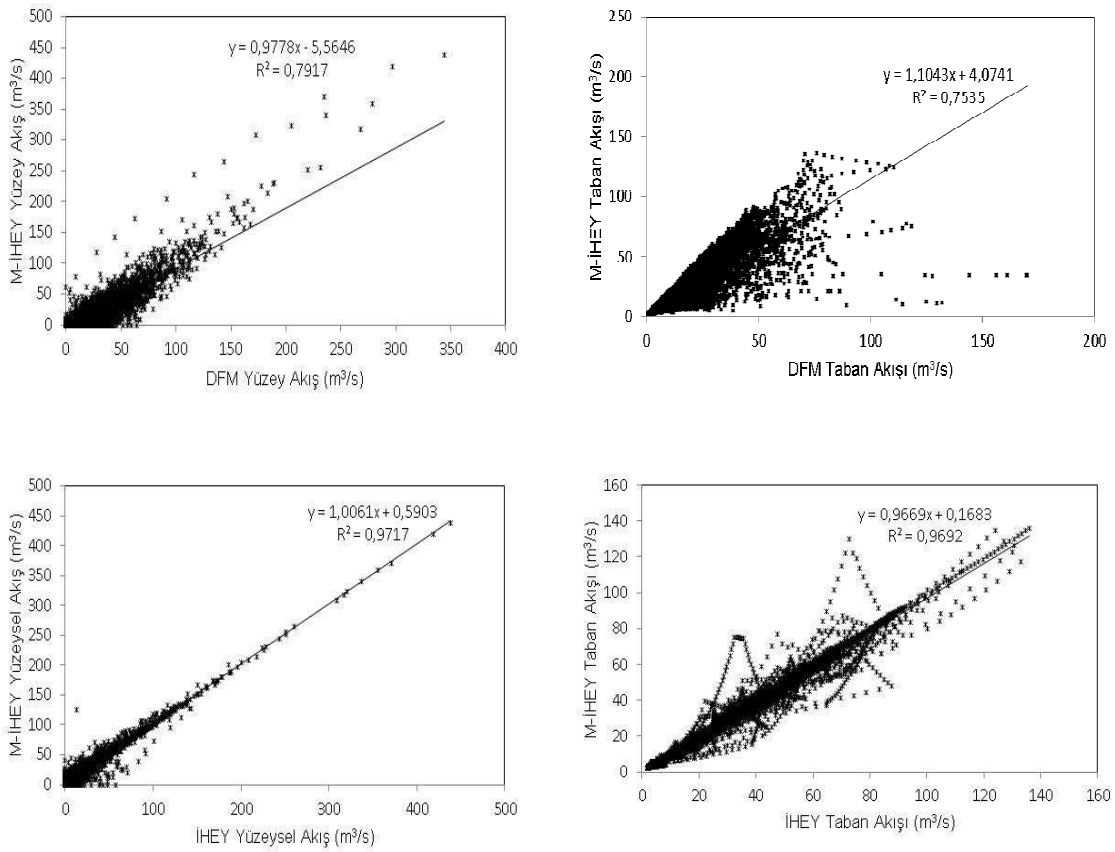
3.3. Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemlerinden Elde Edilen Sonuçların Kontrolü

Bu çalışmada yapay zeka teknikleri ile akım ayırma uygulamasında eğitim ve test verisi olarak kullanılacak yüzeysel akış ve taban akışı değerleri Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemleri ile elde edilmiştir. Bundan dolayıdır ki bu iki yöntemin sonuçlarının doğruluğu büyük öneme sahiptir. Dijital Filtreleme ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü yöntemleri literatürdeki bir çok çalışmada kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edildiği rapor edilmiş olsa da, çalışmada bu yöntemleri kullanırken hazırlanan yazılımdan veya algoritmadan kaynaklanabilecek hataların kontrol edilmesi gereklidir. Bu yüzden çalışmada DFM ve İHEY'in yüzeysel akış ve taban akışı sonuçları, yöntemlerin birbirleri ile ve bu amaçla özel olarak hazırlanmış ve halen Amerika Birleşik Devletleri İç İşleri Bakanlığı Su Kaynakları Islah Bürosu tarafından kullanılmakta olan BFI programı kullanılarak elde edilen sonuçlarla (M-İHEY) karşılaştırılmıştır. Dijital Filtreleme Yöntemi ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi ile ayrılan akım bölümlerinin BFI programı sonuçları ile karşılaştırılmasına ait istatistiki sonuçlar Tablo 3.5'de verilmiştir. Tablo 3.5'deki ortalamalar incelendiğinde M-İHEY yöntemi yüzeysel akışta DFM yönteminden düşük, İHEY yönteminden yüksek, taban akışında ise DFM yönteminden yüksek, İHEY yöntemine yakın ortalama akım değerleri vermiştir. Taban akış indeksi değerlerinde ise M-İHEY yöntemi her üç istasyonda DFM yönteminden yüksek, 1339 hariç diğer istasyonlarda İHEY yönteminden düşük bulunmuştur. Mutlak hatalar ve ortalama karesel hatanın kareköklerinde ise 1339' nolu istasyona ait değerler, her iki yöntemde de diğer istasyonlara ait değerlerden küçüktür. Bunun nedeni bu istasyonun günlük akım değerlerinin diğer istasyonların akım değerlerinden küçük olmasıdır.

Tablo 3.5. DFM ve İHEY yöntemlerinin M-İHEY yöntemi ile karşılaştırılmasının istatistikî sonuçları

| İstasyon No | Akış Tipi | DFM – M İHEY | | | | İHEY – M İHEY | | | |
|--------------------|--------------------|------------------------------|--------|--------|------------------|------------------------------|--------|--------|------------------|
| | | Ortalama (m ³ /s) | | Mutlak | Ortalama Karesel | Ortalama (m ³ /s) | | Mutlak | Ortalama Karesel |
| | | DFM | M-İHEY | Hata | Hatanın Karekökü | İHEY | M-İHEY | Hata | Hatanın Karekökü |
| 1302 Nolu İstasyon | Yüzeysel Akış | 17,50 | 12.208 | 8.220 | 12.165 | 11,09 | 12.208 | 1.466 | 3.971 |
| | Taban Akışı | 17,47 | 24.132 | 8.210 | 12.161 | 23,86 | 24.132 | 1.448 | 3.819 |
| | Taban Akış İndeksi | 0.526 | 0.752 | 0.266 | 0.304 | 0,768 | 0.752 | 0.036 | 0.085 |
| 1340 Nolu İstasyon | Yüzeysel Akış | 23,99 | 17.072 | 11.086 | 16.768 | 15,63 | 17.072 | 1.995 | 5.030 |
| | Taban Akışı | 23,95 | 31.819 | 10.608 | 14.916 | 32,31 | 31.819 | 1.605 | 5.123 |
| | Taban Akış İndeksi | 0.529 | 0.746 | 0.262 | 0.297 | 0.763 | 0.746 | 0.037 | 0.075 |
| 1339 Nolu İstasyon | Yüzeysel Akış | 1,86 | 1.505 | 0.821 | 1.242 | 1,87 | 1.505 | 0.231 | 0.657 |
| | Taban Akışı | 1,85 | 2.275 | 0.822 | 1.255 | 2,14 | 2.275 | 0.184 | 0.445 |
| | Taban Akış İndeksi | 0.529 | 0.754 | 0.280 | 0.319 | 0.739 | 0.754 | 0.041 | 0.082 |

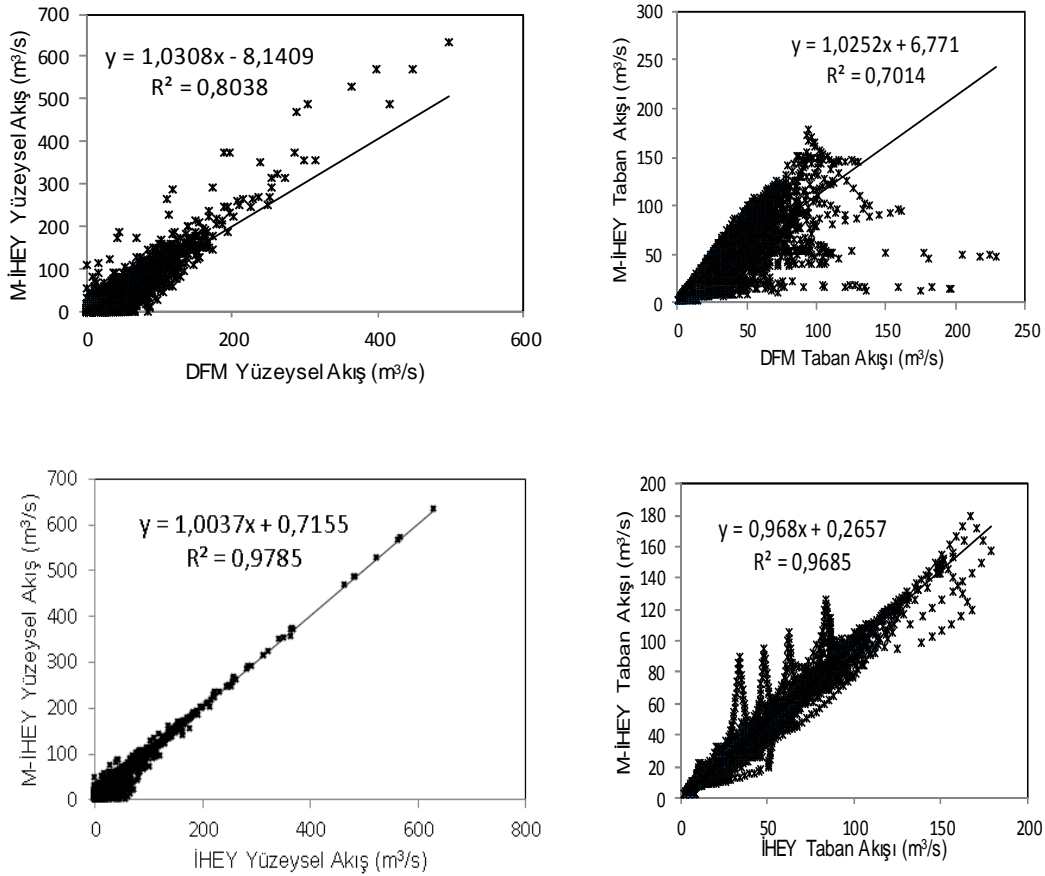
Mutlak hata ve ortalama karesel hatanın karekökü sonuçlarında, istasyonların günlük akımlarının mutlak değeri büyüdükçe sonuçlarda yükselmektedir. Bu durum yüksek akım değerlerine sahip 1302 ve 1340 nolu istasyonların hata sonuçlarının mutlak değer olarak yüksek çıkmasına neden olmakla birlikte, elde edilen sonuçların bu tür çalışmalar için kabul edilebilir aralıkta olduğu söylenilebilir. Bununla birlikte Tablo 3.5 deki tüm sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, DFM ve İHEY yöntemlerinin M-İHEY yöntemi ile uyumlu ve özellikle İHEY yönteminin M-İHEY yöntemine çok yakın sonuçlar verdiği sonucu çıkarılabilir.



Şekil 3.9. 1302 Nolu İstasyonun DFM, İHEY ve M-İHEY Akım Sonuçlarının Dağılımı

Yöntemler arasındaki korelasyon düzeyinin belirlenmesi amacıyla, DFM ve İHEY yöntemlerinin yüzeysel akış ve taban akışı sonuçları ve M-İHEY yöntemi ile hesaplanan yüzeysel akış ve taban akışı değerlerinin saçılma grafikleri çizilmiştir. Şekil 3.9 (1302 Nolu İstasyon), Şekil 3.10 (1340 Nolu İstasyon) Şekil 3.11' deki (1339 Nolu İstasyon) akımların saçılımları incelendiğinde, hem DFM – M İHEY

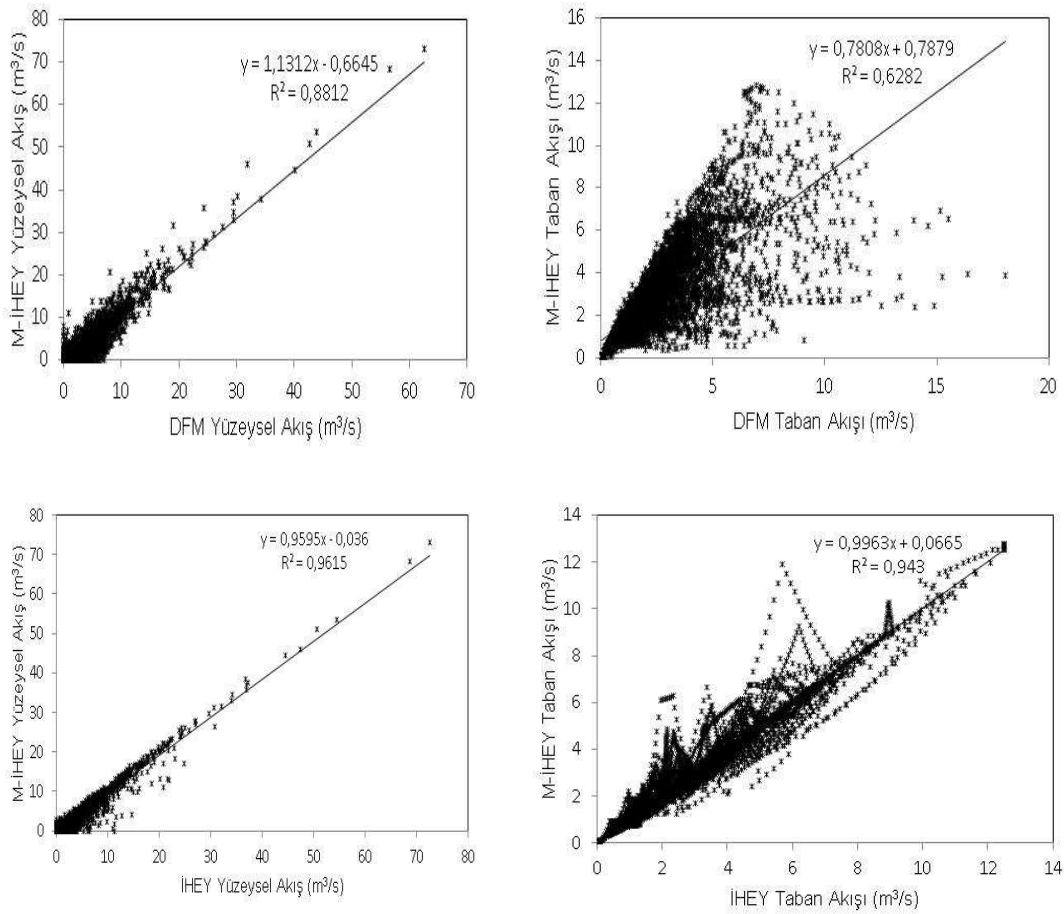
arasındaki, hem de İHEY – M İHEY arasındaki korelasyon çok yüksek düzeyde bulunmuştur. Bununla birlikte tüm akım gözlem istasyonlarında benzer olarak, yüzeysel akış sonuçlarının karşılaştırılmasından elde edilen R^2 değerleri, taban akışından daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 3.10. 1340 Nolu İstasyonun DFM, İHEY ve M-İHEY Akım Sonuçlarının Dağılımı

Determinasyon katsayıları (R^2) incelendiğinde, DFY – M İHEY arasındaki en yüksek determinasyon katsayısı, $R^2 = 0.88$ ile 1339 nolu istasyonun yüzeysel akış sonuçlarında, en düşük determinasyon katsayısı ise $R^2 = 0.62$ ile yine 1339 nolu istasyonun taban akışı sonuçlarında tespit edilmiştir. İHEY – M İHEY yöntemleri arasındaki determinasyon katsayılarında ise, en yüksek determinasyon katsayısı $R^2 = 0.97$ ile 1340 nolu istasyonun yüzey akışı sonuçlarında ve en düşük determinasyon katsayısı $R^2 = 0.94$ ile 1339 nolu istasyonun taban akışı sonuçlarında belirlenmiştir. İHEY – M-İHEY arasındaki tüm determinasyon katsayılarının bire çok yakın bulunması, her iki yöntemin de aynı algoritmadan türetilmiş olmasından

kaynaklanmaktadır. Literatürde İngiliz hidroloji enstitüsü yöntemi ile bu yöntemin modifiye edilmiş çeşitli versiyonları kullanılarak yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar görüldüğü ve yüksek determinasyon katsayısı (R^2) elde edildiği belirtilmektedir [11,12,13]. Bu iki yöntemin çok küçük farklar dışında aynı sonuçları vermesi ve DFM yönteminin sonuçlarının da bu yöntemlere çok benzer bulunması, çalışmada DFM ve İHEY yöntemleri ile toplam akımı yüzeysel akış ve taban akışına bölmek için yazılan kodların doğru çalıştığını açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 3.11. 1339 Nolu İstasyonun DFM, İHEY ve M-İHEY Akım Sonuçlarının Dağılımı

3.4. Yapay Zeka Yöntemleri İle Akımın Bölümlerine Ayrılması

Toplam akımı bileşenlerine ayırma işlemlerinde matematiksel yöntemlerin kullanımı, önemli ölçüde uygulama kolaylığı sağlamasına rağmen kullanılan yöntemlerin geliştirilmesi gereken yönlerinin bulunduğu gerçeği konuyla ilgili literatürdeki tüm çalışmalarda belirtilmektedir [124, 125]. Bundan dolayıdır ki özellikle, yağışlı veya

kurak dönemlerdeki mevsimsel akım değişmelerinden etkilenmeyecek ve farklı akım özellikleri gösteren akarsularda rahatlıkla uygulanabilecek yöntemler arayışı sürmektedir.

Yapay zeka yöntemleri çok sayıda değişkenin göz önünde bulundurulması gereken hidroloji çalışmalarında başarı ile kullanılmaktadır [126]. Yapay zeka yöntemlerinin hidroloji alanındaki bu başarısının sebebi, uygulandığı sisteme kolayca uyum sağlayabilme özelliğinden ileri gelmektedir [14, 15, 127]. Diğer akım ayırma yöntemlerinin en önemli eksiklerinden biri olan farklı koşullardaki akarsu sistemlerine uyum sorunu, yapay zeka yöntemlerinin bu en önemli özelliği kullanılarak giderilebilir [93].

Bu çalışmada akım ayırma teknikleri konusundaki mevcut ihtiyaca cevap aramak amacıyla, yapay zeka yöntemlerinin sağladığı imkanlar, toplam akarsu akımının bileşenlerine ayrılarak yüzeysel akış ve taban akışının belirlenmesinde kullanılmıştır.

