

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammet Said GÖLPINAR**

**YÜZEY AKIŞLARIN SWAT MODELİ İLE BELİRLENMESİ:  
AKARSU SULAMA BİRLİĞİ SAHASI ÖRNEĞİ**

**TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2017**

## ÖZ

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### YÜZEY AKIŞLARIN SWAT MODELİ İLE BELİRLENMESİ: AKARSU SULAMA BİRLİĞİ SAHASI ÖRNEĞİ

Muhammet Said GÖLPINAR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Mahmut ÇETİN  
Yıl: 2017 Sayfa:77  
Jüri : Prof. Dr. Fatih TOPALOĞLU  
Prof. Dr. Halil KIRNAK

Bu çalışma, Türkiye'nin güneyindeki Çukurova Bölgesinde yer alan Aşağı Seyhan Ovası'nda yürütülmüştür. Araştırmada, Akarsu Sulama Birliği sahasını da içine alan 10 487 ha'lık alana sahip tarımsal bir alanda, yarı-dağılımlı hidrolojik model olan SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeli kullanılmıştır. Bu çalışma ile, akım gözlem istasyonlarından elde edilen günlük akım verileri SWAT modeline entegre edilerek, havza çıkışındaki akımları tahmin etmek ve modelin tarımsal havzalara uygulanabilirliğini test etmek amaçlanmıştır. Modelde, 2008-2014 yıllarından gözlenen akım ve meteorolojik veriler kullanılmıştır. Araştırma alanına ilişkin toprak serileri ve özellikleri, arazi kullanımı, iklim verileri, arazi yönetim uygulamaları ve sayısal yükseklik modeli verileri ile yapay drenaj ağı materyal olarak kullanılmıştır. Modelin kalibrasyonu SWAT-CUP programı bünyesinde SUFI-2 algoritması kullanılarak yapılmıştır. Belirginlik katsayısı ( $R^2$ ), Nash-Sutcliffe (NSE) etkinlik katsayısı ile gözlenen ve simülasyon (benzetim) değerleri arasındaki yüzde hata (PBIAS) istatistiği kullanılarak model kalibrasyon ve doğrulama (validasyon) sonuçları değerlendirilmiştir. Model performans istatistiklerine göre, gözlenen ve simülasyon değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmüş; SWAT model simülasyonlarının yeterli doğrulukta olduğu sonucuna varılmıştır. Kalibrasyon ve validasyonu yapılan model kullanılarak araştırma alanındaki ölçümü olmayan alt havzalar için yüzey akışlar tahmin edilebilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** SWAT, SWAT-CUP, Yüzey akış, Yüzey akış tahmini

## ABSTRACT

### MSc. THESIS

#### DETERMINATION OF SURFACE FLOW WITH SWAT MODEL: A CASE STUDY IN THE AKARSU IRRIGATION DISTRICT

Muhammet Said GÖLPINAR

CUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL STRUCTURES AND IRRIGATION

Supervisor : Prof. Dr. Mahmut ÇETİN  
Year: 2017 Pages:77  
Jury : Prof. Dr. Fatih TOPALOĞLU  
Prof. Dr. Halil KIRNAK

This study was conducted in the Lower Seyhan Plain located in the Çukurova Region of southern Turkey. In the study, SWAT (Soil and Water Assessment Tool) -a semi-distributed hydrological model- was applied to an agricultural catchment of 10 487 ha area including Akarsu Water User Association command area. The primary objectives of this research were: (1) to integrate the daily drainage flow data which was obtained from the flow gauging stations in the catchment into the SWAT model, (2) to simulate surface flow rates at the outlet of the agricultural catchment, and (3) to verify if the SWAT model might be applicable to the irrigated agricultural catchments. Flow and meteorological data observed from 2008 to 2014 was used in the study. Data related to the soil series and their properties, land use types, climate, land management practices, digital elevation model and man-made drainage network were used as the main material in the model domain. SUFI-2 parameter optimization algorithm in the SWAT-CUP program was employed for the calibration of the SWAT model. Model calibration and validation was done by evaluating model performance statistics of determination coefficient ( $R^2$ ), Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE), and percent bias statistics (PBIAS) which measures the average tendency of the simulated data to be larger or smaller than their observed counterparts. Based on the model evaluation statistics, it was concluded that the coherence between observed and simulated values were good enough for acceptability of the SWAT model outputs, that model simulations were proven to be acceptable. Then, the calibrated and validated model was employed for estimating surface runoff, subsurface flow and base flow components in ungauged sub-catchments in the study area.

**Key Words:** SWAT, SWAT-CUP, Surface Flow, Estimation of the Surface Flow

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Yeryüzündeki doğal kaynaklar içerisinde su, canlılar için en önemli ve gerekli bir elementtir. Dünya yüzeyinin dörtte üçü sularla kaplı olmasına rağmen, insan kullanımına uygun tatlı su miktarı oldukça sınırlıdır. Yeryüzünde toplam tatlı su miktarı yaklaşık 35 milyon km<sup>3</sup>/yıl (Dünya üzerindeki toplam suyun %2.5'i) olup, bunun yalnızca %0.3'ü (yaklaşık 105 000 km<sup>3</sup>/yıl) ekosistem ve insan kullanımına elverişli tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır. Kullanabilir su kaynaklarının bu denli kısıtlı olması; son yıllarda insan sağlığı, doğal yaşam ve gıda güvenliği konularında araştırma yapan araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu konular üzerine yapılan akademik çalışmalar, daha çok hidrolojik döngü (süreç) üzerine odaklanmıştır. Su döngüsü olarak da ifade edilen bu süreç, yeryüzündeki suyun güneş enerjisi ile buharlaşarak atmosfere karışması, sonrasında buhar halindeki suyun yağmur damlacıkları şekline dönüşüp, yer çekimi etkisi ile yeniden yeryüzüne inmesiyle tamamlanır. Bu süreç içerisinde yüzey akışı önemli bir yere sahiptir. Yağışın belirli yapay ya da doğal kanallar yoluyla denizlere ve göllere dönmesi olarak tanımlanan bu akışlar, sınırlı finansal kaynaklar ile birlikte havza yönetim programlarının değerlendirilmesi ve uygulanması için gereklidir.

Havzaların yüzey akışını yorumlamak kolay olsa da, sistemdeki süreçleri sayısallaştırarak yüzey akış tahminini yapabilmenin bir takım zorlukları vardır. Bu sebeple, yüzey akış gibi hidrolojik döngüdeki bileşenlerin tespiti, değerlendirilmesi ve sonrasında su kaynaklarının planlanabilmesi için hidrolojik modeller geliştirilmiştir. Bu modeller mekânsal (konumsal) olarak tam dağılımlı, yarı dağılımlı ve parçalı dağılımlı olarak sınıflandırılırlar. Tam dağılımlı modelleri diğer modellerden ayıran en belirgin özelliği, havzayı temsil eden parametrelerin her bir alt havza için farklı değerlere sahip olmasıdır. Hidrolojik modellerin içerisinde fiziksel tabanlı ve yarı dağılımlı bir hidrolojik model olarak bilinen SWAT (Soil Water Assessment Tool), son yıllarda farklı büyüklükteki havzalar

üzerinde geniş bir şekilde kullanılmasıyla isminden sıkça söz ettirmektedir.