3.4.1. Kullanılacak yapay zeka yönteminin belirlenmesi

Günümüzde çeşitli alanlarda kullanılan bir çok yapay zeka çeşidi vardır. Bunların çeşitli uygulamalarda gösterdikleri performanslar farklıdır. Dolayısıyla yapılacak uygulamaya en uygun yapay zeka yönteminin kullanılması, uygulamanın başarısında belirleyici olacaktır. Bu çalışmada akım ayırma işlemine en uygun yapay zeka yöntemini belirlemek amacıyla, 1302 nolu istasyona ait gerçek akım verileri on farklı yöntem kullanılarak denenmiş ve sonuçlar Tablo 3.6 ve Tablo3.7' de sunulmuştur.

Tablo 3.6 Akım Tahmininde Denenen Yapay Zeka Tekniklerinin Performansları (Dijital Filtreleme Yöntemi 1302 Nolu İstasyon)

| Uygulanan Yapay Zeka Tekniği | Yüzeysel Akış | | | Taban Akışı | | |
|--|---------------|-----------------------------------|---|-------------|-----------------------------------|---|
| | Mutlak Hata | Ortalama Karesel Hatanın Karekökü | Determinasyon Katsayıları (R ²) | Mutlak Hata | Ortalama Karesel Hatanın Karekökü | Determinasyon Katsayıları (R ²) |
| Çok Katmanlı Algılayıcılar | 19,48 | 24,62 | <0,1 | 23,92 | 28,03 | <0,1 |
| Genelleştirilmiş İleri Beslemeli Ağlar | 12,05 | 19,63 | <0,1 | 16,43 | 18,62 | <0,1 |
| Modüler Yapay Sinir Ağları | 3,91 | 4,73 | 0,75 | 4,98 | 5,45 | 0,68 |
| Jordan/Elman Ağları | 3,68 | 5,45 | 0,89 | 3,41 | 4,82 | 0,82 |
| Temel Bileşen Analizi | 5,93 | 7,04 | 0,86 | 6,01 | 6,98 | 0,81 |
| RBF/GRINN/PNN Yapay Sinir Ağları | 10,49 | 12,56 | <0,1 | 12,57 | 19,88 | <0,1 |
| Kendi Kendine Öğrenen Nitelik Haritaları | 17,62 | 18,09 | <0,1 | 23,67 | 26,01 | <0,1 |
| Zaman Gecikmeli Yapay Sinir Ağları | 5,23 | 5,94 | 0,79 | 6,11 | 8,39 | 0,69 |
| Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları | 6,42 | 9,16 | 0,76 | 7,73 | 9,95 | 0,65 |
| Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi | 2,31 | 5,01 | 0,93 | 2,28 | 4,64 | 0,91 |

Tablo 3.7. Akım Tahmininde Denenen Yapay Zeka Tekniklerinin Performansları (İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi 1302 Nolu İstasyon)

| Uygulanan Yapay Zeka Tekniği | Yüzeysel Akış | | | Taban Akışı | | |
|--|---------------|-----------------------------------|---|-------------|-----------------------------------|---|
| | Mutlak Hata | Ortalama Karesel Hatanın Karekökü | Determinasyon Katsayıları (R ²) | Mutlak Hata | Ortalama Karesel Hatanın Karekökü | Determinasyon Katsayıları (R ²) |
| Çok Katmanlı Algılayıcılar | 22,76 | 30,49 | <0,1 | 25,08 | 29,91 | <0,1 |
| Genelleştirilmiş İleri Beslemeli Ağlar | 18,76 | 24,84 | <0,1 | 18,64 | 27,36 | <0,1 |
| Modüler Yapay Sinir Ağları | 8,89 | 16,95 | 0,64 | 9,17 | 16,33 | 0,54 |
| Jordan/Elman Ağları | 6,28 | 12,85 | 0,80 | 8,82 | 16,07 | 0,62 |
| Temel Bileşen Analizi | 11,08 | 14,12 | 0,59 | 10,64 | 14,95 | 0,41 |
| RBF/GRINN/PNN Yapay Sinir Ağları | 16,73 | 21,92 | <0,1 | 16,81 | 23,04 | <0,1 |
| Kendi Kendine Öğrenen Nitelik Haritaları | 19,2 | 24,29 | <0,1 | 16,49 | 20,66 | <0,1 |
| Zaman Gecikmeli Yapay Sinir Ağları | 9,03 | 11,07 | 0,61 | 7,68 | 10,38 | 0,46 |
| Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları | 8,79 | 12,44 | 0,61 | 7,94 | 13,76 | 0,43 |
| Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi | 5,63 | 10,21 | 0,80 | 5,59 | 9,35 | 0,77 |

Dijital filtreleme ve İngiliz hidroloji etstitüsü yöntemlerine ait sonuçların eğitim ve test verisi olarak kullanıldığı denemelerin her ikisinde de, Modüler Yapay Sinir Ağları, Jordan/Elman Ağları, Temel Bileşen Analizi, Zaman Gecikmeli Yapay Sinir Ağları, Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları ve Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) anlamlı sonuçlar üretmişlerdir.

Ayrıca bu yapay zeka yöntemlerinin yüzeysel akışı belirleme başarıları taban akışından daha yüksek bulunmuştur. Çalışmada denenen diğer yapay zeka yöntemlerinden Çok Katmanlı Algılayıcıların, Genelleştirilmiş İleri Beslemeli Ağlarının, RBF/GRINN/PNN Yapay Sinir Ağlarının ve Kendi Kendine Öğrenen Nitelik Haritalarının ise yüksek hata oranları ve 0,1 den küçük determinasyon katsayıları ile akım ayırma işleminde başarı gösteremedikleri anlaşılmıştır.

Dijital filtreleme yöntemi verilerinin kullanıldığı Tablo 3.6 daki sonuçlar incelendiğinde, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (CANFIS) yüzeysel akışta, 2,31 mutlak hata, 5,01 ortalama karesel hatanın kare kökü ve 0,93 determinasyon katsayısı ve taban akışında 2,28 mutlak hata, 4,64 ortalama karesel hatanın kare kökü ve 0,91 determinasyon katsayısı değerleri ile iyi sonuçları verdiği görülebilir.

Benzer şekilde, İngiliz hidroloji enstitüsü verilerinin kullanıldığı denemelerde de (Tablo 3.7), Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) yüzeysel akışta, 5,63 mutlak hata, 10,21 ortalama karesel hatanın kare kökü ve 0,80 determinasyon katsayısı ve taban akışında 5,59 mutlak hata, 9,35 ortalama karesel hatanın kare kökü ve 0,77 determinasyon katsayısı değerleri ile en iyi sonuçları vermiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkılarak çalışmada akım ayırma yöntemi olarak kullanılacak yapay zeka yönteminin Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) olmasına karar verilmiş ve diğer akım istasyonlarının akım verileri kullanılarak bu yöntemin yüzeysel akış ve taban akışının belirlenmesindeki başarısının ayrıntılı olarak incelenmesine karar verilmiştir.

3.4.2. 1302 nolu istasyondaki yapay zeka uygulaması sonuçları

Büyük Melen üzerinde bulunan 1302 nolu akım gözlem istasyonuna ait akım verilerinin Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) kullanılarak bileşenlerine ayrılması ile elde edilen sonuçlara ait istatistikî değerler Tablo 3.8' de sunulmuştur. Tablo 3.8' deki akım ortalamalarına bakıldığında (X_{ort}) eğitim ve test verisi olarak Dijital filtreleme yöntemi sonuçlarının kullanıldığı $CANFIS_{DFM}$ in yüzeysel akış ortalama değeri (15,98), İngiliz hidroloji enstitüsü yöntemi sonuçlarının kullanıldığı $CANFIS_{İHEY}$ in yüzeysel akış ortalamasından (9,51) yüksek bulunmuştur. Taban akışında ise $CANFIS_{İHEY}$ ortalama değeri (22,49), $CANFIS_{DFM}$ ortalama değerinden (16,2) yüksektir. Bu durum DFM ve İHEY yöntemlerinin ortalama değerleriyle paraleldir. Diğer taraftan toplam akışın ortalama değerinin taban akışı değerine ve minimum akarsu akışının taban akışına çok yakın olması, akarsu akımının çoğunlukla kurak dönemlerde olmak üzere taban akışından oluştuğunu belirtmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda bu durum belirtilmiş, taban akışının toplam akarsu akımının tamamına yakını oluşturabileceği belirtilmiştir [128, 129, 130, 131].

Tablo 3.8. 1302 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin istatistikî değerleri

| | Yüzeysel Akış (m^3/s) | | | | | Taban Akışı (m^3/s) | | | |
|-----------|---------------------------|-------|-------|----------------|-----------------|-------------------------|-------|----------------|-----------------|
| | Toplam Akış | DFM | İHEY | $CANFIS_{DFM}$ | $CANFIS_{İHEY}$ | DFM | İHEY | $CANFIS_{DFM}$ | $CANFIS_{İHEY}$ |
| X_{ort} | 36,35 | 18,19 | 11,55 | 15,98 | 9,51 | 18,1 | 24,78 | 16,2 | 22,49 |
| S_x | 36,02 | 21,1 | 22,72 | 18,4 | 18,437 | 16,55 | 21,44 | 14,77 | 18,51 |
| X_{mak} | 472 | 344,2 | 438 | 224,86 | 265,48 | 170,3 | 136 | 120,5 | 77,31 |
| X_{min} | 1,86 | 0 | 0 | 0,08 | 0,01 | 1,82 | 1,86 | 1,79 | 1,83 |

$CANFIS_{DFM}$ ve $CANFIS_{İHEY}$ yöntemleriyle belirlenen yüzeysel akış ve taban akışı sonuçlarının standart sapmalarına bakıldığında DFM ve İHEY yöntemlerinden elde edilen değerlere benzer sonuçlar elde edildiği görülebilir. Her iki uygulamada da yüzeysel akışın standart sapmaları akım ortalamalarından yüksek, taban akışında da akım ortalamalarından düşük bulunmuştur. Akım türlerinin maksimum ve minimum

değerleri ise $CANFIS_{DFM}$ ve $CANFIS_{İHEY}$ yöntemlerinin her ikisinde de çok yakın değerler almıştır. Bu durum iki $CANFIS$ uygulamasında da 1302 nolu istasyondaki maksimum ve minimum akım değerlerinin eğitim ve test verisi olarak seçilmiş olmasının sonuçlara olan olumlu katkısıdır.

Tablo 3.9. 1302 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin performansının karşılaştırılması

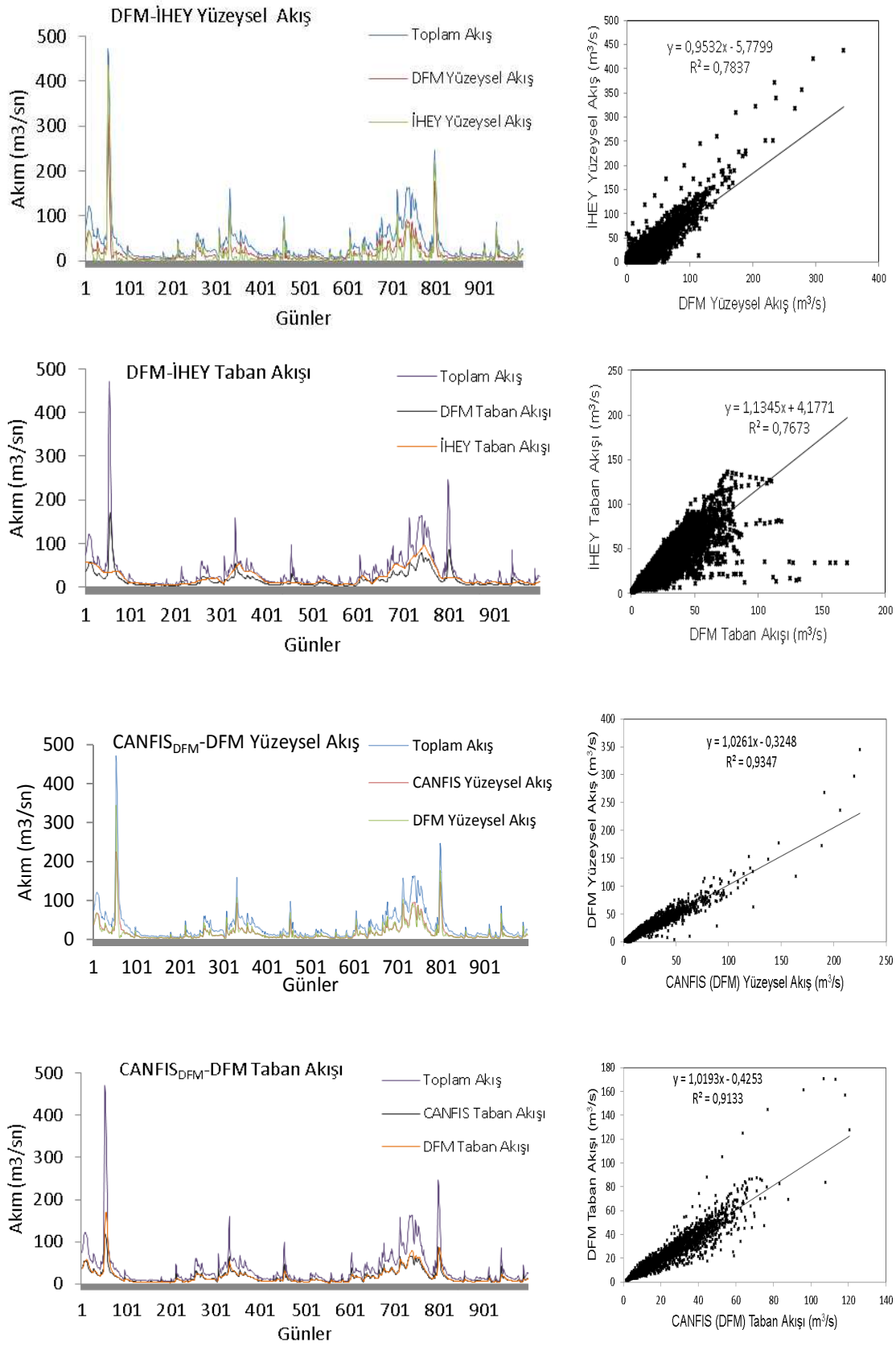
| Akış Tipi | DFM – İHEY | | CANFIS _{DFM} - DFM | | CANFIS _{İHEY} - İHEY | | CANFIS _{DFM} - CANFIS _{İHEY} | |
|---------------|------------|-------|-----------------------------|------|-------------------------------|-------|--|------|
| | MH | OKHK | MH | OKHK | MH | OKHK | MH | OKHK |
| Yüzeysel Akış | 8,55 | 12,51 | 2,31 | 5,01 | 5,63 | 10,21 | 6,63 | 8,06 |
| Taban Akışı | 8,45 | 12,74 | 2,28 | 4,64 | 5,59 | 9,35 | 6,47 | 8,24 |

Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin ($CANFIS$) toplam akımı bileşenlerine ayırmadaki performansının belirlenmesi amacıyla, kullanılan yöntemlerden elde edilen yüzeysel akış ve taban akışı değerlerinin mutlak hataları (MH) ve ortalama karesel hatanın karekökleri hesaplanarak, istatistiki olarak karşılaştırılmış ve Tablo 3.9’ daki sonuçlara ulaşılmıştır. Bu işlem $CANFIS_{DFM}$ ve $CANFIS_{İHEY}$ yöntemlerinin, eğitim ve test verilerini oluşturan DFM ve İHEY yöntemleri ve birbirleri ile karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.9’ daki yapay zeka uygulamalarının istatistik sonuçlarına bakıldığında yüzeysel akışta, en düşük mutlak hata (MH) sonucu $CANFIS_{DFM}$ – DFM yöntemleri arasında (2,31), en yüksek mutlak hata $CANFIS_{DFM}$ - $CANFIS_{İHEY}$ arasında (6,63), benzer şekilde en düşük ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK) $CANFIS_{DFM}$ – DFM yöntemleri arasında (5,01), en yüksek OKHK ise $CANFIS_{İHEY}$ - İHEY yöntemleri arasında (10,21) bulunmuştur. Taban akışında yapılan hata analizinde ise 2,28 ile en düşük MH değeri $CANFIS_{DFM}$ – DFM yöntemleri arasında, 6,47 ile en yüksek MH değeri $CANFIS_{DFM}$ - $CANFIS_{İHEY}$ arasında, 4,64 ile en düşük OKHK değeri $CANFIS_{DFM}$ – DFM yöntemleri arasında ve 9,35 ile en yüksek OKHK değeri $CANFIS_{İHEY}$ - İHEY yöntemleri arasında ortaya çıkmıştır. Hata analizi sonuçları yöntemler arasındaki farklılıkların yüzeysel akış ve taban akışında benzer olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu sonuçlardan yola çıkılarak, yapay zeka uygulamalarının arasındaki hata oranının DFM ve İHEY yöntemleri arasındaki hata oranından küçük olduğu söylenebilir.

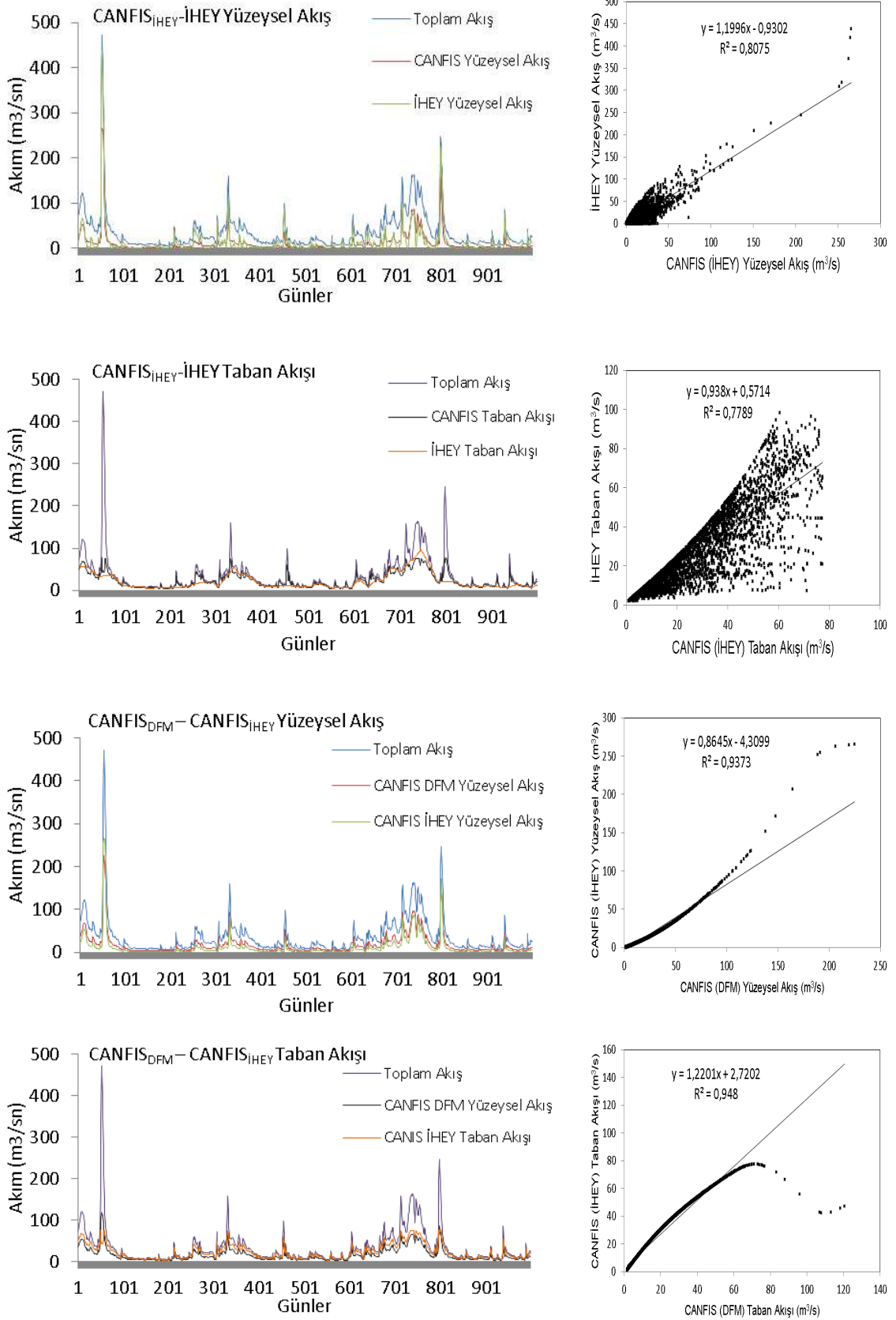
Tablo 3.10. 1302 nolu istasyon için taban akış indekslerinin (TAİ) istatistiki sonuçları

| | DFM - İHEY | CANFIS _{DFM} - DFM | CANFIS _{İHEY} - İHEY | CANFIS _{DFM} - CANFIS _{İHEY} |
|----------------|------------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| MH | 0,27 | 0,073 | 0,18 | 0,21 |
| OKHK | 0,3 | 0,09 | 0,21 | 0,22 |
| R ² | 0,79 | 0,82 | 0,88 | 0,86 |

Toplam akarsu akımını bileşenlerine ayırmada kullanılan yöntemlerin karşılaştırılmasında önemli bir parametre taban akış indeksidir [21, 79]. Ayrıca taban akış indeksi (TAİ) taban akışının toplam akarsu akımının ne kadarını oluşturduğunun da bir göstergesidir [128]. 1302 nolu istasyon için taban akış indekslerinin (TAİ) istatistiki sonuçları incelendiğinde (Tablo 3.10) en düşük mutlak hata (0,073) ve ortalama karesel hatanın karekökü (0,09) değerinin CANFIS_{DFM} – DFM yöntemleri arasında olduğu görülebilir. Yöntemlerin sonuçları arasındaki benzerliğin bir göstergesi olan determinasyon katsayısı değerlerinde ise en yüksek değer CANFIS_{İHEY} – İHEY yöntemleri arasında (0,88) bulunmuştur. Ayrıca tüm yöntemlerin determinasyon katsayılarının yüksek olması (>0,79), yöntemlerin sonuçlarının önemli ölçüde benzer olduğunu belirtmektedir. 1302 nolu istasyon için yüzeysel akış ve taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri Şekil 3.12’ de verilmiştir. Veri fazlalığı nedeniyle oluşacak karmaşıklığı önlemek ve sonuçların daha net anlaşılmasını sağlamak amacıyla, hidrograflarda 1000 günlük akım değeri, saçılma grafiklerinde ise sonuçların tamamı kullanılmıştır. Tüm yöntemlerin akım hidrograflarında yüzeysel akış, toplam akarsu akışının pik yaptığı değerlere uyumlu artışlar göstermektedir. Dijital filtreleme yönteminde ve bu yöntemin sonuçlarının eğitim ve test verisi olarak kullanıldığı CANFIS_{DFM} yönteminde bu uyum daha belirgin olarak görülmüştür. Taban akışında ise en uyumlu sonuçlar CANFIS_{DFM} ve CANFIS_{İHEY} yöntemlerinin hidrograflarında oluşmuştur. Saçılma grafikleri incelendiğinde bu durum daha açık olarak görülebilir. 1302 nolu istasyonda kullanılan tüm yöntemlerin saçılma grafikleri ve determinasyon katsayıları (> 0,76) sonuçların benzerliğini ortaya koyarken, yüzeysel akış (R²=0,93) ve taban akışında (R²=0,94) CANFIS_{DFM} ve CANFIS_{İHEY} yöntemlerinin en yakın sonuçlar olduğu görülmüştür. Literatürdeki benzer çalışmalarda 0,68 - 0,79 arasında değişen determinasyon katsayıları bulunmaktadır [132].



Şekil 3.12. 1302 nolu istasyon için yüzeysel akış, taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri



Şekil 3.12. 1302 nolu istasyon için yüzeysel akış, taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri (Devamı)

3.4.3. 1340 nolu istasyondaki yapay zeka uygulaması sonuçları

Tablo 3.11' de Büyük Melen üzerinde bulunan 1340 nolu istasyona ait yüzeysel akış ve taban akışı sonuçlarının istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen istatistik sonuçlarına göre yüzeysel akış ve taban akışının her ikisinde de CANFIS uygulamalarında elde edilen akım ortalamaları DFM ve İHEY yöntemlerine yakındır.

Standart sapma değerleri ise yüzeysel akışta, 1302 ve 1339 nolu istasyonlarda da benzer olduğu üzere genellikle ortalama değerden yüksektir. Ayrıca her iki akım türünde de maksimum akım değerleri $CANFIS_{DFM}$ ve $CANFIS_{İHEY}$ uygulamalarında DFM ve İHEY uygulamalarına göre düşük bulunmuştur. Maksimum değerler arasındaki bu fark yüzeysel akışta, taban akışına göre daha fazladır.

Tablo 3.11. 1340 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin istatistiki değerleri

| | Yüzeysel Akış (m^3/s) | | | | | Taban Akışı (m^3/s) | | | |
|-----------|---------------------------|-------|-------|----------------|-----------------|-------------------------|-------|----------------|-----------------|
| | Toplam Akış | DFM | İHEY | $CANFIS_{DFM}$ | $CANFIS_{İHEY}$ | DFM | İHEY | $CANFIS_{DFM}$ | $CANFIS_{İHEY}$ |
| X_{ort} | 48,89 | 24,46 | 16,29 | 24,84 | 16,69 | 24,43 | 32,59 | 23,95 | 32,14 |
| S_X | 49,53 | 29,5 | 33,43 | 29,32 | 31,56 | 22,48 | 27,98 | 21,01 | 23,13 |
| X_{mak} | 680 | 498,8 | 629 | 265,2 | 406,1 | 229,8 | 179 | 192,19 | 111,78 |
| X_{min} | 2,1 | 0 | 0 | 2,63 | 0,04 | 1,18 | 2,1 | 2,65 | 4,3 |

Kullanılan akım ayırma yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılmasında (Tablo 3.12) yüzeysel akış ve taban akışında, 1340 nolu istasyonun mutlak hata (MH) ve ortalama karesel hatanın kare kökü (OKHK) değerleri 1302 ve 1339 nolu istasyonlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Özellikle OKHK değerlerinde görülen bu durum 1340 nolu istasyonun diğer iki istasyona göre daha yüksek toplam akım değerlerine sahip olmasından kaynaklanmıştır. Akım değerlerinin mutlak değer olarak büyük olmasının yüksek

OKHK değerlerine neden olduğu literatürdeki farklı çalışmalarda da görülmektedir [133, 134].

Yapılan hesaplamalar sonucunda bu istasyon için en düşük MH değeri 3,84 ile taban akışında ve CANFIS_{DFM} - DFM uygulamaları arasında, en yüksek MH değeri ise 11,45 ile yüzeysel akışta ve DFM - İHEY yöntemleri arasında bulunmuştur. Bunun yanında en düşük OKHK değerine 8,03 ile taban akışında ve CANFIS_{DFM} - DFM uygulamaları arasında, en yüksek OKHK değerine ise 17,46 ile yüzeysel akışta ve CANFIS_{İHEY} - İHEY yöntemleri arasında rastlanmıştır.

Tablo 3.12. 1340 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin performansının karşılaştırılması

| Akış Tipi | DFM - İHEY | | CANFIS _{DFM} - DFM | | CANFIS _{İHEY} - İHEY | | CANFIS _{DFM} - CANFIS _{İHEY} | |
|---------------|------------|-------|-----------------------------|-------|-------------------------------|-------|--|-------|
| | MH | OKHK | MH | OKHK | MH | OKHK | MH | OKHK |
| Yüzeysel Akış | 11,45 | 17,13 | 4,03 | 10,16 | 9,51 | 17,46 | 8,97 | 11,26 |
| Taban Akışı | 11,26 | 17,38 | 3,84 | 8,03 | 9,23 | 15,68 | 8,84 | 10,65 |

Literatürdeki akım ayırma yöntemlerinin karşılaştırılmasında, akım değerlerinin karşılaştırılmasından çok taban akış indeksi (TAİ) sonuçlarının karşılaştırılması daha belirleyici bulunmaktadır [21, 79]. 1340 nolu istasyona ait TAİ sonuçları incelendiğinde (Tablo 3.13) yöntemler arasındaki hata oranlarının çok düşük olduğu açıkça görülmektedir.

En düşük mutlak hata ve ortalama karesel hatanın karekökü değerleri CANFIS_{DFM} - DFM yöntemleri arasında, en yüksek değerler ise CANFIS_{İHEY} - İHEY yöntemleri arasında belirlenmiştir.

Yöntemlerin sonuçlarının determinasyon katsayılarına bakılarak benzerlikleri araştırıldığında ise, R² değerlerinin (>0,71) yüksek olduğu ve başta en yüksek değere sahip olan CANFIS_{DFM} - CANFIS_{İHEY} karşılaştırması olmak üzere tüm karşılaştırmalarda sonuçların önemli ölçüde benzer olduğu bulunmuştur.

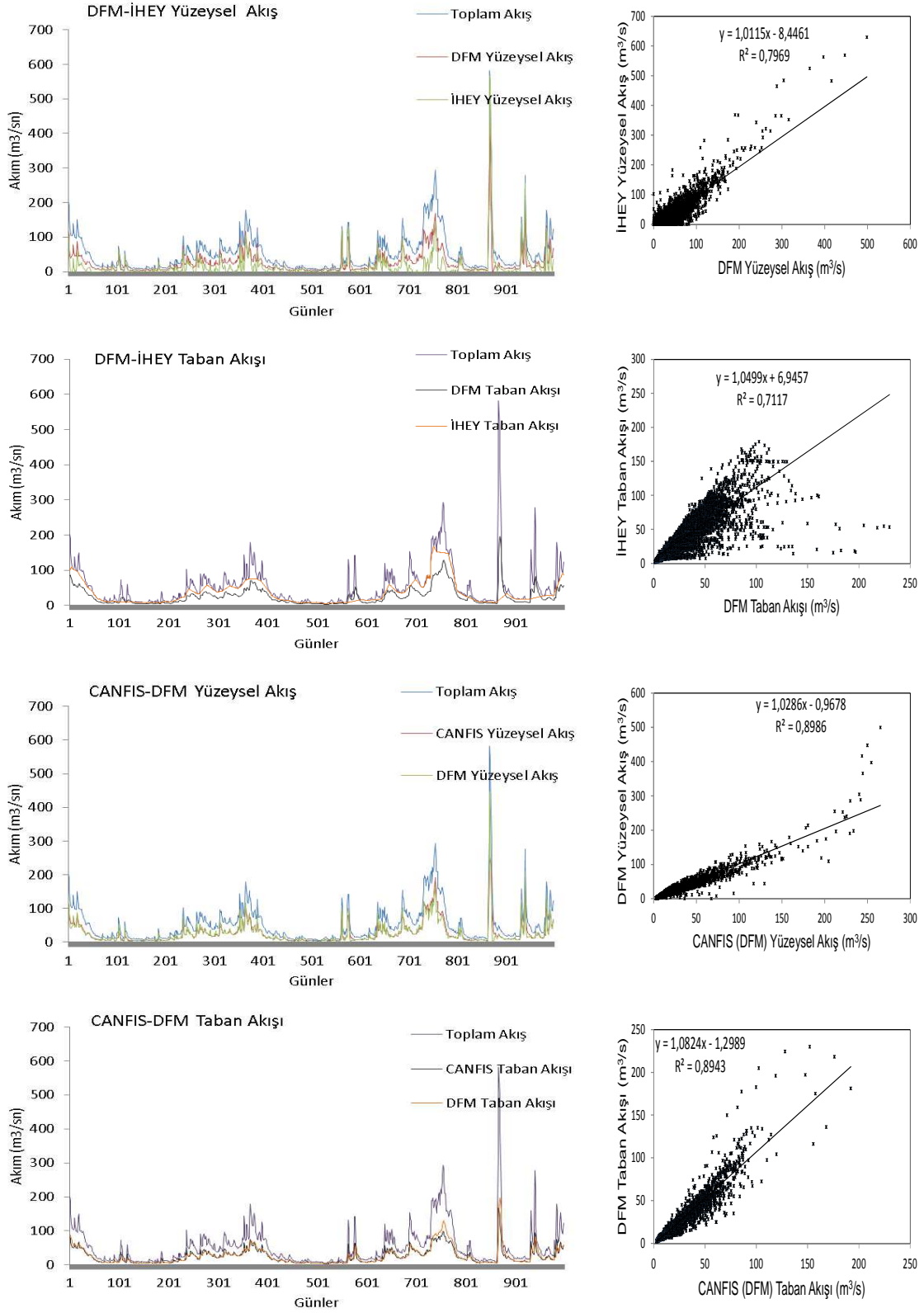
Tablo 3.13. 1340 nolu istasyon için taban akış indekslerinin (TAİ) istatistiki sonuçları

| | DFM - İHEY | CANFIS _{DFM} - DFM | CANFIS _{İHEY} - İHEY | CANFIS _{DFM} - CANFIS _{İHEY} |
|----------------|------------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| MH | 0,27 | 0,073 | 0,75 | 0,24 |
| OKHK | 0,3 | 0,09 | 0,87 | 0,25 |
| R ² | 0,80 | 0,82 | 0,89 | 0,94 |

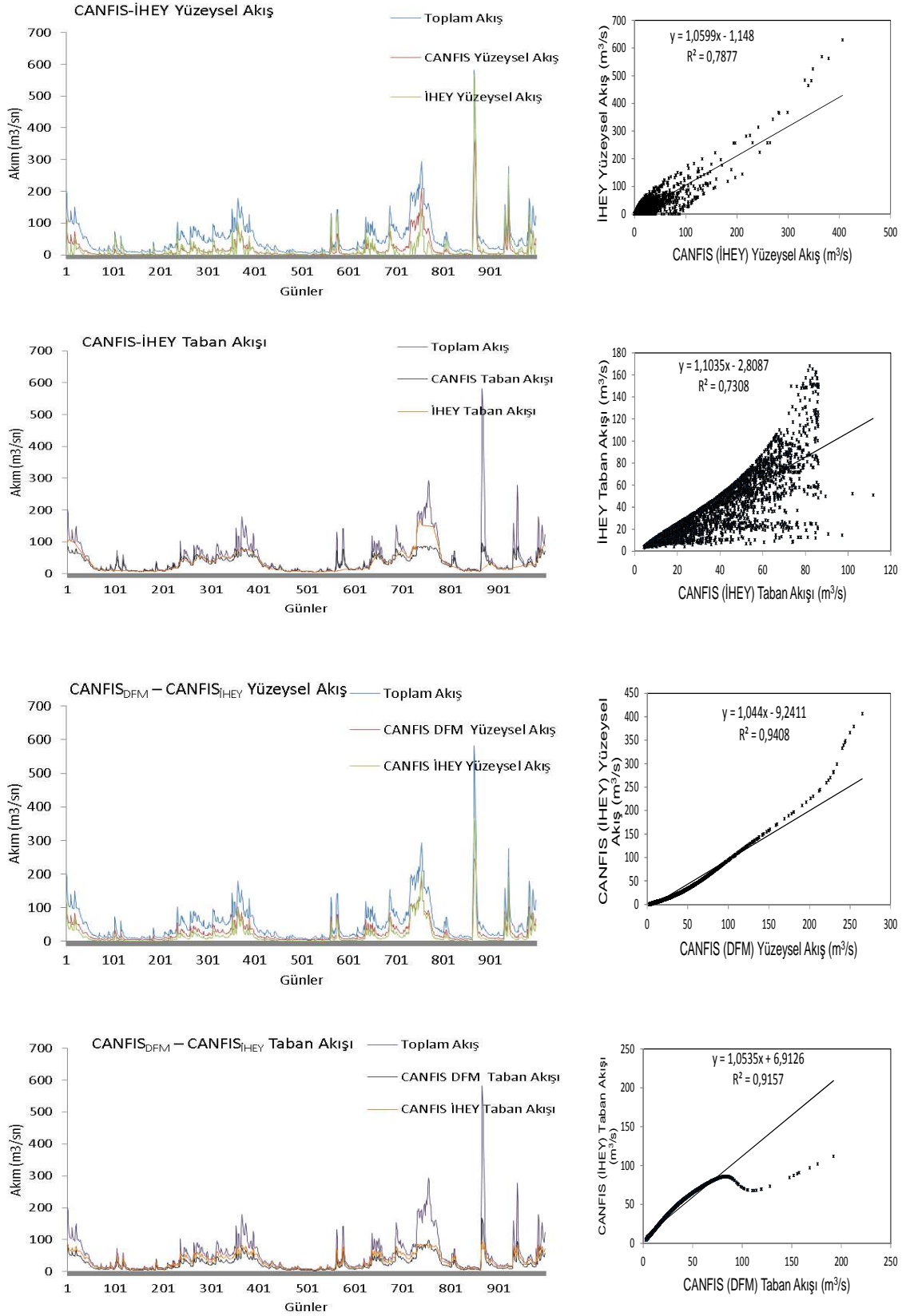
Şekil 3.13' de 1340 nolu istasyonun akım verileri kullanılarak çizilmiş yüzeysel akış, taban akışı ve saçılma grafikleri bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan yöntemlerin sonuçlarının ayrı ayrı karşılaştırılması amacı ile çizilen bu grafikler incelendiğinde tüm akım ayırma yöntemlerinin, hem akarsu akışının azaldığı dönemlerde, hem de kuvvetli yağışlardan sonraki kısa süreli yükselişlerde benzer şekilde ve akarsu akımına uyumlu davrandığı söylenebilir.