SWAT modelinin yaygın bir şekilde tercih edilmesinin sebeplerini şöyle sıralayabiliriz:

- 1) Verileri eksik olan havzaların modellenebilmesine imkan sağlaması,
- 2) Açık kaynak koda sahip olup, geniş alanların modellenebilmesi için gerekli araçlara sahip olması ve kullanımının kolay olması,
- 3) Çok sayıda alt havza için model çıktıları üretebilmesi ve uzun yıllar simülasyon çalışmalarının yapılabilmesi,
- 4) Arazi kullanımı ve iklimsel değişikliklerin havza üzerindeki sonuçlarını etkili bir biçimde tahmin edebilmesi.

SWAT modeli kullanılarak havzaların yüzeysel akış, infiltrasyon (suyun toprak altına sızması), evapotranspirasyon (toprak ve bitki yüzeyinde olan toplam buharlaşma) ve sediment (katı madde taşınımı) gibi hidrolojik bileşenler tahmin edilebilir. SWAT modelinin 8 ana bileşeni vardır. Bunlar; hidroloji, iklim, sedimentasyon, toprak sıcaklığı, bitki gelişimi, azot, gübre ve tarımsal uygulamalardır (Jain ve ark, 2010).

SWAT modelinde kullanılan fiziksel tabanlı veriler şunlardır:

- Sayısal Yükseklik Verisi,
- Drenaj Ağı ve Havza Sınırı Dosyaları,
- Toprak Serisi,
- Bitki Deseni,
- Meteorolojik Veriler,
- Akım Verileri,

Bu çalışmanın amacı, SWAT modeli kullanılarak yüzey akış tahmini

yapmak ve modelin doğal olmayan drenaj havzalarında uygulanabilirliğini test etmektir. Araştırma alanı, Adana ili sınırları içerisinde ve Çukurova bölgesinde yer alan, Akarsu Sulama Birliği sahasını da kapsayan 10 487 ha büyüklüğündeki tarımsal drenaj havzasıdır. Bu sahanın topoğrafik olarak oldukça düz, düşük eğimli ve tarımsal nitelikli olması, doğal olmayan drenaj kanallarının inşa edilmesini zorunlu kılmıştır. Bu nedenle, drenaj ağı sayısallaştırılarak modele girilmiştir. Çalışma alanının bu özelliği, doğal olmayan drenaj ağlarına sahip tarım arazilerinin modelleme çalışmalarına örnek teşkil etmiştir.

SWAT modelinin kurulum aşamasında gerekli olan akım verileri, çalışma havzası içerisinde yerleştirilen ve saatlik bazda kayıt alabilen akım gözlem istasyonlarından (AGİ) elde edilmiştir. Bununla birlikte, çalışma alanı içerisinde konumu itibariyle tüm havzayı temsil ettiği düşünülen bir noktada meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Meteorolojik veriler, bu noktadaki istasyondan temin edilmiştir. Ayrıca, arazi kullanım haritası için gerekli olan toprak serisi verileri, Çukurova yöresi toprak serileri üzerine yapılmış önceki çalışmalardan yararlanılarak elde edilmiştir. Bir diğer girdi verilerinden olan bitki deseni haritası ise, ‘*Yarı Kurak İklimli Akdeniz Bölgesi Tarım Alanlarında Tuzluluk Etkisini Azaltmak İçin Sulama Randımanlarının Analiz ve Optimizasyonu (MedSalin)*’ konu başlıklı TÜBİTAK araştırma projesinden elde edilmiştir. Bu kapsamda yıl içerisinde ocak, nisan, temmuz ve ekim aylarında arazi çalışmaları yapılmış; havza içerisindeki farklı bitkilere ait parsellerden yer doğrulama verileri alınarak, bitki deseni haritaları oluşturulmuştur.

SWAT modeli, 2008-2014 zaman aralığında çalıştırılmıştır. Modelin daha doğru sonuçlar verebilmesi için 2008 yılı verileri modelin ısınması (warm-up) için, 2009-2012 yılları verileri model kalibrasyonu için ve 2013-2014 yılları verileri ise modelin doğrulanması için kullanılmıştır. Modelin koşturulması sonucu havza çıkış noktası için elde edilen akım değerlerinin kalibrasyonu, SWAT\_CUP programı kullanılarak tamamlanmıştır. Ölçülen akım değerlerini en iyi temsil eden simülasyon (benzetim) değerlerine ulaşabilmek için, tarımsal yönetim (rotasyon)

girdi dosyalarını ve havzanın sulama kanallarındaki suların kullanılmadan drenaja akan kısmı (*bypas akışı*) belirlemek amacıyla atanan yüzdellikleri içeren senaryolar hazırlanmıştır. Daha sonra her senaryo için model çalıştırılmış ve modelin kalibrasyonu yapılarak, havzanın akış kapasitesi üzerine etkili toplam 14 hassas parametreye ulaşılmıştır. Belirlenen hassas parametreler kullanılarak akım çıktıları elde edilmiş ve gözlenen verilerle arasındaki uyumu test eden model performans istatistiklerinden  $R^2$ , NSE ve PBIAS değerleri incelenmiştir. Buna göre en iyi istatistiksel sonucu; sulama randımanının 0.6 olarak tanımlandığı rotasyon dosyaları ile birlikte havzanın çıkış noktasındaki toplam akıma %30 katkı sağlayan bypas akışının bulunduğu senaryo vermiştir. En iyi senaryo belirlendikten sonra, model kalibrasyon içerisindeki hassas parametreler üzerinde en geniş aralıklarıyla başlayan toplam 60 iterasyon ile 1500 simülasyon yapılmış ve en iyi istatistiksel değerlere ulaşılmıştır. Model performans istatistikleri irdelendiğinde, kalibrasyon sonucunda simülasyon değerleriyle gözlenen değerlerin arasındaki  $R^2$  katsayısı 0.73, NSE değeri 0.73 ve PBIAS değeri 2.4 bulunmuştur. Doğrulama sürecinde ise bu değerler sırasıyla 0.58, 0.57 ve -5.6 elde edilmiştir. Model performans istatistikleri değerlerine göre, 2009-2012 yılları arasında model simülasyon değerlerinin gözlenen değerler ile iyi bir uyum içinde olduğu; ancak, 2013-2014 doğrulama sürecinde model simülasyon değerleri gözlenen değerlerinden daha yüksek sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, akım değerlerinin zamana bağlı grafiği irdelendiğinde, yağışların yoğun olduğu periyotlar ile baz akışın (sulama ile yağışın olmadığı yalnızca yer altı sularından gelen ve drenaj kanallarını besleyen sular) olduğu dönemlerde SWAT modelinin diğer dönemlere kıyasla iyi sonuçlar veremediği belirlenmiştir.