Bununla birlikte yüzeysel akış ve taban akışının her ikisinde de, CANFIS_{DFM} - CANFIS_{İHEY} yöntemlerinin akım hidrografları, DFM ve İHEY yöntemlerinin akım hidrograflarına göre daha uyumludur. Akım hidrograflarında açıkça gözlenebilen bu durum, eğitim ve test verisi olarak seçilen sonuçların hangi yöntemle elde edildiğinin, sonuçlar üzerinde çok fazla bir etkisinin olmadığını gösteren çıktılardan birisidir.

Diğer akım gözlem istasyonlarında da benzer olduğu gibi, yöntemlerden elde edilen sonuçların yakınlığı 1340 nolu istasyonda da belirgin olarak görülmektedir. Bu durum özellikle Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (CANFIS) kullandığı CANFIS_{DFM} - CANFIS_{İHEY} yöntemlerine ait saçılma grafiklerinde ($R^2=0,93$) açıkça görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlardan toplam akarsu akımı değerinin yüksek olduğu durumlarda da CANFIS uygulamalarının yüksek oranda tutarlı sonuçlar ürettiği söylenebilir.



Şekil 3.13. 1340 nolu istasyon için yüzeysel akış ve taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri



Şekil 3.13. 1340 nolu istasyon için yüzeysel akış ve taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri (Devamı)

3.4.4. 1339 nolu istasyondaki yapay zeka uygulaması sonuçları

Tablo 3.14' de Aksu Deresi üzerinde bulunan 1339 nolu akım gözlem istasyondaki akım verilerinin DFM, İHEY ve CANFİS yöntemleri kullanılarak bölümlerine ayrılmasına ait istatistiksel sonuçlar verilmiştir. 1339 nolu istasyonun akım ortalamalarına (X_{ort}) bakıldığında yüzeysel akış ve taban akışının her ikisinde de tüm yöntemlerin çok yakın değerlere sahip olduğu söylenebilir. Standart sapma (S_X) değerlerine bakıldığında ise, yüzeysel akışta en düşük standart sapmanın 2,65 ile CANFİS_{İHEY} yönteminde, en yüksek standart sapma değerinin ise 3,30 ile İHEY yönteminde olduğu görülebilir. Bununla birlikte toplam akım ve yüzeysel akış sonuçlarının standart sapmaları akımın ortalama değerlerinden yüksek bulunmuştur. Bu durum maksimum ve minimum değerler arasındaki yüksek farktan da anlaşılacağı gibi, özellikle şiddetli yağış görülen dönemlerde, yağışın yüzeysel akışa dönüşerek toplam akırsu akışını beslemesinden kaynaklanmaktadır. Taban akışında ise en düşük S_X değeri 1,69 ile CANFİS_{DFM} yönteminde, en yüksek S_X değeri ise 1,81 ile yüzeysel akışta da olduğu gibi İHEY yönteminde hesaplanmıştır. Yüzeysel ve taban akışının maksimum (X_{mak}) değerleri CANFİS uygulamalarında DFY ve İHEY yöntemlerine göre düşük, minimum (X_{min}) akış değerleri ise tüm yöntemlerde eşit bulunmuştur.

Tablo 3.14. 1339 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin istatistiksel değerleri

| | Yüzeysel Akış (m ³ /s) | | | | | Taban Akışı (m ³ /s) | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------|-------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|------|-----------------------|------------------------|
| | Toplam Akış | DFM | İHEY | CANFİS _{DFM} | CANFİS _{İHEY} | DFM | İHEY | CANFİS _{DFM} | CANFİS _{İHEY} |
| X_{ort} | 3,72 | 1,82 | 1,57 | 1,72 | 1,51 | 1,88 | 2,14 | 1,79 | 2,13 |
| S_X | 4,29 | 2,68 | 3,30 | 2,71 | 2,65 | 1,78 | 1,81 | 1,69 | 1,77 |
| X_{mak} | 75,8 | 62,58 | 72,66 | 41,98 | 50,56 | 18,07 | 12,5 | 11,8 | 10,93 |
| X_{min} | 0,06 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,06 |

1339 nolu akım gözlem istasyonu verileri ile yapılan akım ayırma işlemleri sonrasında elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına ait istatistiksel sonuçlar Tablo 3.15' de sunulmuştur.

CANFIS uygulamalarından elde edilen yüzeysel akış sonuçlarının DFM ve İHEY yöntemlerinin sonuçlarıyla karşılaştırıldığı hata incelemesinde, en küçük mutlak hata (MH) değeri (0,43) $CANFIS_{DFM} - CANFIS_{İHEY}$ yöntemlerinin karşılaştırılmasında, en yüksek mutlak hata değeri (0,80) $CANFIS_{DFM} - DFM$ yöntemlerinin karşılaştırılmasında elde edilirken, ortalama karesel hatanın karekökünde (OKHK) en düşük değer (0,41) $CANFIS_{DFM} - DFM$ yöntemlerinin karşılaştırılmasında, en yüksek değer (1,41) $CANFIS_{İHEY} - İHEY$ yöntemlerinin karşılaştırılmasında elde edilmiştir.

Bunun yanında taban akışı sonuçlarının karşılaştırılmasında ise, en düşük mutlak hata (0,42) $CANFIS_{DFM} - CANFIS_{İHEY}$ yöntemlerinin karşılaştırılmasında, en yüksek mutlak hata (0,72) $CANFIS_{DFM} - DFM$ yöntemlerinin karşılaştırılmasında elde edilirken, en düşük ortalama karesel hatanın karekökü değeri (0,35) $CANFIS_{DFM} - DFM$ yöntemlerinin karşılaştırılmasında, en yüksek ortalama karesel hatanın karekökü değeri (1,19) $CANFIS_{İHEY} - İHEY$ yöntemlerinin karşılaştırılmasında elde edilmiştir.

Tablo 3.15. 1339 nolu istasyon için çalışmada kullanılan yöntemlerin performansının karşılaştırılması

| Akış Tipi | DFM - İHEY | | CANFIS _{DFM} - DFM | | CANFIS _{İHEY} - İHEY | | CANFIS _{DFM} - CANFIS _{İHEY} | |
|---------------|------------|------|-----------------------------|------|-------------------------------|------|--|------|
| | MH | OKHK | MH | OKHK | MH | OKHK | MH | OKHK |
| Yüzeysel Akış | 0.83 | 1.32 | 0.80 | 0.41 | 0.76 | 1.41 | 0.43 | 0.54 |
| Taban Akışı | 0.76 | 1.20 | 0.72 | 0.35 | 0.69 | 1.19 | 0.42 | 0.48 |

Tablo 3.15' de ki MH ve OKHK sonuçları birlikte incelendiğinde tüm yöntemlerde yüzeysel akış ve taban akışının benzer özellikler gösterdiği ve hata analizi sonucunda en yakın yüzeysel akış ve taban akışı değerlerinin $CANFIS_{DFM} - CANFIS_{İHEY}$ yöntemlerinin sonuçlarında elde edildiği söylenebilir. Ayrıca yine MH ve OKHK sonuçlarından tüm yöntemlerin taban akışı değerlerinin, yüzeysel akışa göre bir birlerine daha yakın olduğu söylenebilir.

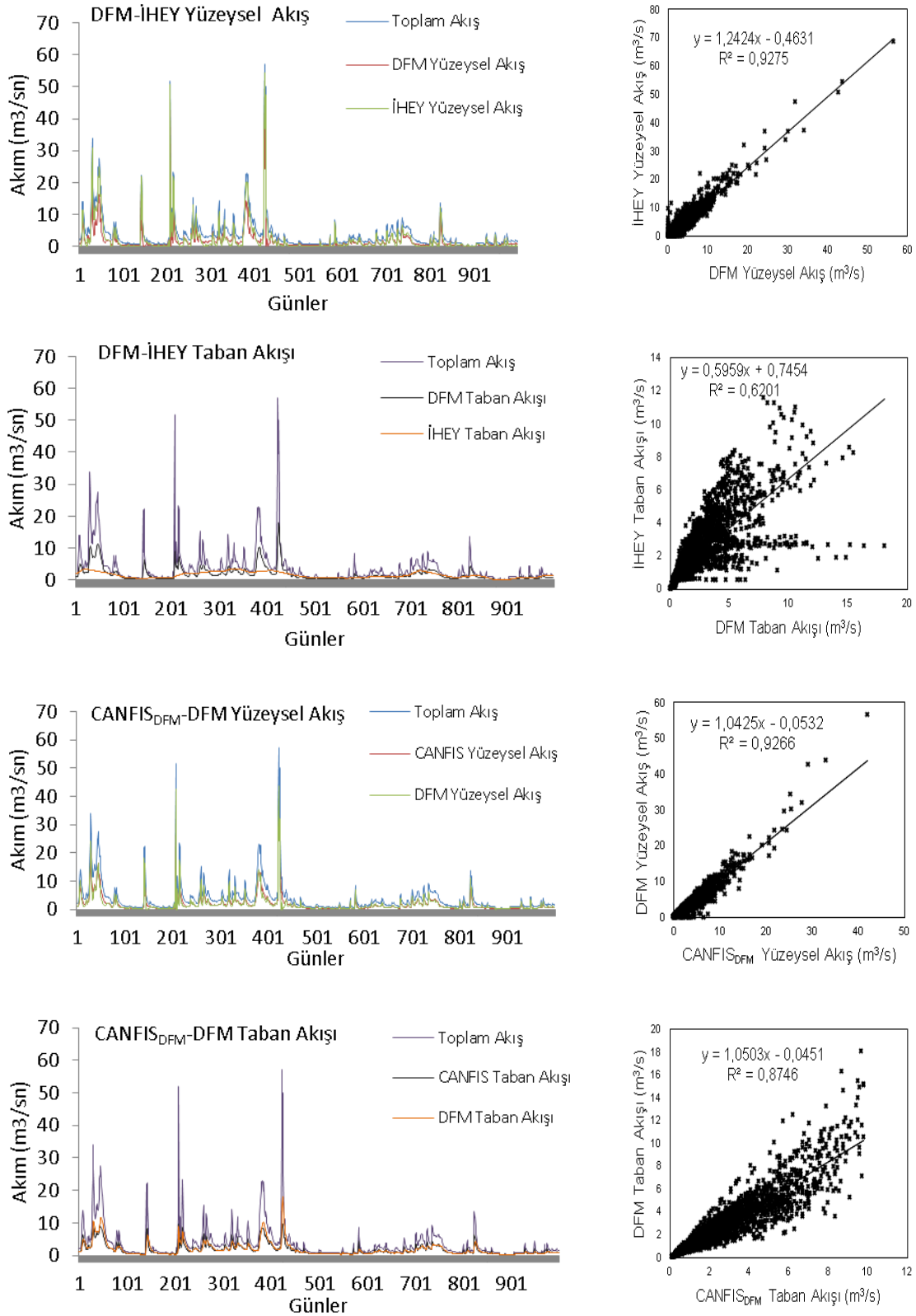
Taban akış indeksi (TAİ) sonuçlarına bakılarak 1339 nolu istasyon için akım ayırma yöntemlerinin başarısı incelendiğinde ise (Tablo 3.16), en düşük MH (0,08) ve

OKHK (0,11) değerlerinin $CANFIS_{DFM}$ - DFM yöntemleri arasında, en yüksek MH (0,35) ve OKHK (0,49) değerlerinin ise $CANFIS_{DFM}$ - $CANFIS_{İHEY}$ yöntemleri arasında olduğu ve karşılaştırılan tüm yöntemler arasındaki hata oranlarının çok düşük olduğu görülebilir. Elde edilen sonuçların benzerliklerinin incelendiği bir diğer parametre olan R^2 değerleri de bu durumu desteklemektedir ($>0,76$). Taban akış indekslerinin karşılaştırılmasında belirlenen en yüksek R^2 değerleri 0,92 ile en düşük hata oranlarına sahip (MH ve OKHK) $CANFIS_{DFM}$ - DFM arasındadır.

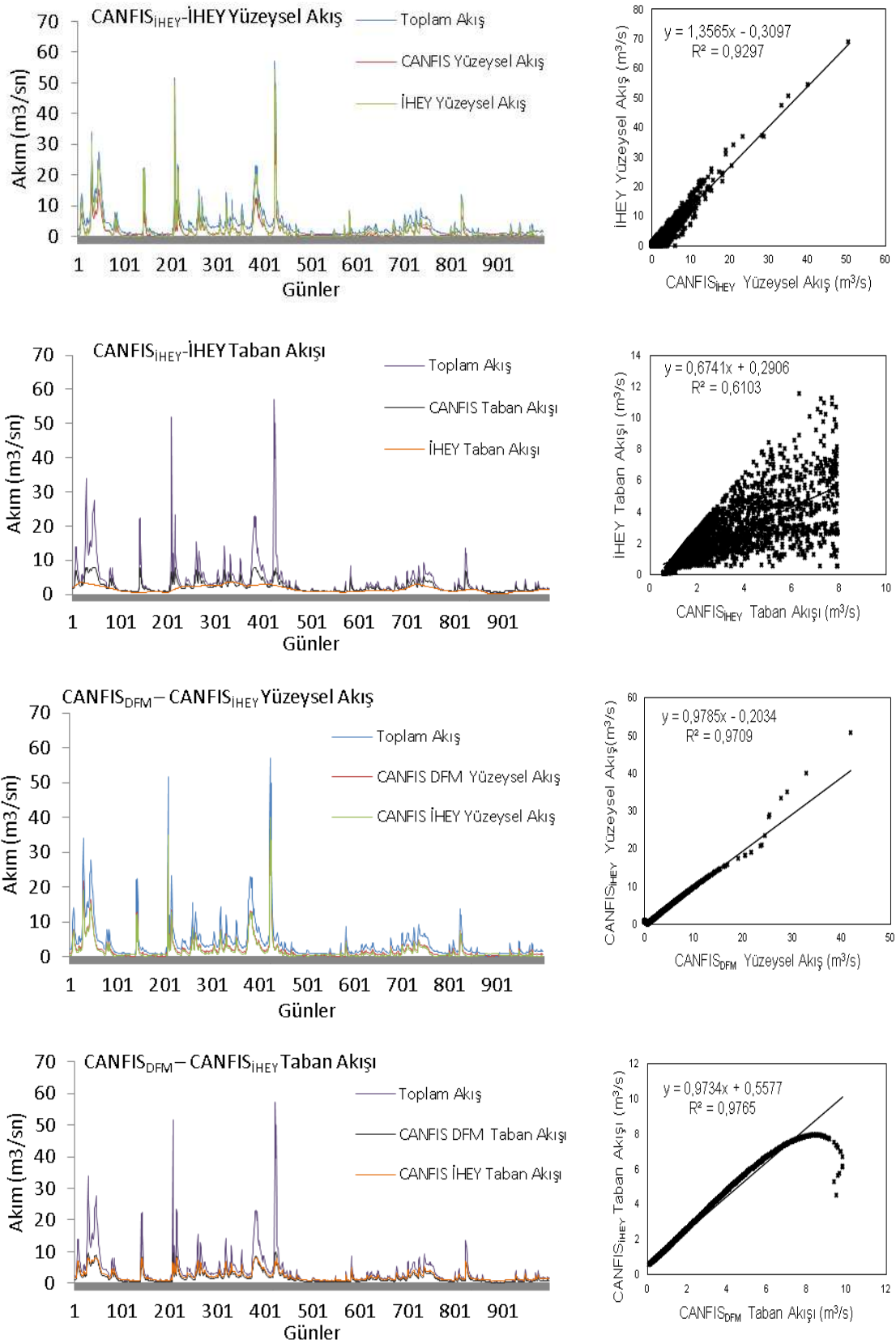
Tablo 3.16. 1339 nolu istasyon için taban akış indekslerinin (TAİ) istatistiki sonuçları

| | DFM - İHEY | $CANFIS_{DFM}$ - DFM | $CANFIS_{İHEY}$ - İHEY | $CANFIS_{DFM}$ - $CANFIS_{İHEY}$ |
|-------|------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|
| MH | 0.26 | 0.08 | 0.23 | 0.35 |
| OKHK | 0.30 | 0.11 | 0.41 | 0.49 |
| R^2 | 0,76 | 0.92 | 0.83 | 0.91 |

1339 nolu istasyon için çizilen akım eğrileri ve saçılma grafikleri Şekil 3.14' de sunulmaktadır. Şekil 3.14' deki akım grafikleri incelendiğinde her iki akım türünde $CANFIS_{DFM}$ - $CANFIS_{İHEY}$ uygulamalarının çalışmada kullanılan akım ayırma yöntemleri DFM ve İHEY' e göre daha uyumlu akım eğrileri oluşturduğu söylenebilir. Ayrıca $CANFIS$ uygulamalarının, toplam akarsu akımının pik yaptığı yağışlı dönemlerdeki yüzey akış artışlarına ve taban akışının doğadaki gerçek karakteri olan yavaş hareketine uygun hidrograflar oluşturduğu görülebilir. Saçılma grafikleri incelendiğinde tüm yöntemlerin sonuçlarının yüksek oranda benzerlik gösterdiği ve yüzeysel akış sonuçlarının taban akışı sonuçlarına göre birbirlerine daha yakın bulunduğu sonucu çıkarılabilir. Özellikle 1339 nolu istasyonda, her iki akım türünde de, $CANFIS_{DFM}$ - $CANFIS_{İHEY}$ yöntemlerinin karşılaştırılmasından elde edilen determinasyon katsayısı değeri ($R^2 = 0,97$) yüksektir. Bu durum her iki $CANFIS$ uygulamasının, düşük akım değerlerine sahip akarsularda da eğitim ve test verisi olarak DFM ve İHEY yöntemlerinin sonuçlarının kullanılmasından etkilenmeksizin yakın sonuçlar ürettiğini göstermiştir.



Şekil 3.14. 1339 nolu istasyon için yüzeysel akış ve taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri



Şekil 3.14. 1339 nolu istasyon için yüzeysel akış ve taban akışı değerleri ve saçılma grafikleri (Devamı)

3.5. Taban Suyu Seviyesinin Yapay Zeka Yöntemiyle Belirlenmesi

Taban suyu derinliğinin toprak nem profilini ve toprak neminin oldukça önemli etkisinin olduğu süzülme, drenaj ve akış gibi arazi yüzeyinde gerçekleşen hidrolojik olayları etkileyebildiği bilinmektedir. Literatürde taban suyu derinliği ile ilgili çalışmalarda, ortalama taban suyu derinliği ile toplam akış arasında belirgin bir ilişki olduğu rapor edilmektedir. Bu nedenle bu tür hidrolojik olayları simüle etmek için kullanılacak modellere taban suyu derinliği ile ilgili verilerin dahil edilmesinin modellerin daha gerçekçi sonuçlar üretmesine önemli katkılar sağlayacağı ifade edilmektedir [135, 136].