SWAT modelinden elde edilen tüm sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, doğal olmayan drenaj ağlarına sahip sulama havzalarında modelin yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Elde edilen bulgular değerlendirilerek, ölçümü olmayan alt havzaların yüzey akış tahmininin SWAT modeli ile yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her safhasında üzerimde emeği olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mahmut ÇETİN'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Tezimin değerlendirmesi ve incelenmesinde yardımlarını gördüğüm Sayın Prof. Dr. Fatih TOPALOĞLU ve Sayın Prof. Dr. HALİL KIRNAK'a teşekkür ederim.

Tezimde kullanılan veriler, tamamlanan MEDSALIN (TÜBİTAK Proje No: 108O582) projesi; halen devam eden IRAFLUT (TÜBİTAK Proje No: 113O151) ve AIMMED (TÜBİTAK Proje No: 213O057) projeleri desteğiyle yapılan arazi çalışmaları sonucunda elde edilmiştir. Bu kapsamda, rotasyon dosyalarının oluşturulmasında emeği olan Sayın Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ, Yrd. Doç. Dr. Ebru KARNEZ ve Arş. Gör. Hande SAĞIR'a; arazi ve laboratuvar çalışmalarında yer alan yüksek lisans öğrencilerinden Burak TİLKİCİ, Yunus BÜLBÜL, Yunus KARAÖMERLİOĞLU ve Mert UÇAN'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca her anımda yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen Aile'me sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.



<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
ÖZ .....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET .....	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER .....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	7
2.1. Yüzey Akış Tahmini İçin Kullanılan Diğer Modeller ve Örnek Çalışmalar .7	
2.2. Yüzey Akış Tahmini İçin Kullanılan SWAT Modeli ve Örnek Çalışmalar ..9	
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	17
3.1. Materyal.....	17
3.1.1. Araştırma Alanının Coğrafi Konumu ve İklim Özellikleri .....	17
3.1.2. Model Koşulları İçin Gerekli Veriler .....	19
3.1.2.1. Sayısal Yükseklik Verisi .....	19
3.1.2.2. Drenaj Ağı ve Havza Sınırı Dosyaları.....	20
3.1.2.3. Toprak Verileri.....	21
3.1.2.4. Bitki Deseni Verileri .....	23
3.1.2.5. Meteorolojik Veriler.....	25
3.1.2.6. Akım Verileri .....	26
3.2. YÖNTEM.....	28
3.2.1. SWAT Modeli ve Yüzey Akış Tahmini .....	28
3.2.1.1. Modele Çalışma Havzasının Tanıtılması Aşamaları .....	28
3.2.1.2. Hidrolojik Tepki Birimlerinin {Hidrologic Response Units (HRUs)} Belirlenmesi .....	29

3.2.1.3. Meteorolojik Verilerinin Girilmesi .....	30
3.2.1.4. SWAT Modeli Girdilerinin Oluşturulması ve Düzenlenmesi	30
3.2.1.5. SWAT Modelinin Çalıştırılması .....	30
3.2.2. Hidrolojik Su Bütçesi Denklemi.....	31
3.2.2.1. Yüzeysel Akış Hesabı.....	31
3.2.2.2. Evapotranspirasyon Tahmini.....	33
3.2.2.2. (I). Potansiyel Evapotranspirasyon .....	33
3.2.3. SWAT Modeli Kalibrasyonu.....	35
3.2.3.1. SWAT_CUP Programı.....	35
3.2.4. Model Kalibrasyonu İçin Gerekli Performans İstatistikleri .....	37
3.2.4.1. Belirginlik Katsayısı ( $R^2$ ).....	38
3.2.4.2. Nash Sutcliffe Etkinlik İstatistiği (NSE).....	38
3.2.4.3. Yüzdeler Hata İstatistiği (PBIAS).....	39
3.2.5. BASE_FLOW Programı .....	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	41
4.1. Hidrolojik Tepki Birimleri Haritası .....	41
4.2. SWAT_CUP Kalibrasyon ve Doğrulama Sonuçları.....	42
4.3. Alt Havzalar ve Akım Tahminleri .....	51
4.4. SWAT modeli yüzeysel akış, sulama ve gerçek evapotranspirasyon çıktıları .	54
4.4.1. Havzanın yağıştan dolaysız yüzeysel akış ve diğer hidrolojik çıktıları .	55
4.4.2. Havzanın evapotranspirasyon çıktıları .....	58
4.4.3. Havzanın sulama suyu gereksinimi çıktıları .....	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR .....	69
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 3.1.	Araştırma alanındaki toprak serilerinin alansal dağılımı.....	22
Çizelge 3.2.	Araştırma alanındaki toprak serilerinin genel özellikleri .....	22
Çizelge 3.3.	Araştırma alanının arazi kullanımı .....	24
Çizelge 3.4.	İklim veri çeşitlerine göre kullanılabilir potansiyel evapotranspirasyon yöntemleri.....	34
Çizelge 3.5.	Model istatistikleri için genel performans değerlendirme .....	37
Çizelge 4.1.	Hassas parametreler ve anlamları.....	43
Çizelge 4.2.	Optimize edilen parametrelere model performans istatistikleri göz önünde bulundurularak atanan maksimum ve minimum değerler.....	44
Çizelge 4.3.	Kalibrasyon sonrası parametrelerin duyarlılığına ait olasılık değerleri.....	45
Çizelge 4.4.	SWAT model kalibrasyonu ve doğrulama süreci model performans istatistikleri.....	47
Çizelge 4.5.	Alt havzalar'a ait alanlar ve yüzdeleri.....	52
Çizelge 4.6.	Yıllara göre havza çıkışında gözlenen ve simüle edilen toplam akım değerleri (mm).....	56
Çizelge 4.7.	Alt havza çıkışları için modelle elde edilen toplam akım değerleri.....	58
Çizelge 4.8.	Kalibre edilen SWAT modeli ile tahmin edilen alt havzaların yağıştan dolaysız yüzey akış değerleri (mm) .....	56
Çizelge 4.9.	SWAT modeli ile hesaplanan su bütçesi öğelerinin yıllara göre değişimleri (mm).....	58
Çizelge 4.10.	HRU bazında en yüksek ve en düşük gerçek evapotranspirasyon değerlerinin yıllara göre değişimi (mm).....	59