Bununla birlikte taban suyu derinliği, su kirlenmesi üzerine etki eden önemli bir faktördür. Yayılı kirleticilerin taban suyuna sızarak burada biriktiği ve özellikle taban suyunun akarsuyu beslediği kurak dönemlerde, akarsudaki kirlilik yükünü artırdığı çeşitli çalışmalarda belirtilmektedir [137, 138, 139, 140].

Ayrıca taban suyu derinliğinin özellikle tarımsal amaçlı sulama yapılan bölgelerde sürekli takip edilmesi gereklidir. Bundan dolayı taban suyu ölçümü için gerekli özellikte ölçüm kuyuları açılır ve bu kuyular sürekli olarak yapılan ölçümlerle takip edilirler. Ancak taban suyunun takibinin öneminin yanında, bu işlemler maliyet ve zaman açısından önemli külfetler getirmektedir. Bundan dolayı özellikle akarsu akımı veya yağışlar gibi hidrolojik verilerle taban suyu arasında bir korelasyon kurulup, taban suyunun bu veriler kullanılarak tahmin edilebilmesi oldukça önemli faydalar sağlayacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde, akım ayırma işlemlerinde başarı ile kullanılabildiği belirlenen Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) ile debi, yüzeysel akış ve taban akışı verileri kullanılarak taban suyu derinliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) 5. Bölgeye ait taban suyu derinlikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.17, 3.18, 3.19 ve Şekil 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 ve 3.19' da sunulmuştur. Belirtilen Tablo ve Şekillerde taban suyu derinlikleri ile ilgili sonuçlar Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün

kuyuları gruplandırmada kullandığı şekliyle sağ sahil, sol sahil ve tüm kuyular şeklinde ayrılmıştır.

Sağ sahilde bulunan taban suyu derinliklerinin, toplam akarsu akımı ve DFM ve İHEY yöntemleri ile belirlenen yüzeysel akış ve taban akışının CANFIS uygulamasının girdileri olarak kullanılmasıyla belirlenmesine ait sonuçların hata analizleri Tablo 3.17' de verilmiştir. Verilen sonuçlara göre sağ sahilde tüm uygulamaların MH ve OKHK değerleri birbirlerine yakın bulunmuştur. Ayrıca mutlak hata ve ortalama karesel hatanın karekökü sonuçları literatürdeki benzer çalışmalarda değerlendirildiği gibi başarılı bulunmuştur [141, 142].

Toplam akarsu akımının girdi olarak kullanılmasından elde edilen sonuçların gerçek taban suyu ölçüm değerlerine benzerliği ($R^2=0,66$) diğer tüm uygulamalardan yüksektir. Ayrıca gerçek değerlere benzerlik açısından, DFM yüzeysel akışta elde edilen sonuçlar ($R^2=0,63$) taban akıştakilerden ($R^2=0,56$) yüksek bulunurken, İHEY de taban akışında elde edilen sonuçlar ($R^2=0,62$) yüzeysel akıştan ($R^2=0,56$) yüksek bulunmuştur.

Tablo 3.17. CANFIS uygulaması ile belirlenen sağ sahil' deki taban suyu seviyelerinin karşılaştırılması

| Girdiler | Mutlak Hata (MH) | Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK) | Determinasyon Katsayısı (R^2) |
|---------------------|------------------|--|-----------------------------------|
| Toplam Akarsu Akımı | 0,34 | 0,39 | 0,66 |
| DFM Yüzeysel Akış | 0,33 | 0,39 | 0,63 |
| DFM Taban Akışı | 0,34 | 0,40 | 0,56 |
| İHEY Yüzeysel Akış | 0,38 | 0,46 | 0,52 |
| İHEY Taban Akışı | 0,33 | 0,39 | 0,62 |

Sol sahildeki sonuçlar (Tablo 3.18) incelendiğinde ise yöntemlerin MH ve OKHK sonuçlarının sağ sahilde olduğu gibi çok yakın bulunduğu, ancak hata oranlarının sağ sahilden düşük olduğu söylenebilir. Ayrıca sol sahilde en yüksek determinasyon katsayısının 0,68 ile toplam akımın girdi olarak kullanıldığı uygulamada görüldüğü

ve küçük bir fark olmasına rağmen sol sahilin determinasyon katsayısı değerlerinin sağ sahilden yüksek bulunduğu anlaşılabilir.

Tablo 3.18. CANFIS uygulaması ile belirlenen sol sahil' deki taban suyu seviyelerinin karşılaştırılması

| Girdiler | Mutlak Hata (MH) | Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK) | Determinasyon Katsayısı (R^2) |
|---------------------|------------------|--|-----------------------------------|
| Toplam Akarsu Akımı | 0,21 | 0,26 | 0,68 |
| DFM Yüzeysel Akış | 0,21 | 0,27 | 0,67 |
| DFM Taban Akışı | 0,20 | 0,26 | 0,65 |
| İHEY Yüzeysel Akış | 0,29 | 0,38 | 0,54 |
| İHEY Taban Akışı | 0,23 | 0,28 | 0,61 |

Tablo 3.19' da ki tüm kuyulara ait sonuçlar incelendiğinde ise tüm yöntemlerde en yüksek determinasyon katsayılarına ulaşıldığı açıkça görülmektedir. Sağ ve sol sahillerin her ikisinde de görüldüğü üzere en iyi sonuç, toplam akarsu akımının girdi olarak kullanılması ile elde edilirken ($R^2=0,73$), en düşük determinasyon katsayısı sonucu İHEY yüzeysel akışta ($R^2=0,55$) elde edilmiştir. Yine sağ ve sol sahilde olduğu gibi DFM yöntemiyle ayrılan akım bileşenlerinin girdi olarak kullanılmasından elde edilen sonuçlar, İHEY yöntemiyle ayrılan akım bileşenlerinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlara göre daha iyidir.

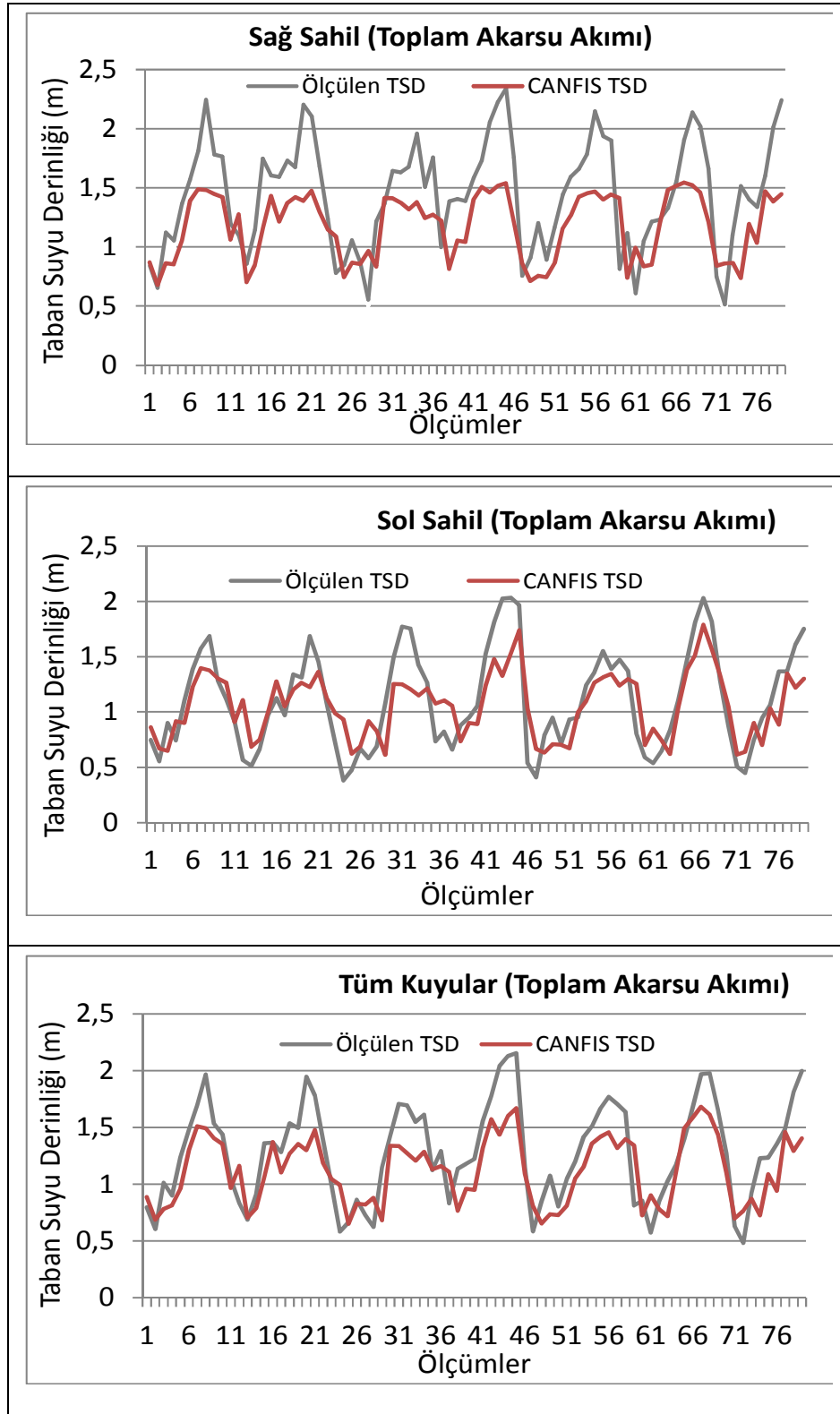
Tablo 3.19 CANFIS uygulaması ile belirlenen tüm kuyular' daki taban suyu seviyelerinin karşılaştırılması

| Girdiler | Mutlak Hata (MH) | Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK) | Determinasyon Katsayısı (R^2) |
|---------------------|------------------|--|-----------------------------------|
| Toplam Akarsu Akımı | 0,23 | 0,28 | 0,73 |
| DFM Yüzeysel Akış | 0,23 | 0,28 | 0,72 |
| DFM Taban Akışı | 0,24 | 0,29 | 0,70 |
| İHEY Yüzeysel Akış | 0,28 | 0,34 | 0,55 |
| İHEY Taban Akışı | 0,25 | 0,30 | 0,66 |

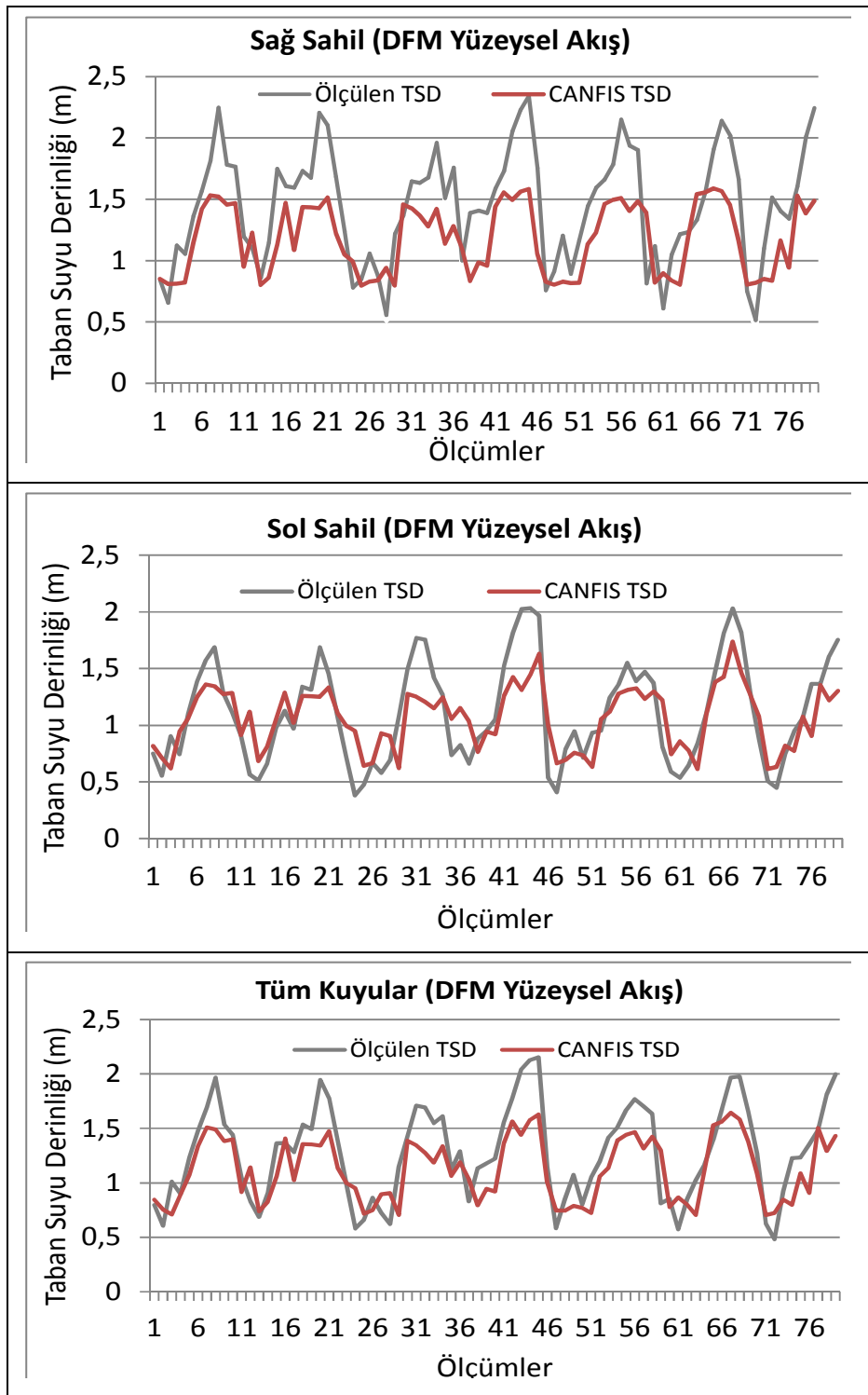
Hata analizi ve korelasyon incelemesinden elde edilen sonuçlar, tüm uygulamaların sonuçlarının gerçek taban suyu derinlikleri ile birlikte görüldüğü grafiklerde de doğrulanmaktadır. (Şekil 3.15,16,17,18,19). Toplam akarsu akımının girdi olarak kullanıldığı uygulamalarda özellikle taban suyunun minimum ve maksimum değerler yaptığı dönemlere en yakın tahminlerin yapılabildiği görülmektedir.

Benzer şekilde digital filtreleme yöntemi (DFM) ile ayrılan akım bileşenlerinin yapay zeka uygulamasının girdileri olarak kullanılmasında da gerçek değerlere uygun taban suyu derinlik eğrileri elde edilmiştir. Bununla birlikte özellikle gerçek taban suyu değerlerinin pik yaptığı zamanlarda bu uygulamadan elde edilen pik değerler, gerçek değerlere göre daha düşük kalmıştır. İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi ile ayrılan yüzeysel akış sonuçlarının kullanıldığı uygulamaların grafiklerinde ise, gerçek taban suyu derinliklerine uygun olmayan minimumlar oluşmuştur. Ancak bu gibi durumların bu tür çalışmalarda sıklıkla görüldüğü ve gerçek değerler ile tahmin edilen değerlere ait taban suyu eğrilerinin uyumlu gidişlerinin, sonuçların kabul edilebilir olduğunun bir göstergesi olabileceği literatürdeki bir çok çalışmada görülebilir [141, 143, 144].

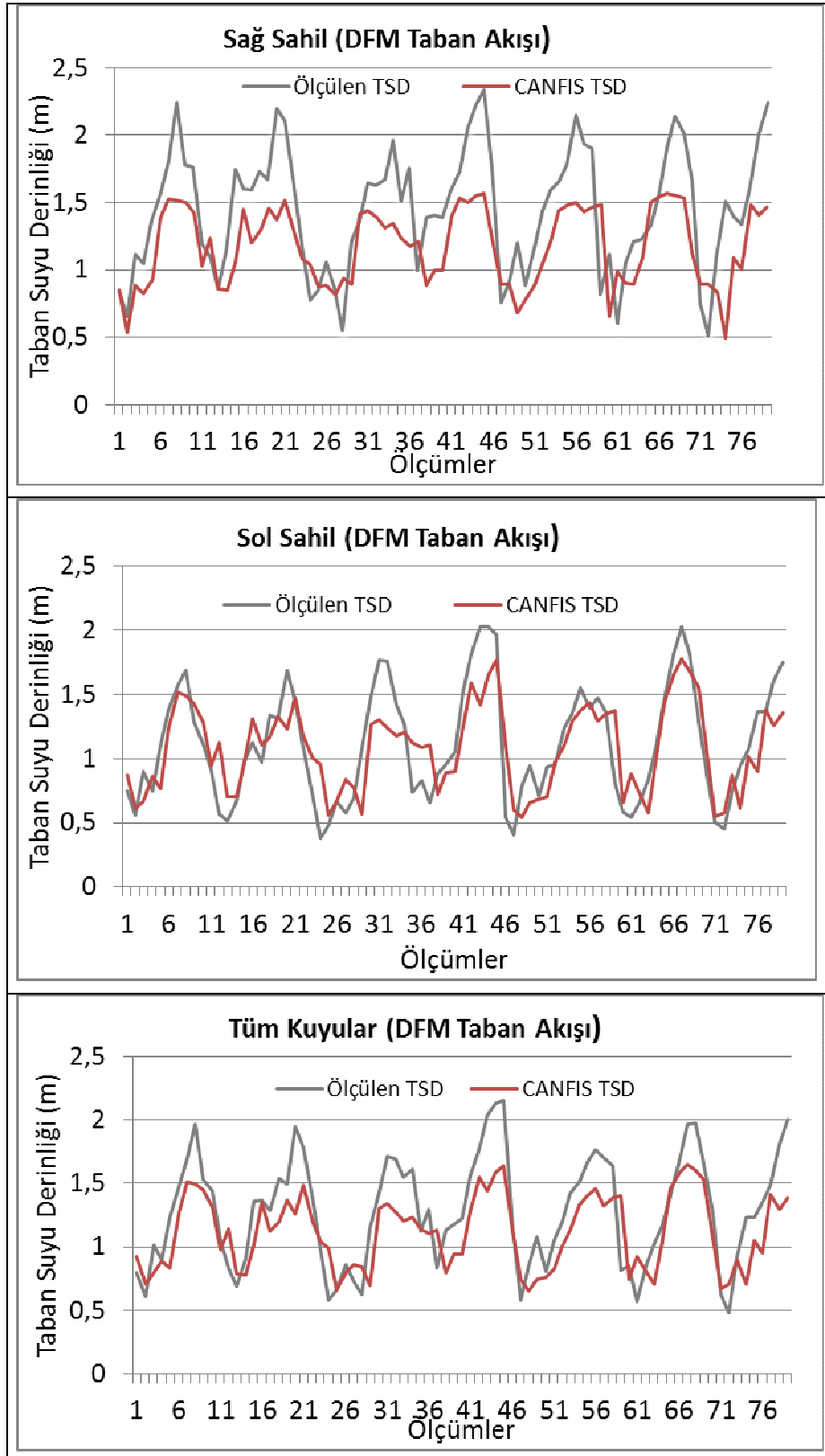
Sağ sahil, sol sahil ve tüm kuyulara ait taban suyu derinliği (TSD) grafikleri ve istatistiksel sonuçlar birlikte incelendiğinde yöntemlerin taban suyu derinliğini kurak veya yağışlı dönemlerden etkilenmeksizin, belirlemedeki başarısı açıkça görülmektedir. Özellikle toplam akarsu akımı verileri ile CANFIS uygulaması kullanılarak belirlenen taban suyu derinliklerinde ulaşılan 0,73 determinasyon katsayısı oldukça önemlidir. Literatürde bu tür karmaşık hidrolojik modeller için 0,60 ' dan büyük determinasyon katsayılarının önemli bir başarı olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır [132, 133, 142].