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 3.1. Araştırmanın yapıldığı havzanın coğrafi konumu.....	18
Şekil 3.2. Araştırma alanının sayısal yükseklik modeli .....	20
Şekil 3.3. Araştırma Alanı Drenaj Ağı Haritası .....	21
Şekil 3.4. Araştırma Alanı Toprak Serisi Haritası .....	23
Şekil 3.5. Araştırma Alanı Arazi Kullanım Haritası .....	25
Şekil 3.6. Araştırma Alanı Meteoroloji İstasyonu.....	26
Şekil 3.7. Akarsu Sulama Birliği sahasında bulunan akım gözlem istasyonları ve noktasal kaynaklar.....	27
Şekil 3.8. SWAT modeli ile parametre optimizasyon yöntemleri arasındaki bağlantı şeması .....	36
Şekil 4.1. Araştırma alanı hidrolojik tepki birimleri (HRU) haritası .....	46
Şekil 4.2. SWAT_CUP girdi sayfası (Par_inf.txt) .....	47
Şekil 4.3. Havza çıkışında gözlenen günlük akım değerleri ile model simülasyon değerlerinin değişimi .....	49
Şekil 4.4. Doğrulama sürecinde havza çıkışında gözlenen akım değerleri ve simülasyon sonuçlarının zamansal değişimi .....	49
Şekil 4.5. Araştırma alanı/Alt havzalar haritası .....	42
Şekil 4.6. Yağış, gerçek evapotranspirasyon ve yağıştan dolaysız yüzey akışın aylık bazda değişimi .....	57
Şekil 4.7. Yağışlı dönemde (2009 yılında) gerçek evapotranspirasyonun alansal dağılımı .....	60
Şekil 4.8. Gerçek evapotranspirasyonun kurak dönemde (2013 yılında) alansal dağılımı .....	61
Şekil 4.9. Sulama suyu, yağış ve simülasyon akım değerlerinin günlük değişimi.....	62
Şekil 4.10. SWAT koşum sonuçlarına göre, 2013 yılına ait sulama suyu gereksinim haritası .....	63



## SİMGELER VE KISALTMALAR

95PPU	: Yüzde 95 Tahmin Belirsizliği
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AGNPS	: Tarımsal Noktasal Olmayan Kaynaklar
ANSWERS	: Noktasal Olmayan Havzaların Çevre Tepki Simülasyonu
ARCSWAT	: SWAT Programı ArcGIS Arayüzü
ASO	: Aşağı Seyhan Ovası
CBS/GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CFSR	: İklim Tahmin Sistem Analizi
CREAMS	: Kimyasal Madde, Yüzeş Akış ve Erozyon ve Tarımsal Yönetim Sistemleri
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EPIC	: Çevresel Koruma Amaçlı Bütünleşik Model
ET	: Evapotranspirasyon
GLEAMS	: Tarımsal Yönetim Sistemlerinin Yer altı Suyu Depolama Etkisi
GLUE	: Genelleştirilmiş Olasılık Belirsizlik Tahmini
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
GWSP	: Küresel Su Sistem Projesi
HRU	: Hidrolojik Tepki Birimi
HSPF	: Hidrolojik Simülasyon Programı Fortran
IGBP	: Uluslararası Jeosfer ve Biyosfer Programı
IHP	: Uluslararası Hidrolojik programı
MCMC	: Markov Zinciri Monte Carlo
PARASOL	: Parametre Çözümü
PESTFADE	: Çevredeki Tarım İlaçları Hatası ve Dinamikleri
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
SPNM	: Sediment Fosfor Azot Modeli

SUFI-2	: Sıralı Belirsizlik Uyumu
SWAT	: Toprak Su Yönetimi Programı
SWAT_CUP	: Toprak Su Yönetimi Programı Kalibrasyonu ve Belirsizlik İşlemleri
SWRB	: Devlet Su Kaynakları Kurulu
WBCSD	: Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi
WCRP	: Dünya İklim Araştırma Programı
WEPP	: Su Erozyon Tahmin Projesi



## 1. GİRİŞ

Canlıların hayatlarını idame ettirebilmesi için gereken en önemli doğal kaynaklardan biri şüphesiz su'dur. İnsan vücudunun %65'i, kanın %80-90'ı, kaslarımızın %75'i, bitkilere ait taze ağırlığın %60-85'inin sudan meydana gelmesi, bizlere bu kaynağın ne denli önemli ve hayatın temel taşı olduğunu kanıtlamaktadır (Çepel ve Ergün, 2003).

Bilindiği üzere hava, karalar, okyanuslar ile göller su kaynaklarını oluşturan öğelerdir. Dünya yüzeyinin dörtte üçü sularla kaplı olmasına rağmen, insan kullanımına uygun tatlı su miktarı oldukça sınırlıdır. Dünya üzerindeki toplam tatlı su miktarı yaklaşık 35 milyon km<sup>3</sup>/yıl (yani dünya üzerindeki toplam suyun %2,5'i) olup, bunun yalnızca %0.3'ü (yaklaşık 105 000 km<sup>3</sup>/yıl) ekosistem ve insan kullanımına elverişli tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır. Geri kalan tatlı sular çoğunlukla kutuplarda ve yüksek dağlardaki buzullarda ve yer altı rezervlerinde hapsolmuş durumdadır (Muluk ve ark, 2013). Su kaynaklarının yeryüzünde dağılımı ise oldukça dengesizdir. Örneğin Kanada, kişi başına 92 000 m<sup>3</sup>/yıl'dan fazla su ile su zenginliği açısından ilk sıralarda yer alıyor. İbrenin su yoksulu diğer ucunda ise kişi başına 138 m<sup>3</sup>/yıl suyla Ürdün, 124 m<sup>3</sup>/yıl ile İsrail ve çok minimal değerle Kuveyt bulunmaktadır (İlgar, 2014). Türkiye'de ise 2000 yılı itibarıyla su kaynakları potansiyeli ortalama 501 km<sup>3</sup>/yıl ile kişi başına düşen su miktarı 1735 m<sup>3</sup>/yıl olarak tespit edilmiştir. Su zenginliği bakımından bir ülkede bu miktarın en az 10 000 m<sup>3</sup>/yıl olması gerekmektedir. Ülkemizde bu rakamın düşük olması, su kaynakları bakımından yetersiz olduğumuzu göstermektedir (DPT, 2001; İlgar, 2009). Kişi başına düşen su miktarındaki bu orantısız dağılıma ek olarak, insan nüfusunun sürekli artması ve küresel değişimler, su tüketimini olumsuz yönde etkilemektedir. Su tüketimini evsel, endüstriyel ve tarımsal olarak 3 grupta toplayabiliriz. Dünya genelindeki su kullanımında, tarımsal tüketim %70 pay ile başı çekmektedir. Bunu %22 ile endüstriyel tüketim, %8 ile de evsel

tüketim izlemektedir (WBCSD, 2006; Kahveci, 2015).

Ülkemizde de tıpkı dünya genelinde olduğu gibi en fazla su tüketiminin gerçekleştiği alan tarım sektörüdür. Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan istatistiklere göre; yüzeysel su tüketim miktarında sulama (%82), içme-kullanma (%10), sanayi (%8) yer almaktadır. Yer altı suyunda ise içme-kullanma (%39), sulama (%37), sanayi (%24) olarak gerçekleşmiş bulunmaktadır (İlgar, 2009).

Günümüzdeki bu tablonun, 2030 yılı dünya üzerinde gıda, su ve enerji ihtiyaçlarının yaklaşık %50 artarak değişeceği tahmin edilmektedir (National Intelligence Council, 2012). Bu tahminlere göre 2030 yılında, ülkemizde sulama amaçlı su tüketiminin 72 milyar m<sup>3</sup>/yıl (%65), içme amaçlı 18 milyar m<sup>3</sup>/yıl (%15) ve sanayi sektöründe ise 22 milyar m<sup>3</sup>/yıl (%20) olması beklenmektedir.

Dünya üzerinde artan bu ihtiyaçlardan doğacak sorunların önüne geçebilmek ve kalıcı çözümler üretebilmek için, su ile ilgili alanlarda (hidrolojik döngü, su kaynakları yönetimi, su bütçesi ve çevresel sorunlar gibi) uluslararası kuruluşlar bir takım çalışmalar yapmaktadır. IHP, WCRP, IGBP ve GWSP bu kuruluşlara örnektir (Jun ve ark, 2003).

Yapılan bu çalışmaların odak merkezinde, hidrolojik döngü (süreç) yer almaktadır. Su döngüsü olarak da ifade edilen bu süreç, yeryüzündeki suyun güneş enerjisi ile buharlaşarak atmosfere karışması, sonrasında buhar halindeki suyun yağmur damlacıkları haline dönüşüp, yer çekimi etkisi ile yeniden yeryüzüne inmesiyle tamamlanır.

Bir havzadaki yüzey akışı, hidrolojik döngü içerisinde çok önemli bir yere sahiptir. Yağışın belirli kanallar yoluyla denizlere ve göllere dönmesi olarak tanımlanan bu akışlar, sınırlı finansal kaynaklar ile birlikte havza yönetim programlarının değerlendirilmesi ve uygulanması için gereklidir (Jadhao ve Tripathi, 2009).

Yüzey akışını etkileyen etmenler:

- Coğrafi durum (yükseklik, eğim),
- Topoğrafik durum,
- Jeolojik durum (litoloji, jeolojik yapı),
- Meteorolojik durum (yağış şiddeti, süresi, sıcaklık, nem),
- Akarsu ağı,
- Bitki örtüsü ve insan yapılarıdır (Yolcubal, 2004).

Hidrolojik süreç içinde havzalardaki yüzey akışı yorumlamak kolay olsa da, sistemdeki süreçleri sayısallaştırarak yüzey akış tahminini yapabilmek hayli zordur. Farklı yönetim sistemleri altında başta yüzey akışı olmak üzere, tarımsal havzalardan besin taşınımı, sediment ve erozyon gibi hidrolojik bileşenleri tahmin etmek için, fiziksel tabanlı bilgisayar simülasyon modelleri ve coğrafi bilgi sistemleri (GIS) teknikleri ile çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu modeller içerisinde, basit görüntüleme modeline USLE; karmaşık hidrolojik değerlendirme modellerine ise CREAMS, ANSWERS, SPNM, EPIC, SWRB, GLEAMS, WEPP, AGNPS, PESTFADE, HSPF ve SWAT örnekleri verilebilir (Maharjan ve ark, 2013).

Hidrolojik modellerin içerisinde SWAT (Soil Water Assessment Tool), son yıllarda farklı çeşit ve boyuttaki havzalar üzerinde geniş bir şekilde kullanılmasıyla isminden sıkça söz ettirmektedir (Jain ve ark, 2010). SWAT, fiziksel tabanlı ve yarı dağılımlı bir hidrolojik modeldir. Bu model aracılığıyla, yüzeysel akış, infiltrasyon, evapotranspirasyon, yanıl akım (lateral flow), kapalı drenaj ağı (tile drainage), suyun toprak profili içerisinde yeniden dağıtımı, eğer varsa suyun pompalama yoluyla tüketim amaçlı kullanımı, yer altı suyu, yüzey suyu kütleleri, göletler ve kanallarından sızıntı yoluyla besleme gibi değişkenlerin simülasyonları elde edilebilir. SWAT'ın sayısal bileşenleri 8 ana bölümde yer alır. Bunlar; Hidroloji, hava durumu, sedimentasyon, toprak sıcaklığı, bitki gelişimi, azot, gübre ve tarımsal uygulamalardır (Jain ve ark, 2010). SWAT modelini diğer hidrolojik

modellerden bir takım özellikler ayırmaktadır. Bu özellikler, SWAT modelini daha çok tercih edilebilir kılmaktadır. Bu özelliklerden öne çıkanları şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Kullanımının kolay olması, açık kaynak koda ve geniş bölgesel adaptasyona sahip olması (Arnold ve ark, 2000).
2. En iyi tarımsal yönetim uygulamalarının uzun periyotlu etkilerini simüle edebilmesi (Jadhao ve ark, 2009).
3. Her bir model çıktısında, 100'den fazla alt havza için akış üretebilmesi (Jadhao ve ark, 2009).
4. Hidrolojik çeşitlilik üzerine iklim ve arazi kullanımındaki değişikliklerin sonuçlarını tahmin etmek için etkili bir araç olması (Muttiah ve Wurbs, 2002).
5. Ölçümü olmayan havzaların modellenmesi.
6. Yönetim uygulamaları, iklim, su kalitesi ve miktarı, vejetasyon vb. alternatif girdi verilerinin oransal etkilerinin tahmin edilebilmesi (Jain ve ark, 2010).
7. Yağış, solar radyasyon, oransal nem, rüzgar hızı ve sıcaklık verilerinin hem aylık hem de günlük değerlerini üreterek, gözlenen değerler arasındaki eksik verileri tamamlayabilmesi (Jain ve ark, 2010).
8. Birleştirilmiş (Lumped) ve Kavramsal (conceptual) gibi farklı modeller ya da tam dağılımlı fiziksel modeller tarafından belirlenen kısaltmalar arasındaki uyumluluğu sayesinde SWAT modeli, sayısal etkinliği açısından ilgi çekici olması (Jain ve ark, 2010).

Tarımsal drenaj havzalarında su bütçeleri oluşturulurken yüzey akış hesaplamaları havza geneli için yapılmaktadır. Alt havzalar için yapılan yüzey akış tahmin çalışmaları az sayıdadır. Bunun sebebi, çoğu zaman alt havzalarda veri

olmaması, daha fazla iş gücüne, zamana ve maliyete ihtiyaç duyulmasındandır. Bu eksikliklerden dolayı, havza içerisinde farklı fiziksel özelliklere sahip alt havzaların göz ardı edilmesi, araştırmacıyı yüzey akışın doğru tahmin edilmesinden uzaklaştırmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için, alt havzalar bazında yüzey akış tahmininin yapılması en gerçekçi yaklaşımdır.