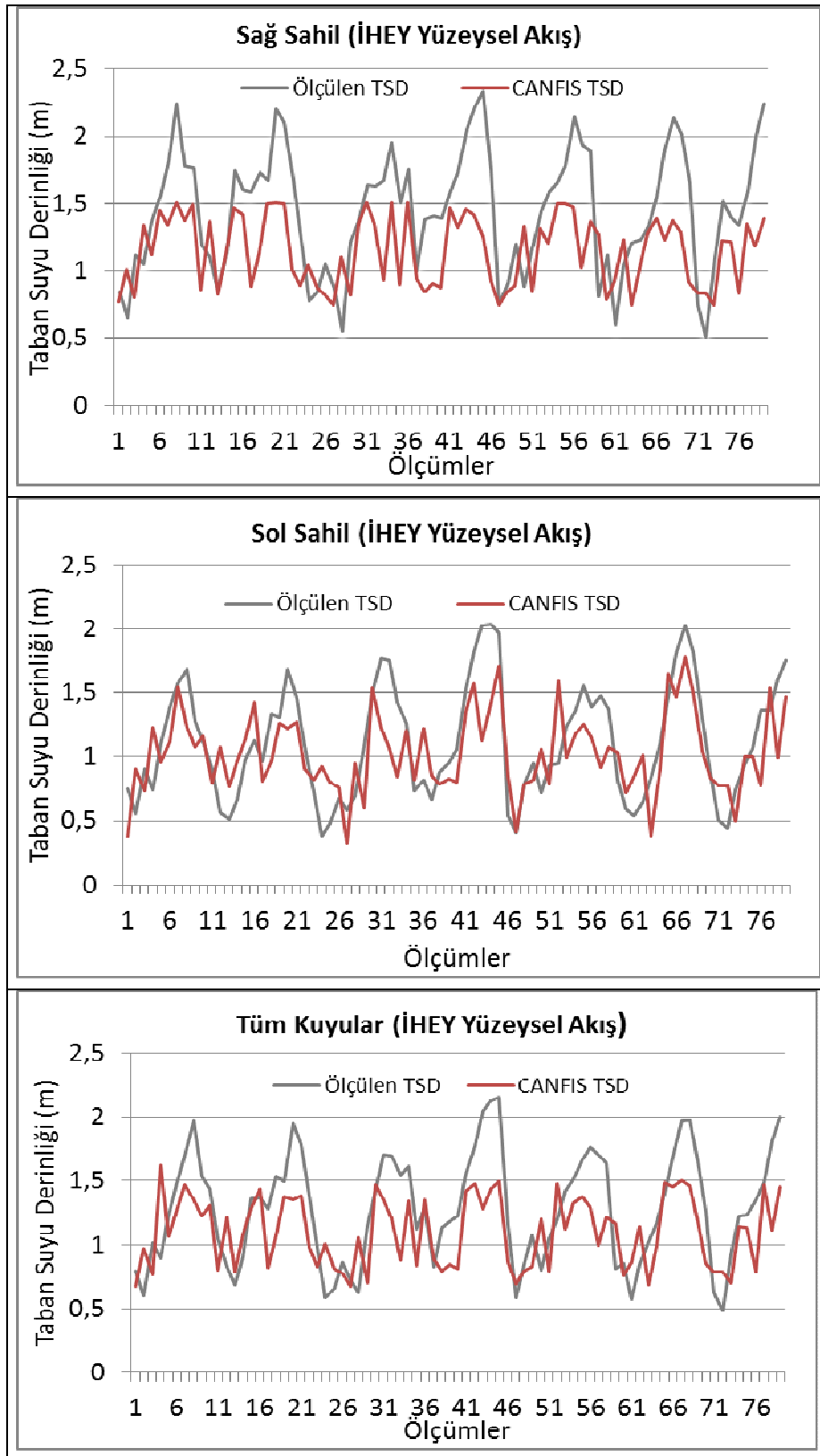
Şekil 3.15. Toplam akarsu akımının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları



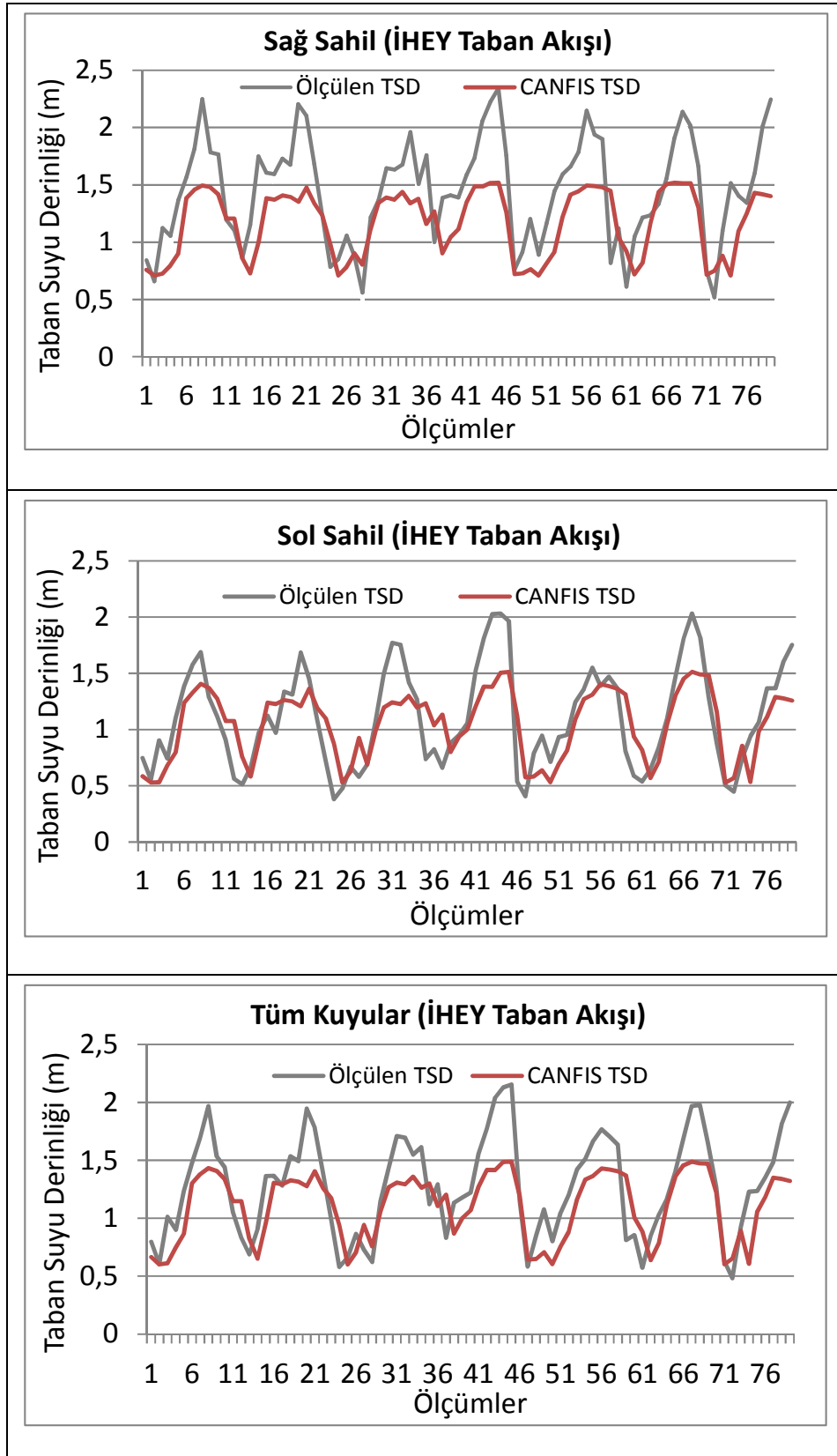
Şekil 3.16. DFM yüzeysel akışının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları



Şekil 3.17. DFM taban akışının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları



Şekil 3.18. İHEY yüzeysel akışının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları



Şekil 3.19. İHEY taban akışının CANFIS uygulamasının girdisi olarak kullanılmasından elde edilen TSD sonuçları

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Evsel, endüstriyel ve tarımsal amaçlı su kullanımının artması ve kullanılabilir su kaynaklarındaki azalma, mevcut su kaynaklarının etkili kullanımı ve korunması konularının önemini arttırmıştır. Bundan dolayı mevcut suyun kullanılmasına yönelik yeni düzenlemeler getirilmekte, yönetim planları oluşturulmakta ve izleme sistemleri geliştirilmektedir. Yerel, ülkesel ve küresel ölçekli olarak yapılan bu çalışmaların temelinde hidrolojik döngünün en önemli öğeleri olan yağış-akış ilişkileri, akarsu akışının özellikleri ve suyun havza içerisindeki hareketleri bulunmaktadır. Bu hidrolojik olayların anlaşılabilmesi ve doğru analizlerin yapılması, su kaynaklarından alınabilecek ve deşarj edilebilecek su miktarının belirlenmesi, su kalite standartlarının korunabilmesi, su alma ve biriktirme yapılarının tasarımı, yapımı ve düzgün işletilebilmesi gibi konularda başarıya ulaşılabilmesi için çok önemlidir. Bu konuda özellikle havzada suyun toplanması ve akarsu akımının oluşması ile ilgili bilgilere çok ihtiyaç duyulmaktadır.

Akarsu akımının oluşumunun ve kaynağından başlayarak izlediği tüm yol boyunca davranışının belirlenebilmesi akımı oluşturan bileşenlerin incelenmesiyle mümkün olmaktadır. Bu yüzden akımı bileşenlerine ayırma ve toplam akarsu akışını oluşturan bileşenlerin özelliklerini belirlemek amacıyla çok sayıda çalışma yapılmakta ve çeşitli yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemler saha çalışmaları ve matematiksel modeller olarak iki gruba ayrılabilir. Ancak saha çalışmaları kapsamında yapılan çalışmaların yüksek maliyeti ve uygulama zorlukları, bilgisayar yazılımları kullanılarak hızlı ve düşük maliyetli olarak uygulanabilen matematiksel modellerin ön plana çıkmasını sağlamıştır.

Akarsu akımının bileşenlerine ayrılması çalışmalarındaki genel eğilime uygun olarak, mevcut matematiksel modellerin gelişimine katkı sağlamak ve değişik akım ve havza özellikleri gösteren akarsulara uyum sağlayabilirliğini artırmak amacıyla

planlanan bu çalışmada, yeni bir yaklaşım olarak akım ayırma işlemlerinde yapay zeka yöntemleri kullanılmıştır. Bu amaçla çeşitli hidrolojik olayların modellenmesinde başarıyla kullanılan yapay zeka uygulamaları incelenmiş ve Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (CANFIS) kullanılmasına karar verilmiştir.

Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) ile akarsu akımının bileşenlerine ayrılarak, yüzeysel akış ve taban akışının belirlendiği ve elde edilen çıktuların mevcut akım ayırma uygulamalarında kullanılan matematiksel yöntemler ile karşılaştırıldığı bu çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Çalışma alanı olarak Batı Karadeniz Havzasının bir alt havzası olan ve 2.437 km²'lik bir alanı kapsayan Melen Havzası seçilmiştir. Melen Havzası'nın büyük bölümü Düzce İlinde olmakla birlikte, bir bölümü komşu üç ilin sınırlarına kadar uzanmaktadır. Havza başta Düzce ve İstanbul İllerinin önemli su kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Havzanın büyük bölümü tarım arazisi ve ormanlık alanlardan oluşmakta olup, bölgede son on yılda yapılaşma hızlanmıştır. Çalışmada Melen Havzası'nın önemli akarsularından Büyük Melen Nehri ve Aksu Deresi üzerine ait akım verileri ve yine Melen Havzası'nda bulunan ve sağ sahil ve sol sahil olarak adlandırılan alana ait taban suyu derinlikleri kullanılmıştır. Akım verileri Elektrik İşleri Etüt İdaresinin 1302 (B. Melen), 1339 (Aksu) ve 1340 (B. Melen) nolu akım gözlem istasyonundan, taban suyu derinlikleri ise devlet su işlerine ait kuyulardan temin edilmiştir.

Büyük Melen Nehri ve Aksu Deresine ait akım gözlem istasyonlarından elde edilen uzun dönemli akım verileri öncelikle istatistik olarak ve debi süreklilik eğrileri çizilerek incelenmiştir. Yaklaşık otuz yıllık veriler üzerinde yapılan incelemede hem Büyük Melen hem de Aksu Deresinin debilerinin her on yıllık dönemde yarı yarıya azaldığı ve özellikle son çeyrekte B. Melen Nehrinde bu azalmanın yaklaşık beş kat olduğu görülmüştür. Bölgede başta kar olmakla birlikte yağışların yıllara göre azalmasının etkisi olsa da, havzada şehirleşmenin çok hızlı artmış olması debilerdeki düşüşün ana nedeni olarak düşünülmektedir. Ayrıca istatistiksel sonuçlar ve son on yılla ait debi süreklilik eğrisi, her iki akarsuyun akım karakterinin, kısa süreli şiddetli

yağışlarla debide ani artışlar ve yağışların kesilmesiyle debide ani düşüşler şeklinde olduğunu göstermektedir.

Çalışmada 1302, 1339 ve 1340 nolu akım gözlem istasyonlarının günlük ortalama akım verileri, literatürde en çok tercih edilen matematiksel akım ayırma modelleri olan Dijital Filtreleme Yöntemi (DFM) ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemleri (İHEY) ile bileşenlerine ayrılarak yüzeysel akış ve taban akışı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu akım ayırma yöntemlerinin Büyük Melen Nehri ve Aksu Derelerinde ayrı ayrı uygulanması ile farklı büyüklük ve özelliklerdeki akarsulardaki performansları da incelenmiştir. Uygulama sonuçları hata analizi, akım hidrograflarının karşılaştırılması ve saçılım grafikleri kullanılarak test edilmiştir. Yapılan hata analizi sonuçlarında tüm istasyonlarda her iki yöntemin kabul edilebilir hata oranlarına sahip olduğu söylenebilir. Bununla birlikte 1302 ve 1340 nolu istasyonların mutlak hata (MH) ve ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK) sonuçları, 1339 nolu istasyona göre daha büyük çıkmıştır. Bu durum literatürdeki bazı çalışmalarda da örnekleri görüldüğü üzere, 1302 ve 1340 nolu istasyonların 1339 nolu istasyona göre daha yüksek akım değerlerine sahip olmasından kaynaklanmıştır. Tüm istasyonlara ait yüzeysel akış ve taban akışlarının akım hidrografları incelendiğinde ise, iki akım türünün de toplam akarsu akımının maksimum ve minimum değerlerine uyumlu akım hidrograflarına sahip olduğu söylenebilir.

Yöntemlerin karşılaştırılması amacıyla çizilen saçılma grafikleri ve detarminasyon katsayıları sonuçlarında ise her iki yöntemde yüzeysel akışta ($R^2=0,76-0,89$) ve taban akışında ($R^2=0,63-0,75$) önemli ölçüde yakın sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Literatürde akım ayırma yöntemlerinin karşılaştırılmasında kullanılan en önemli parametre olan taban akış indeksi (BFI) sonuçları da çalışmada kullanılan yöntemlerin sonuçlarının kabul edilebilir derecede benzer olduğunu göstermektedir ($R^2=0,71-0,79$).

B.Melen Nehri ve Aksu Deresi için Dijital Filtreleme (DFM) ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemleri (İHEY) ile yapılan akımı bileşenlerine ayırma işlemlerinden elde edilen sonuçlar bir bütün olarak ele alındığında, her iki yöntemle belirlenen

yüzeysel akış ve taban akışının kabul edilebilir seviyelerde benzerlik gösterdiği, tüm derelerde yüzeysel akışın taban akışına göre birbirlerine daha yakın değerlerde bulunduğu ve özellikle toplam akışın düşük olduğu Aksu Deresinde iki yöntemin taban akışı sonuçlarının kabul edilebilir düzeyde kalmakla beraber farklılaşmaya başladığı ortaya koyulmuştur.

Bununla birlikte literatürdeki bir çok çalışmada DFM yönteminin çekilme katsayısı ve İHEY yönteminin minimumlarının belirlendiği grupların eleman sayılarının değiştirilerek, her iki yöntemin sonuçlarının birbirlerine yaklaştırılabileceği belirtilmektedir. Bu çalışmada farklı çekilme katsayıları ve grupların eleman sayıları ile denemeler yapılmış ve optimum değerler tespit edilmiştir. Yinede farklı çekilme katsayısı ve grup eleman sayısı değerleri ile sonuçların belli bir oranda daha birbirlerine yaklaştırılması mümkündür. Ancak bu durumun yüzeysel akış ve taban akışının karakteristik özelliklerine uygun olmayan sonuçlar doğurduğu görüldüğünden her iki parametre de optimum değerde ($\alpha=0,830$, $N=5$) bırakılmıştır.