Bu çalışmada, araştırma alanı olarak Aşağı Seyhan Ovası'nda yer alan ve Akarsu Sulama Birliği faaliyet alanını da içine alan, 10 487 hektar genişliğindeki bir tarımsal havza seçilmiştir.

Araştırmada:

- Araştırma alanının alt havzalara ayrılarak, drenaj akım gözlemi olmayan bu alt havzalar için yüzey akış tahminlerinin yapılması,
- SWAT modelinin, topoğrafik olarak düz olan (eğim < %3) tarımsal drenaj havzalarında uygulanabilme olanaklarının araştırılması,
- SWAT modelinin kalibre edilmesi ve yüzey akışı tahmin kapasitesinin test edilmesi,
- Akarsu Sulama Birliği sahasında yüzey akış tahminlerinin SWAT modeli ile yapılması ve gözlenmiş verilerle kıyaslanması amaçlanmıştır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. YüzeY Akış Tahmini İçin Kullanılan Diğer Modeller ve Örnek Çalışmalar

Farklı modeller içerisinde çeşitli yöntemler kullanılarak, yüzeY akış tahmini elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan akademik çalışmalardan bazıları bu bölümde özetlenmeye çalışılmıştır.

Jeomorfik tepki modeli kullanılarak Hindistan'ın Maharashtra bölgesindeki Tapi havzası içerisinde, 10 farklı alt havza sınırında yüzeY akış tahminleri yapılmıştır. 12 jeomorfik parametre seçilerek yüzde 10'luk bir sapma ile yıllık model geliştirilmiştir. Bu yüzeY akış modeli ile farklı su hasat yapılarının dizaynı için benzer fizyografik durumlara sahip havzalarda, ölçüm yapılamayan alt havzaların yüzeY akış tahmininin elde edilebileceği vurgulanmıştır (Nikam ve ark, 2014).

Bodian ve arkadaşları (2015) tarafından, GR2M yağış-yüzeY akış modeli kullanılarak Guinea Conakry ve Mali üzerindeki Senegal Nehri'nin üst havzasında bir çalışma yapılmıştır. Aylık yağış-potansiyel evapotranspirasyon, toprağın su tutma kapasitesi ve aylık akım değerleri hesaplanarak modelin hassasiyet analizi test edilmiştir. Nash-Sutcliffe kriteri üzerine etki eden en uyumlu girdi verisi seçilerek kalibrasyon ve doğrulama yapılmıştır. Yeterli hidrometrik veriler sağlanamadığından model geliştirilememiştir. Fakat gelecek 5 yılın verileri elde edildiğinde model genişletilip, baraj yapımı, potansiyel hidrometrik havza ve tribünlerin yapımı için gerekli istatistiksel bilgiler sağlanabileceği belirtilmiştir.

Wiebe ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, hidrograf ayırma yöntemi kullanılarak Finlandiya'da 155 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahip Pyhäjärvi Gölü'ndeki doğrudan yüzeY akışın tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Araştırmacılar, Pyhäjärvi Gölü'nde belirsizlik analizi ile hidrograf ayırma yöntemi birleştirildiğinde, net yer altı su akış tahminlerine ulaşılabileceğini öngörmüştür. Model çıktıları değerlendirildiğinde, yüzeY akış tahmini için hidrograf ayırma yönteminin katsayı tabanlı genel bir model yaklaşımından çok daha iyi sonuçlar

verdiği görülmüştür. Böylelikle bu çalışmada uygulanan tekniklerin, diğer büyük göllerin havzalarında da yüzey akış tahmini için kullanılabilmesi bildirilmiştir.

İran'ın başkenti Tahran'ın kuzeydoğusunda yer alan Velenjak şehir havzasında yapılan bir çalışmada Kalibre Edilmiş Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM) kullanılarak yağmur suyu yüzey akışı miktarı farklı yöntemlerle simüle edilmeye çalışılmıştır. Model sonuçlarına göre, kent su kalitesi ve miktar yönetiminde farklı çözünürlükler için kullanılan yöntemler çok farklılık göstermemekle beraber, stokastik modelin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir (Ghods ve ark, 2015).

Yu ve arkadaşları (2015) tarafından yıllık yağış, bitki su tüketimi ve su birikimi değişim verileri ile yıllık yağış-yüzey akış modeli kullanılarak yüzey akışını tahmin etmeyi planlayan bir çalışma yapılmıştır. Çalışma, Çin'in Gan ve Han nehri havzalarında bulunan 40 farklı bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda gama dağılım fonksiyonunun, yıllık yüzey akış dağılımını açıklamada uygun iki parametrelili dağılım olduğu kanıtlanmıştır. Böylelikle yıllık yüzey akış dağılım fonksiyonu kabul edilerek, gelecekteki iklim senaryolarında yıllık yüzey akış dağılımı tahmininin yapılabileceği ifade edilmiştir.

AnnAGNPS (The Annualized Agricultural Non-Point Source Pollution) modeli kullanılarak Çin'in Taihu Gölü Bölgesi'nde bulunan, küçük içme su kaynağı sınırında bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada yüzey akış, azot ve fosfor birikiminin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Modelin kalibrasyon ve doğrulama aşamaları sonrası elde edilen determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ile Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) kullanılarak modelin uygunluğuna karar verilmiştir. Bir havzada yüzey akışı, azot ve fosfor birikiminin tahmin edilmesinde AnnAGNPS modelinin güvenle kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır (Li ve ark, 2014).

Viji ve arkadaşlarının (2015) yürüttüğü bir çalışmada, Hindistan'ın Sahyadri Tepeleri'nin doğu ve batı yakası arasında bulunan Kundapallam isimli küçük bir havzada yüzey akış tahmini yapılmıştır. Eğri numarası (CN) yöntemi (toprak su içeriği ve arazi kullanımı karakteri özelliğine bağlı) ve SCS-CN yöntemi (ölçümü



olmayan küçük havzalardan taşkınların tahmin edilmesi esasına dayalı kullanılmıştır. Araştırmada, çalışma havzasının yüksek eğimli olması, yüzey akış tahminini etkileyen evaporasyon ve infiltrasyondan oluşacak kayıpları büyük ölçüde minimuma indirmediği görülmüştür. Model çıktıları göz önüne alındığında ise yüzey akış tahmini için kullanılan Green Apt yönteminin, SCS-CN yönteminden daha iyi bir performans sergilediği ve çalışılan havzanın yüksek yüzey akış potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

İspanyanın 246 hektar alanına sahip Estana Gölü havzasında yapılan bir araştırmada, 15 farklı mekansal örnek üzerinde 8 akış birimi algoritması kullanılarak yüzey akış simülasyonu yapılmıştır. Farklı mevsimler dikkate alındığında, tahmin edilen yüzey akış derinliği değerleri arasındaki korelasyonların iyileştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca havzanın eğimli olması ve toprak bünyesinde kireç taşı bulunmasının yüzey akış simülasyonunu etkilediği vurgulanmıştır. Araştırmacılar bu çalışmanın, göl üzerinde su yönetimi ile ilgili ipuçları vererek, bu gibi havzalarda hidrolojik sürecin ve akım birikimi simülasyonlarının daha iyi anlaşılmasında kaynak olabileceğini ifade etmişlerdir (Vicente ve ark, 2014).