Ayrıca DFM ve İHEY yöntemleri ile belirlenen yüzeysel akış ve taban akışı değerlerinin, ana çalışma konusu olan akımın yapay zeka yöntemleri kullanılarak bileşenlerine ayırma işlemlerinde, yapay zeka uygulamasının eğitim ve test verisi olarak kullanılacak olmasından dolayı, sonuçlarının doğruluğuna özel önem verilmiştir. DFM ve İHEY yöntemlerinin uygulanması için geliştirilen bilgisayar yazılımı ve kullanılan algoritmalarından kaynaklanabilecek hataların önlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla elde edilen akım sonuçları, bu amaçla özel olarak hazırlanmış ve halen Amerika Birleşik Devletleri İç İşleri Bakanlığı Su Kaynakları İslah Bürosu tarafından kullanılmakta olan BFI programı kullanılarak elde edilen sonuçlarla (M-İHEY) karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda da hem DFM yüzeysel akış ($R^2=0,79-0,88$) ve taban akışının ($R^2=0,62-0,75$) hem de İHEY yüzeysel akış ($R^2=0,96-0,97$) ve taban akışının ($R^2=0,94-0,96$) sonuçlarının yüksek oranda benzerlik gösterdiği ve İHEY yönteminin benzerlik oranının DFM den yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum M-İHEY yönteminin temelde İHEY yönteminin modifiye edilmiş bir versiyonu olmasından kaynaklanmıştır. Bununla birlikte elde edilen sonuçlar, DFM ve İHEY yönteminin her ikisinin de

uygulanmasında yazılım veya algoritmadan kaynaklanan bir hata olmadığını ortaya koymaktadır.

Günümüzde bilişim teknolojileri ve bilgisayar yazılımları her alanda kullanılmakta ve yapılan uygulamalar bilim ve teknolojiye önemli katkılar sunmaktadır. Bu uygulamaların başında yapay zeka uygulamaları gelmektedir.. Son yıllarda hidroloji alanında da yapay zeka teknikleri kullanılmaya ve başarılı sonuçlar alınmaya başlamıştır.

Bu çalışmada akarsu akımını bileşenlerine ayırmada kullanılması ile matematiksel modellerin bazı yetersizliklerinden kaynaklanan olumsuzlukların giderilebileceği düşünülmüştür. Bu amaçla on farklı yapay zeka modeli 1302 nolu istasyonun akım verileri kullanılarak denenmiştir. Yapılan denemeler sonunda akım ayırma işleminde kullanılabilirliği araştırılan yapay zeka uygulamalarından dört tanesinin başarısız, üç tanesinin ise başarısının sınırlı olduğu görülmüştür. Bunun yanında denemelerde kullanılan Jordan/Elman Ağları ($R^2=82$), Temel Bileşen Analizi, ($R^2=91$) uygulamaları başarılı bulunmuştur. Hata analizi ve korelasyon düzeyleri göz önünde bulundurularak çalışmada kullanılacak yapay zeka modeli olarak Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) seçilmiştir.

Literatürde daha önce akım ayırma işlemlerinde denenmemiş olan Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS), 1302, 1339 ve 1340 nolu istasyonların akım verileri kullanılarak denenmiş ve yüzeysel akış ve taban akışı belirlenmeye çalışılmıştır. Denemelerde DFM ve İHEY yöntemlerinin akım sonuçları eğitim ve test verisi olarak kullanılmıştır. DFM verileri ile eğitilen ve test edilen uygulama $CANFIS_{DFM}$, İHEY verileri ile eğitilen ve test edilen uygulama $CANFIS_{İHEY}$ dir.

Yapılan denemeler sonunda üç istasyonda da elde edilen yüzeysel akış ve taban akışı değerlerinin MH ve OKHK sonuçları kabul edilebilir düzeyde bulunmuştur. DFM ve İHEY uygulamalarının hata analizlerinde olduğu gibi, CANFIS uygulamasında da 1302 ve 1340 nolu istasyonların MH ve OKHK değerleri akım değerlerinin mutlak değerinin büyüklüğünden dolayı 1339 nolu istasyondan yüksektir.

Bununla birlikte her iki akım türünde ve tüm istasyonlarda hata analizi sonuçları, hidrograf ve saçılım grafikleri incelendiğinde DFM- CANFIS_{DFM} (Yüzeysel Akış $R^2=0,89-0,93$, Taban Akışı $R^2=0,87-0,91$) ve İHEY- CANFIS_{İHEY} (Yüzeysel Akış $R^2=0,78-0,92$, Taban Akışı $R^2=0,61-0,77$) uygulamalarının sonuçlarının önemli ölçüde benzer olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlara göre, 1339 nolu istasyonda en başarılı yüzeysel akış ve taban akışı tahminleri yapılmıştır. Bu durum CANFIS uygulamasının düşük akım değerlerinde daha başarılı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Ayrıca dijital filtreleme yöntemi (DFM) sonuçları ile eğitilen CANFIS_{DFM} ve İngiliz hidroloji enstitüsü yöntemi (İHEY) ile eğitilen CANFIS_{İHEY} den elde edilen yüzeysel akış ($R^2= 0,93-0,97$) ve taban akışı ($R^2= 0,91-0,97$) sonuçlarının önemli ölçüde benzer olması, eğitim verisi olarak kullanılacak yöntemin etkisinin çok sınırlı kaldığını göstermektedir.

Bu çalışma ile hidroloji konusunda yapılan yeni uygulamalardan biriside, yapay zeka yöntemleri kullanılarak, akış verileri ile havzanın taban suyu derinliklerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, çalışmanın önceki bölümlerinde toplam akarsu akımını bileşenlerine ayırmadaki başarısı açıkça ortaya koyulan, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) ile debi, yüzeysel akış ve taban akışı verileri kullanılarak taban suyu derinliği belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan denemelerin sonuçları özellikle toplam akarsu akımı kullanılarak, taban suyu derinliğinin başarı ile belirlenebileceğini göstermiştir ($R^2= 0,73$). Ayrıca ölçülen taban suyu derinlikleri ile tahmin edilen taban suyu derinliklerinin maksimum ve minimum değerlerde çok yakın olması, kurak veya yağışlı dönemlerden etkilenmeksizin doğruluk oranı yüksek tahminler yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen veriler, çekilme sabiti veya minimum gruplarının oluşturulması gibi tartışmalı parametrelerden bağımsız olarak çalışabilen Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (CANFIS) akımı bileşenlerine ayırma uygulamalarında kullanılmakta olan Dijital Filtreleme Yöntemi ve İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi gibi matematiksel modellere önemli bir alternatif

olabileceğini ve sadece akarsu akım verilerini kullanarak taban suyu derinliklerini belirlemede başarı ile kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Bununla birlikte matematiksel modeller kullanılarak yapılan tüm akım ayırma çalışmalarında olduğu gibi, bu çalışma ile elde edilen sonuçların kimyasal izleyicilerin kullanıldığı deneysel çalışmalar ve saha gözlemleri ile desteklenmesi yararlı olacaktır.

Bunun yanında Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (CANFIS) kullanılarak yapılan akım ayırma işlemlerinin değişik havza koşulları ve farklı akım özelliklerine sahip akarsularda tekrarlanmasının sonuçların geliştirilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Özellikle elde edilen yüzeysel akış verilerinin, yayılı kirleticilerin akarsuya taşınması ve akarsudaki toplam kirleticiler arasındaki oranının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmasının çok fayda sağlayacağı söylenebilir.

Yine bu çalışmada sonuçları ile ortaya koyulan hızlı, uygulanabilir ve düşük maliyetli, taban suyu derinliği belirleme yöntemi ile tarımsal alanların sulanması ve havzadaki tarımsal kaynaklı kirliliğin önlenmesine yönelik kısa ve uzun dönemlik planlar hazırlanabilir.

Ayrıca yapay zeka uygulamaları kullanılarak, yağış akış ilişkilerinin belirlenmesi gibi önemli hidroloji konularında yeni uygulamalar geliştirmek ve sonuçları daha ilerilere taşımak mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Devlet Su İşleri, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, Erişim Tarihi: 24.06.2014.
- [2] T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ormancılık ve Su Şurası 21-23 Mart 2013, Su Kalitesi Yönetimi Çalışma Grubu Raporu, 2013.
- [3] RCITSHAW, C.F., FENG, X., SINCLAIR, K.J., DUMS, R.H., Use of stream routing for direct channel precipitation with isotopically based hydrograph separation: The role of new water its storm flow generation. *J. Hydrol.*, 273, 205-216, 2003.
- [4] LADOUCHE, B., PROBST, A., VIVILLE, D., IDIR,S., BAQUE, D., LOUBET, M., PROBST, J.L., BARIAC, T., Hydrograph separation using isotopic, chemical and hydrological approaches (Strengbach Catchment France). *J. Hydrol.*, 242: 255-274, 2001.
- [5] MUL, ML., MUTIIBWA, R.K., UHLENBROOK, S., SAVENIJE, H.H.G., Hydrograph separation using hydrochemical tracers in the Makanya Catchment, Tanzania. *Phys. Chem. Earth.*, 33: 151-156, 2008.
- [6] COLLISCHONN, W., FAN, F.M., DefInIng parameters for Eckhardt's digital baseflow filter, *Hydrological Processes.*, DOI: 10.1002/hyp.9391, 8 Jun 2012.
- [7] CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W., *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.
- [8] BLUME, T., ZEHE, E., BRONSTERT, A., Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficient and hydrograph separation. *Hydrological Sciences Journal*, 52(5): 843-862, 2007.
- [9] KOSKELO, A.I., FISHER, T.R., UTZ, R.M., JORDAN, T.E., A new precipitation-based method of baseflow separation and event identification for small watershed (<50 km²). *J. Hydrol.*, 450: 267-278, 2012.
- [10] PIGGOTT, A.R., MOIN. S., SOUTHAM, C., A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow. *Hydrolog. Sci. J.*; 50: 911-920, 2005.

- [11] AKSOY, H., UNAL, N.E., PEKTAŞ, A.E., Smoothed minima baseflow separation tool for perennial and Intermittent streams. *Hydrological Processes*, 22(22): 4467–4476, 2008.
- [12] AKSOY, H., KURT, I., ERIŞ, E., Filtered smoothed minima baseflow separation method. *Journal of Hydrology*, 372 (1-4): 94–101, 2009.
- [13] ECKHARDT, E., A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *Journal of Hydrology*, 352: 168–173, 2008.
- [14] SEDKI, A., OUAZAR, D., EL MAZOUDI, E., Evolving neural network using real coded genetic algorithm for daily rainfall-runoff forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36: 4523-4527, 2009.
- [15] BESAW, L.E., RIZZO, D.M., BIERMAN, P.R., HACKETT., W.R., Advances in ungauged streamflow prediction using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 386: 27-37,2010.
- [16] SANTHI, C., ALLEN, P.M., MUTTIAH, R.S., ARNOLD, J.G., TUPPAD, P., Regional estimation of baseflow for conterminous United States by Hydrologic Landscape Regions, *Journal of Hydrology*, 351: 139-153, 2008.
- [17] WELDERUF AEL, W.A., WOYESSA, Y.E., Stream flow analysis and comparison of baseflow separation methods case study of the Modler River Basin in Central South Africa. *European Water*. 31: 3-12, 2010.
- [18] NATHAN, R.J., McMAHON, T.A., Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analyses. *Water Resour. Res.*, 26: 1465-1473, 1990.
- [19] CHAPMAN, T., A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. *Hydrol. Process.*, 13: 701–714, 1999.
- [20] SMAKHTIN, V.Y., WATKINS, D.A., Low flow estimation in South Africa. *Water Research Commission Report No: 494/1/97*, 1997.
- [21] NEJADHASHEMI, A.P, SHIRMOHAMMADI, A., SHERIDAN, J.M., MONTAS, H., MANKIN, K., Case Study: Evaluation of stream flow partitioning methods. *J. Irrig. Drain. E-ASCE.*, November/December, 791-801, 2009.
- [22] WITTENBERG, H., SIVAPALAN, M., Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and hasellow separation., *J. Hydrol.*, 219: 210-233, 1999.

- [23] MUGO, J. M.. SHARMA, T. C., Application of a conceptual method for separating runoff components in daily hydrographs in Kimakia Forest catchments, Kenya. *Hydrolog. Process.*, 13(17): 2931-2939, 1999.
- [24] BOUGHTON, W. C., Partitioning streamflow by computer. *Trans. Inst. Engineers, Australia, CE (30)*: 285-291, 1988.
- [25] INSTITUTE OF HYDROLOGY, Low flow studies. Rex. Rep. No. I. Institute of Hydrology Wallingford, U.K., 1980.
- [26] ECKHARDT, K., How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrol. Process.*, 19: 507–515, 2005.
- [27] KURT, I., Filtre edilmiş yuvarlatılmış minimumlar taban akışı ayırma yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [28] PEKTAŞ, A.O., Kuruyan akarsularda taban akışının ayrılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [29] KÖKEN, E., Dicle Havzası düşük akım karakteristiklerinin bölgeselleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [30] KORKMAZ, S., GIS-Based data preparation and surface flow simulations of the Nilüfer River Basin in Turkey. 2nd IAHR Europe Conference, Munich, Germany, 2012.
- [31] LEDOUX, E., Modélisation Intégrée des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un bassin hydrologique. Ph.D. Thesis, Ecole des Mines de Paris – Université Pierre et Marie Curie, France, 1980.
- [32] LEDOUX, E., GIRARD, G., VILLENEUVE, J.P., Proposition d'un modèle couplé pour la simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un bassin hydrologique. *La Houille Blanche*, 1/2, 101–110, 1984.
- [33] CİĞİZOĞLU, H.K., Estimation, forecasting and extrapolation of river flows by artificial neural networks, *Hydrological Sciences Journal*, 48(3): 349-361, 2003.
- [34] ULUKAYA, O., Yağış-akış bağıntıları ve yapay zeka teknikleri ile modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2011.
- [35] TURAN, E., Akarsu akımlarının tahmininde yapay zeka tekniklerinin kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

- [36] ŞAHİN, M., Karadeniz Bölgesindeki yağış-akış ilişkisinin farklı yapay sinir ağları metodlarıyla belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2007.
- [37] YILMAZ, A.G., IMTEAZ, M.A., JENKINS, G., Catchment flow estimation using Artificial Neural Networks in the mountainous Euphrates Basin, *Journal of Hydrology*, 410: 134–140, 2011.
- [38] MOHANTY, S., JHA, M.K., KUMAR, A., PANDA, D.K., Comparative Evaluation of numerical model and artificial neural network for simulating groundwater flow in Kathajodi-Surua Inter-Basin of Odisha, India, *Journal of Hydrology*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.041>, 2013.
- [39] BISHT, D., JAIN, S., RAJU, M.M., Prediction of water table elevation fluctuation through Fuzzy Logic & Artificial Neural Networks, *International Journal of Advanced Science and Technology*. 51: February, 2013.
- [40] BISHT, D., RAJU, M.M., JOSHI, M.C., Simulation of water table elevation fluctuation using Fuzzy-Logic and ANFIS, *Computer Modelling and New Technologies*, 13(2): 16–23, 2009.
- [41] GHOSE, D., PANDA, S.S., SWAIN, P.C., Prediction of water table depth in western region, Orissa using BPNN and RBFN neural networks, *Journal of Hydrology*, 394: 296–304, 2010.
- [42] MOUMENI, B., GOLMAI, S.H., PALANGI, J.A., Comparison of Using Different Systems of Artificial Intelligence In Subsurface Water Level Prediction (Case Study: Paddy Fields of Plain Areas between Tajan and Nekaroud Rivers, Mazandaran, Iran), *Journal of Novel Applied Sciences*, 2 (9): 375-381, 2013.
- [43] DOĞAN, E., ŞENGÖRÜR, B., KÖKLÜ, R. Modeling biological oxygen demand of the Melen River in Turkey using an artificial neural network technique, *Journal of Environmental Management* 90: 1229–1235, 2009.
- [44] KÖKLÜ, R., Melen nehri su kalitesinin istatistiksel analiz yöntemleri ve yapay zeka teknikleri kullanılarak değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [45] AKİNER, M.E., AKKOYUNLU, A., Modeling and forecasting river flow rate from the Melen Watershed, Turkey, *Journal of Hydrology*, (456–457): 121–129, 2012.
- [46] ERTÜRK, A., GÜREL, M., EKDAL, A., TAVŞAN, Ç., UĞURLUOĞLU, A., ŞEKER, D.Z., TANIK, A., ÖZTÜRK, I., Water quality assessment and meta model development in Melen watershed-Turkey, *Journal of Environmental Management*, 91: 1526-1545, 2010.

- [47] TAVŞAN, Ç., Melen Havzası'nda yayılı besi maddesi yüklerinin azaltılması amacı ile en iyi yönetim uygulamalarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [48] ÇELEBİ, A., ŞENGÖRÜR, B., KLOVE B., Human health risk assessment of dissolved metals in groundwater and surface waters in the Melen Watershed, Turkey, Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 49(2): 153-161, 2014.
- [49] ŞAMANDAR, A., Büyük Melen Nehri ve kollarında su kalite modellemesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, 2004.
- [50] ERTÜRK, A., GÜREL, M., ŞEKER, D.Z., EKDAL, A., TAVŞAN, Ç., UĞURLUOĞLU, A., TANIK, A., ÖZTÜRK, I., Design of decision support system tools for integrated protection and water quality management in Melen Watershed. International Congress on River Basin Management. Antalya, Turkey, 2: 23-35, 2007.
- [51] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Düzce Valiliği İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü, Düzce İl Çevre Durum Raporu, Düzce, 2011.
- [52] ÖZTÜRK, I., TANIK, A., ŞEKER, D.Z., ALP, K., GÜREL, M., ERTÜRK, A., EKDAL, A., TAVŞAN, Ç., ZORLUTUNA, Y., Su Kalitesi Nihai Fizibilite Raporu, Büyük İstanbul Su Temini Melen Sistemi II. Merhale Projesi Büyük Melen Havzası Entegre Koruma ve Su Yönetimi Master Planı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kasım 2007, İstanbul, 2007.
- [53] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atıksu Arıtımı Eylem Planı, 2008-2012.
- [54] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012 Yılı Düzce İl Çevre Durum Raporu, Düzce Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ÇED ve Çevre Hizmetleri Şube Müdürlüğü, Düzce, 2013.
- [55] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, T.C. Düzce Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü Çevre Yönetimi, ÇED ve Planlama Şube Müdürlüğü, Düzce İl Çevre Durum Raporu, Düzce, 2009.
- [56] Orman ve Su İşleri Bakanlığı http://osb.ormansu.gov.tr/osb/Files/belgeler7/atiksu_aritimi.doc, Erişim Tarihi: 24.06.2014.
- [57] SÜMER, B., İLERİ, R., ŞENGÖRÜR, B., ŞAMANDAR, A., Büyük Melen ve kollarındaki su kalitesi, Ekoloji Çevre Dergisi, 10(39): 13-18, 2001.