Sinha ve arkadaşları (2016) ise, yüzey akışın mekansal ve zamansal değişimlerini incelemişlerdir. Almanya'nın Mesoscale havzasında gerçekleştirilen bu araştırmada, yarı dağılımlı HYPE hidrolojik modeli kullanılmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda, yağışın yoğun olduğu kış aylarında ve havzanın yüksek eğime sahip alanlarında yüzey akış oranlarının yüksek, ormanlık alanlarda ve yoğun neme sahip bölgelerde ise yüzey akış oranlarının düşük seviyede olduğu gözlemlenmiştir.

## **2.2. Yüzey Akış Tahmini İçin Kullanılan SWAT Modeli ve Örnek Çalışmalar**

SWAT (Soil Water Assessment Tool) Modeli kullanılarak, yapılan çalışmalardan bazıları özetlenerek izleyen kısımlarda sunulmuştur.

Çin'in kuzeydoğu bölgesindeki Taoerhe Nehri havzasının üst ve orta kesimlerinde yapılan bir çalışmada; aylık ve yıllık yüzey akış üzerinde arazi

kullanımının etkilerini belirlemek istenmiştir. Çalışma; nemli, kuru ve ortalama iklim koşulları altında SWAT modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda, yüzey akış tahmininde arazi kullanımındaki değişimin ikinci derecede etkili olduğu; iklim koşullarında ise özellikle yağışın çok önemli rolü ve etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, aylık yüzey akış üzerinde iklim koşulları ve arazi kullanımındaki değişimlerin etkisinin yağışlı dönemlerde daha büyük olduğu saptanmıştır (Li ve ark, 2012).

Güney Kore’de 0.8 hektar büyüklüğündeki tarımsal havzada yüzey akış tahmini yapılmak istenmiştir. Havzaya SWAT Modeli uygulanarak 15 dakika; 2, 6 ve 12 saatlik yağış verileri kullanılmıştır. Green-Ampt infiltrasyon yöntemi seçilerek yapılan yüzey akış tahmininde, saatlik yağış verileri günlük yağış verilerinden çok daha iyi sonuç vermiştir (Maharjan ve ark, 2013).

Hindistan’da Madhya ve Maharashtra eyaletleri arasında bulunan Tapi alt havzasında SWAT Modeli kullanılarak yüzey akışı tahmin edilmeye çalışılmıştır. 1992-1996 yılları arasındaki aylık gözlenen akım değerler ile aylık simülasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Yüzey akış simülasyonu bakımından SWAT Modelinin performansı, model performansını ölçen istatistikler kullanılarak test edilmiştir (Shivhare ve ark, 2014).

Batı Himalaya Bölgesi’ndeki orta ölçekli Satluj Nehir havzasında bulunan Suni’den Kasol Bölgesi’ne yüzey akış ve sediment tahmini için Jain ve arkadaşları (2010) tarafından bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, Arcview GIS yazılım arayüzü ile SWAT modeli kullanılmıştır. Günlük ve aylık bazda sediment ve yüzey akış verileri kullanılarak model performansı test edilmiştir. Model performansının saptanmasında  $R^2$  değerlerinin kullanılabilceği sonucuna varılmış; sınırlı veriler kullanılarak bir havzadan yüzey akış ve sediment miktarının yeterli doğrulukla tahmin edilebileceği ifade edilmiştir.

Vu ve arkadaşları (2012) tarafından Vietnam’ın Dak Bla Nehri üzerinde yüzey akış tahmini için bir çalışma yapılmıştır. Eksik yağış verilerinin neden olduğu soruna çözüm bulmak için 6 farklı yağış gözlem veri seti kullanılarak

SWAT modeli çalıştırılmıştır. Farklı veri setleri arasından yüksek çözünürlüklü gözlemsel veriye dayanan Asya yağış projesi (Aphrodite) kapsamında üretilen günlük yağış veri seti en iyi uyuma sahip olurken, aylık ölçümde ise uydu veri tabanlı GPCP 1DD veri seti çok iyi bir uyuma sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, karşılaştırmalar sonucunda, SWAT modelinin yüzey akış tahmininde iyi bir hidrolojik model olduğu ifade edilmiştir.

İran'ın Kuzey Karun Bölgesi'ndeki Beheshtabad (3860 km<sup>2</sup>) ile Vanak (3198 km<sup>2</sup>) havzalarındaki sediment ve yüzey akış tahminini belirlemek için bir araştırma yapılmıştır. SUFI-2 algoritması kullanılarak yapılan bu araştırma sonucu modelde, yüzey akış tahmin değerlerinin sediment tahmin değerlerinden çok daha iyi sonuç verdiği bildirilmiştir. Havzadan drene olan akım verilerinin çıkış noktasında eksik olması ve yer altı suyu simülasyonu için gerekli girdi verilerini yetersiz oluşu, bazı aylarda modelin yüzey akış tahmini için iyi sonuç vermediği görülmüştür (Rostamian ve ark, 2010).

Jadha ve arkadaşları (2009) tarafından, doğu Hindistan'daki Nagwan havzasında, SWAT modeli kullanılarak günlük yüzey akış ve sediment tahmini elde edilmek istenmiştir. 1991-2002 yılları arasında gözlenen hidrolojik ve meteorolojik veriler kullanılarak yapılan çalışma sonucu, gözlenen ve simülasyon değerleri ortalamalarının benzer olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların yorumlanmasında SWAT modelinin bu havzada yüzey akış ve sediment miktarı tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Sajikumar ve arkadaşları (2015), farklı arazi kullanımının yüzey akış üzerindeki etkisini SWAT modeli ile incelemişlerdir. Hindistan'ın Kerala bölgesindeki iki havzada gerçekleştirilen bu çalışmada, ormanlık arazinin tarıma elverişli hale getirilmesi ile arazi kullanımının yüzey akışı üzerindeki etkisi belirgin bir şekilde görülmüştür. Bununla birlikte, havzada yağmur sularının tarımsal arazi için depolanması yönteminin kullanılması ve yüksek ET potansiyeline sahip bitki türlerinin yetiştirilmesi, yüzey akış oranlarını etkileyen önemli etmenler olduğu vurgulanmıştır.