- [58] AGM T.C. Orman Bakanlığı Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel M¼d¼rl¼ę¼ Yayınları, Ankara, 1975.
- [59] TOPRAK-SU T¼rkiye Aşınım Haritası, Ankara, 1981.
- [60] D¼zce Tarım İl M¼d¼rl¼ę¼, 2012.
- [61] ÖZT¼RK, I., TANIK, A., G¼REL, M., PEHLİVANOğLU MANTAŞ, E., ERT¼RK, A., EKDAL, A., Su Kalitesi Mevcut Durum Raporu, B¼y¼k Melen Havzası Entegre Koruma ve Su Y¼netimi Master Planı Projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre M¼hendislięi B¼l¼m¼, İstanbul, Eylül 2006.
- [62] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, D¼zce Valiliği İl Çevre ve Orman M¼d¼rl¼ę¼. D¼zce İl Çevre Durum Raporu, D¼zce 2006.
- [63] Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel M¼d¼rl¼ę¼ www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?m=DUZCE, T.C., Erişim Tarihi: 24.06.2014.
- [64] MUSLU, Y., Hidroloji ve Meskun B¼lge Drenajı, İstanbul, 1993.
- [65] DUMLU, O., YALÇIN, H.T., BOZKURTOğLU, E., Yeraltı suyu jeolojisi ve hidroliği, İstanbul, 2006.
- [66] YOLCUBAL., I., G¼z yarıyılı Hidroloji Ders Notları, 2004.
- [67] water.usgs.gov/edu/watercyclerunoff.html, Erişim tarihi:07.05.2014.
- [68] BAYAZIT, M., Hidroloji, Genişletilmiş Beşinci Baskı, İT¼ İnşaat Fak¼ltesi Matbaası, İstanbul, 1991.
- [69] BAYAZIT, M., ÖNÖZ, B., Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi, Ankara, 2008.
- [70] USUL, N., M¼hendislik Hidrolojisi, Ankara, 2008.
- [71] BOUSSINESQ, J., 1877. Essai sur la throrie des eaux courantes. M&noires prrsentrs par divers savants a l'Academle des Sciences de l'Institut National de France, Tome XXIII, No. 1. (Cited by Hall (1968).).
- [72] MAILLET, E., 1905. Essai d'hydraulique souterraine et fluviale. Libraire Sci., A. Herman, Paris. (Cited by Hall (1968).).
- [73] TALLAKSEN, L. M., A review of baseflow recession analysis. Journal of Hydrology, 165: 349 – 370, 1995.

- [74] LISLEY, R.K., KOHLER, M.A., PAULHUS, J.L.H., WALLACE, J.S., Hidrology for Engineers, 2nd edition, McGraw Hill, New York, 1975.
- [75] BARNES, B. S., The structure of discharge-recession curves, Eos Trans. AGU, 20: 721-725, 1939.
- [76] KLAASEN, B., PILGRIM, D.H., Hydrograph recession constants for New South Wales streams, Inst. Eng. Civ. Eng. Trans., CE17, 43-49, 1975.
- [77] BAYAZIT, M., AVCI, I., ŞEN, Z., Hidroloji Uygulamaları, İstanbul, 2012.
- [78] SMAKHTIN, V. U., Low flow hydrology: A review. J. Hydrol., 240: 174-186, 2001.
- [79] MAZVIMAVI, D., MEIJERINK, A.M.J., STEIN, A., Prediction of baseflows from basin characteristics: A case study from Zimbabwe, Hydrological Sciences Journal 49(4): 703–715, 2004.
- [80] ŞENGÖRÜR, B., DEDE, C., DOĞAN, E., The examination of the performances of methods used in separating the total stream flow in different rivers, Geofizika, 31(1):1-12, 2014, DOI:10.15233/gfz.2014.31.3.
- [81] CHAPMAN, T., MAXWELL, A. Baseflow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. Institute Engineers Australia National Co9f.. 539-545, 1996.
- [82] TALLAKSEN, L., Different indexes' power to describe a watershed's storage capacity. Hovedoppg. Dep. Of Geogr., Univ. of Oslo, 1987.
- [83] HISDAL, H., CLAUSEN, B., GUSTARD, A., PETERS, E., TALLAKSEN, L.M., Event definitions and indices. In Hydrological Droughts: Processes and Estimation Methods for streamflow and groundwater, 2nd Draft, Tallaksen LM, Van Lanen HAJ (eds). Elsevier, 2003.
- [84] WAHL and WAHL, Determining the flow of Comal Springs at New Braunfels, Texas In: Texas Water'95, ASCE, August 16-17, 1995, San Antonio, Texas, pp. 77-86, 1998.
- [85] http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/twahl/bfi/, Erişim Tarihi: 24.06.2014.
- [86] WAHL and WAHL, Effects of regional ground-water declines on streamflows In the Oklahoma Panhandle. In: Symposium on Water Resources Management, AWRA, Tuscon, Arizona, pp. 239-249, 1995.

- [87] PIRIM, H., Yapay Zeka, Journal of Yaşar University, Vol.1, pp 81-93, 2006.
- [88] GÜLBAĞ, A., Yapay sinir ağı ve bulanık mantık tabanlı algoritmalar ile uçucu organik bileşiklerin miktarının tayini, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [89] KOHONEN, T., An introduction to neural computing. Neural Networks, 1: 3-6, 1988.
- [90] HAMED, M., KHALAFALLAH, M.G., HASSANIEN, E.A., Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural networks, Environmental Modeling & Software, 19(10): 919 - 928, 2004.
- [91] JANG, J.S.R., SUN, C.T., MIZUTANI, E., Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1997.
- [92] BURROWS, W.R., WALMSLEY, J., MONTPETIT, J., FAUCHER, M., Cart-Neuro-Fuzzy statistical data modeling, Part 2: Results. In: Preprints, 14th Conference on Probability and Statistics In the Atmospheric Sciences, Phoenix, AZ, pp. 160–167. American Meteorological Society, Boston, MA, 1998.
- [93] SAEMI, M., AHMADI, M., Integration of genetic algorithm and a coactive neuro-fuzzy inference system for permeability prediction from well logs data. Transport in Porous Media 71: 273–288, 2008.
- [94] AYTEK, A., Co-active neurofuzzy inference system for evapotranspiration modeling, Soft Comput., 13:691–700, DOI 10.1007/s00500-008-0342-8, 2009.
- [95] TEKİNEL, O., KANBER, R., Sulamada Tuzluluk ve Drenaj, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi. SeriKonf. Osmaniye, 9s., 1987.
- [96] BAHÇECİ, İ., Drenaj Mühendisliği, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Şanlıurfa, ziraat.harran.edu.tr/tys/drenmh1.pdf, Erişim Tarihi:27.06.2014.
- [97] Özel Hidrojeolojik Etüt raporu Yazım Kılavuzu, TMMOB JMO Yayını, 125 Sayfa, Ankara, 2005.
- [98] KIRMIZITAŞ, H., Harran Ovasında (Şanlıurfa) Sulama Sonrası Oluşan Taban Suyu Ve Tuzluluk Sorunlarının Nedenleri ve Çözüm önerileri, DSI 5. Bölge Müdürlüğü-Ankara, http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/a02387b02ce7de2_ek.pdf, Erişim Tarihi:27.06.2014.

- [99] FAO., Crops and Drops. Making the Best Use of Water for Agriculture: Production and Food Security. Agrifor. U.K., 2000.
- [100] KANBER, R., ÜNLÜ, M., Türkiye’de sulama ve drenaj sorunları: Genel bakış, T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü DSİ VI. Bölge Müdürlüğü, 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Su Toplantıları Sulama-Drenaj Konferansı Bildiri Kitabı, Sayfa:1-45, Adana, 10 – 11 Nisan 2008.
- [101] TOPÇU, S., ÇETİN, M., KIRDA, C., KARACA, Ö.F., EFE, H., SESVEREN, S., Sulamadan dönen suların tarımda kullanımının sürdürülebilirliği, T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü DSİ VI. Bölge Müdürlüğü, 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Su Toplantıları Sulama-Drenaj Konferansı Bildiri Kitabı, Sayfa:135-144, Adana, 10 – 11 Nisan 2008.
- [102] SHARMA, D.P., RAO, K.V.G.K., SINGH, K.N., KUMBHARE, P.S., Management of subsurface saline drainage water. Indian Farming 43, 15-19, 1993.
- [103] SHARMA, D.P., RAO, K.V.G.K., SINGH, K.N., KUMBHARE, P.S., Conjunctive use of saline and non-saline irrigation waters in semi-arid regions. Irrig. Sci., 15, 25-33, 1994.
- [104] ARAS, G., Aksu Ovası taban suyu derinlik ve tuzluluk haritalarının coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak hazırlanması ve değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [105] EMİNOĞLU, E., DEMİR, N., DSİ sulamalarında taban suyu izleme çalışmaları, DSİ Genel Müdürlüğü, S:137-148, 2007.
- [106] ÇETİN, M., KIRDA, C., Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low-quality water. Journal of Hydrology 272:238-249, 2003.
- [107] KAMAN, H., ÇETİN, M., KIRDA, C., Tarımda su kullanımının taban suyu niteliğine ve drenaja etkisinin saptanması, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 3(2): 17-20, 2010.
- [108] KARA, T., ARSLAN, H., Bafra Ovası sulama alanında taban suyu ve tuzluluk sorunları, Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu, S:89-94, 2004.
- [109] KANBER, R., ÇULLU, M.A., KENDİRLİ, B., ANTEPLİ, S., YILMAZ, N., Sulama, drenaj ve tuzluluk, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, S:213-251, Ankara, 2005.

- [110] AKBAŞ F., ÜNLÜKARA, A., KURUNÇ, A., İPEK, U., YILDIZ, H., Tokat-Kazova'da taban suyu gözlemlerinin CBS yöntemleriyle yapılması ve yorumlanması, Sulama Tuzlanma Toplantısı, Şanlıurfa, Türkiye, 12-13 Haziran 2008, cilt.1, ss.1-12.
- [111] CEMEK., B., GÜLER, M., ARSLAN, H., Bafra Ovası sağ sahil sulama alanındaki tuzluluk dağılımının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(1):63-72, 2006.
- [112] ÇETİN, M., KIRDA, C., EFE, H., TOPÇU, S., Düşük kaliteli suların sulamada kullanılmasının neden olabileceği olası tuzluluk sorunlarının coğrafi bilgi sistemi ortamında irdelenmesi, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı, Sayfa:471-481, IMO Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, 20-22 Mart 2008.
- [113] ÇAMOĞLU, G., KARATAŞ., B., ÖLGRN, M.K., AŞIK, S., Taban suyu tuzluluğunun coğrafi bilgi sistemi ve jeostatistiksel yöntemler ile değerlendirilmesi, Sulama ve Tuzlanma Konferansı, S:77-86, Şanlıurfa, 12-13 Haziran, 2008.
- [114] KARATAŞ, B.S., AKKUZU, E., ÇAMOĞLU, G., AVCI, M., Taban suyu derinliğinin jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi, Sulama ve Tuzlanma Konferansı, S:23-32, Şanlıurfa, 12-13 Haziran, 2008.
- [115] DONMA, S., İklim değişimi sürecinde Aşağı Seyhan Ovasında sürdürülebilir arazi ve su yönetimi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2008.
- [116] KANIT, R., POLAT, A.H., Düzce Ovası Sulamasında Sulama Yönetimi, Teknoloji, Sayı 1-2, 181-190, 2001.
- [117] ŞENGÖRÜR, B., DEDE, C., DOĞAN, E., Separation of stream flow Into components through the use of a co-active neuro fuzzy Inference system (CANFIS), Fresenius Environmental Bulletin, 23(9): 2279-2288, 2014.
- [118] DOĞAN, E., GÜMRÜKÇÜOĞLU, M., SANDALCI, M., OPAN, M., Modelling of evaporation from the reservoir of Yuvacık dam using adaptive neuro-fuzzy inference systems. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23: 961–967, 2010.
- [119] ARNOLD, J.G., ALLEN, P.M., Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. Journal of the American Water Resources Association, 35(2): 411-424, 1999.

- [120] LAROCQUE, M., FORTIN, V., PHARAND, M.C., RIVARD, C., Groundwater contribution to river flows – using hydrograph separation, hydrological and hydrogeological models in a southern Quebec aquifer, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7, 7809-7838, doi:10.5194/hessd-7-7809-2010, 2010.
- [121] BRODA, S., LAROCQUE, M., PANICONI, C., Simulation of distributed base flow contributions to streamflow using a hillslope-based catchment model coupled to a regional-scale groundwater model. *Journal of Hydrol. Eng.*, 17: 907-917, 2014.
- [122] JONES, J. P., SUDICKY, E. A., BROOKFIELD, A. E., PARK, Y. J., An assessment of the tracer-based approach to quantifying groundwater contributions to streamflow. *Water Resour. Res.*, 42(2): W02407, 2006.
- [123] SUJONO, J., SHIKASHO, S., HIRAMATSU, K.A., Comparison of techniques for hydrograph recession analysis. *Hydrol. Process.*, 18(3): 403–413, 2004.
- [124] LI, L., MAIER, H.R., LAMBERT, M.F., SIMMONS, C.T., PARTINGTON, D., Framework for assessing and improving the performance of recursive digital filters for baseflow estimation with application to the Lyne and Hollick filter. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 41: 163-175, 2013.
- [125] GUPTA, H.V., KLING, H., On typical range, sensitivity, and normalization of Mean Squared Error and Nash-Sutcliffe Efficiency type metrics. *Water Resources Research*, 47(10): W10601, 2011.
- [126] WU, C.L., CHAU, K.W., Rainfall–runoff modeling using artificial neural network coupled with singular spectrum analysis. *Journal of Hydrology*, Vol.399, 394–409, 2011
- [127] DOĞAN, E., İŞİK, S., SANDALCI, M., Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesi. *İMO. Teknik Dergi*, 4119-4131, 2007.
- [128] AHIBLEME, L., CHAUBEY, I., ENGEL, B., CHERKAUR, K., MERWADE, V., Estimation of annual baseflow at ungauged sites in Indiana USA. *Journal of Hydrology*, Vol.476: 13–27, 2013.
- [129] GEBERT, W.A., RADLOFF, M.J., CONSIDINE, E.J., KENNEDY, J.L., Use of streamflow data to estimate baseflow/ground-water recharge for Wisconsin. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 43: 220–236, 2007.
- [130] SCHILLING, K.E., HELMERS, M., Effects of subsurface drainage tiles on streamflow in Iowa agricultural watersheds: exploratory hydrograph analysis. *J. Soil Water Conserv.*, 62(4): 252–261, 2008.

- [131] KUMAR, S., MERWADE, V., KAM, J., THURNER, K., Streamflow trends in Indiana: effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *J. Hydrol.*, 374: 171–183, 2009.
- [132] PARAJULL, P.B., Assessing sensitivity of hydrologic responses to climate change from forested watershed in Mississippi. *Hydrol. Process.*, Vol. 24: 3785–3797, 2010.
- [133] WU, C.L., CHAU, K.W., LI, Y.S., Methods to improve neural network performance in daily flows prediction. *Journal of Hydrology*, Vol.372: 80–93, 2009.
- [134] WU, C.L., CHAU, K.W., FAN, C., Prediction of rainfall time series using modular artificial neural networks coupled with data-preprocessing techniques. *Journal of Hydrology*, Vol.389: 146–167, 2010.
- [135] LO, M.H., YEH, P.J.F., FAMILIETTİ, J.S. Constraining water table depth simulations in a land surface model using estimated baseflow, *Advances in Water Resources*, 31: 1552–1564, 2008.
- [136] YEH, P.J.J., ve ELTAHİR, E.A.B., Representation of water table dynamics in a land surface scheme. Part I: Model Development, *Journal of Climate*, 18: 1861-1880, 2005.
- [137] İBRİKÇİ, H., KARNEZ, E., OĞUZ, H., ÇETİN, M., ÖZTEKİN, E., DİNGİL, M., KIRDA, ., TOPÇU, S., EFE, H., Aşağı Seyhan Ovası akarsu sulama sahası taban sularında nitrat konsantrasyonu ve oluşturacağı çevresel risk potansiyeli, T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü DSİ VI. Bölge Müdürlüğü, 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Su Toplantıları Sulama-Drenaj Konferansı Bildiri Kitabı, Sayfa:124-134, Adana, 10 – 11 Nisan 2008.
- [138] İBRİKÇİ, H., YAĞBASANLAR, T., KEKLİKÇİ, Z., ÇAKMAK, İ., BÜYÜK, G., TOKLU, F. VE GÜZEL N., Çukurova Bölgesinde insan sağlığı ve çiftçi ekonomisi açısından buğdayda azot gübrelemesinin optimizasyonu. DPT Kesin Sonuç Raporu. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Adana, 2000.
- [139] ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J. H., PETTY, R. J., HACKETT, G., DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Ada, OK: US Environment Protection Agency EPA/600/2-87/035, 1987.
- [140] YANG, Y. S., WANG, L., Catchment-scale vulnerability assessment of groundwater pollution from diffuse sources using the DRASTIC method: a case study, *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 55(7): 1206-1216, 2010.

- [141] CONFESOR, J.R.B., WHITTAKER, G.W., Automatic calibration of hydrologic models with multi-objective evolutionary algorithm and pareto optimization. American Water Resources Association. 43(4): 981-989, 2007.
- [142] JASMIN, I., MURALI, T., MALLIKARJUNA, P., Statistical analysis of groundwater table depths in upper swarnamukhi river basin. J. Water Resource and Protection, Vol.2: 577-584, 2010.
- [143] STADNYK, T., AMOUR, N. ST., KOUWEN, N., EDWARDS, T. W. D., PIETRONIRO A., GIBSON, J., A groundwater separation study in boreal wetland terrain: the WATFLOOD hydrological model compared with stable isotope tracers. Isotopes in Environmental and Health Studies, 41(1): 46-68, 2007.
- [144] SAMUEL, J., COULIBALY, P., and Robert A. METCALFE, R.A., Identification of rainfall–runoff model for improved baseflow estimation in ungauged basins. Hydrol. Process., 26: 356–366, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Cemile Dede, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden mezun oldu. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Biyoloji Bölümü'nde biyoloji alanında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak aynı bölümde doktora eğitimine başladı. 2005 yılından bu yana Sakarya Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak görev yapmakta olan Cemile Dede'nin mesleği ile ilgili ulusal ve uluslararası yayın ve bildirimleri bulunmaktadır.