Hindistan'ın Chilika Gölü Havzası'nda, sediment taşınımının azaltılması amacıyla yüzey akış tahmini yapılmıştır. Akım simülasyonu için ArcSWAT arayüzü kullanılmıştır. Model çıktı sonuçlarında, ana kanalın hidrolik geçirgenliği, taban akışı çekilme katsayısı (ALPHA\_PF), yüzey akış eğri numarası (CN) ve ana kanal pürüzlülük katsayısı (CH\_N2) en hassas parametreler olarak bulunmuştur. Ayrıca havzanın ortalama aylık yüzey akış tahminlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu vurgulanmıştır. Dolayısıyla, katı madde taşınımının kontrol altına alınabilmesi için gerekli olan toprak su koruma ve planlama çalışmalarına katkı sağlamıştır (Santra ve Das, 2013).

Hindistan'ın güney batısında yer alan Karuvannur Havzası'nda Tomy ve arkadaşları (2015) tarafından bir araştırma yapılmıştır. Yarı dağılımlı hidrolojik model olan SWAT modeli kullanılarak yapılan bu çalışmada, yüzey akış tahmini yapılırken veri eksikliğinden kaynaklanan problemin çözümü için İklim Tahmin Sistem Analizi (CFSR) veri yeterliliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. İklim bileşenleri açısından tüm parametreleri içermesi ve analiz verileri içinde en uygunu olarak bilinen bu veri seti ile model çalıştırılmıştır. SWAT modeli kullanılarak elde edilen çıktı sonuçlarına göre, yağış ölçüm istasyonları yeterli sayıya ulaştığında yağış verilerinin daha etkin kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, 3 veya daha fazla yağış ölçüm istasyonu için CFSR verilerinin daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Bunun sebebinin ise, CFSR verilerinin ölçüm yapılamayan ya da yağış istasyonunun yetersiz olduğu havzalarda, mekansal ölçeğe sahip iklim verilerinden elde edilmesinden kaynaklandığı vurgulanmıştır.

Sediment taşınımı ve yüzey akışı tahmin etmek için yapılan bir çalışmada, Etiyopya'nın dağlık kesimlerinde yer alan Gumara Havzası'nda yapılmıştır. Bu çalışmada, sedimentin mekansal dağılımını saptamak ve sıcak bölgelerden sediment taşınımını azaltmak amacıyla alınan havza yönetim tedbirlerinin potansiyeli test etmek amaçlanmıştır. Yüzey akış ve sediment tahmini için SWAT modeli kullanılmıştır. Dokuz farklı meteoroloji istasyonundan alınan günlük veriler ile havzaya ait mekansal veriler model içine entegre edilerek model

koşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, SWAT modeli aylık bazda sediment ve yüzey akış simülasyonunda iyi performans gösterdiği görülmüştür. Ayrıca, havzanın yaklaşık %72'sinin erozyona eğilimli olduğu tespit edilmiştir (Asres ve Awclachew, 2010).

Yapılan çalışmalar içerisinde en dikkat çekici olanlardan biri de ölçümü olmayan ve verisi eksik olan havzalarda yüzey akış tahminlerinde SWAT modelinin kullanılmasıdır. Hindistan'ın güney kesiminde bulunan Manali Havzası'nda Jeolojik Yapı Anlık Birim Hidrograf Modeli (GIUH) ve SWAT modeli kullanılarak yüzey akış simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen model uygunluk istatistiklerine göre, GIUH modelinin SWAT modelinden daha gerçekçi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ancak; gözlenen ve ölçülen değerler arasındaki büyük farklılıklardan dolayı, modelde bir takım düzenlemelere ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Bunun ise Green & Ampt yöntemi kullanılarak, saatlik bazda yağış ve yüzeysel akış verilerinin modele entegre edilmesiyle gerçekleşeceği ifade edilmiştir (Iskender ve Sajikumar, 2016).

İngiltere'nin güney kesiminde yer alan Colworth Bölgesi'ndeki küçük bir havzada bir başka yüzey akış tahmininde bulunulmuştur. Araştırmacılar, farklı yüzey akış ve evaporasyon yöntemlerini SWAT modeli içerisinde tanımlayarak havza için en uygun parametreleri belirlemiştir. Kalibrasyonu yapılan modelden elde edilen model çıktılarına göre, yağışın yoğun olduğu dönemin kalibrasyon sonuçlarının, kurak geçen döneme göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan evapotranspirasyon yöntemleri karşılaştırıldığında ise sıcaklık tabanlı Hargreaves yönteminin, enerji tabanlı Penman-Montieth yöntemi kadar etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, günlük yüzey akış tahmin değerleri karşılaştırıldığında eğri numarası (Curve Number) yöntemi, Green & Ampt yöntemine göre daha iyi bir performans sergilemiştir (Kannan ve ark, 2006).

Bir başka model çalışması, Çin'in kuzey bölgesinde bulunan Chao nehri havzasında Tang ve arkadaşları (2012) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, yarı dağınımlı hidrolojik model olan SWAT modeli kullanılmıştır. Elde edilen

simülasyon değerleri, SWAT\_CUP kalibrasyon programı içerisine entegre edilerek, belirsizlik analizi yapılmış ve model kalibrasyonu tamamlanmıştır. Hassaslık analizi sonuçlarına göre, 12 parametrenin çalışma alanı için etkili olduğu tespit edilmiştir. Kalibrasyon periyodu boyunca aylık yüzey akış sonuçları kabul edilebilir seviyede iken, doğrulama periyodunda büyük çapta belirsizlikler olduğu görülmüştür. Ayrıca, model performans istatistikleri olan  $R^2$  ve NSE değerleri ile model simülasyon sonuçlarının yeterli olduğu kanıtlanmıştır.

Virjinya'nın Polecat Nehri bölgesinde, arazi kullanım çalışmaları ile su kalitesi sonuçları arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması için sediment ve yüzey akış tahmini yapılmıştır. SWAT ve HSPF modelleri kullanılarak havzanın yüzey akış simülasyonu yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Model çıktıları incelendiğinde, aylık yüzey akış tahmininde HSPF modeli, SWAT modelinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Sediment tahmininde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmacılar, çalışılan havza için HSPF modelinin SWAT modelinden istatistiksel olarak daha anlamlı ve daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ancak, bu modelin hidrolojik döngü, toprak kaybı ve toprak taşınımı gibi olayların modellenmesi için çok sayıda parametre içermesi ve bunların elde edilmesinin zaman alıcı olması nedeniyle, otomatik parametre tahminine olanak sağlayan SWAT modeli karşısında daha az tercih edildiği vurgulanmıştır (Im ve ark, 2007).

Sediment ve yüzey akış tahminleri için Çin'in Hilly-Gullied Bölgesi'nde yer alan Zhifanggou Havzası'nda bir araştırma yapılmıştır. Qiu ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan bu çalışmada, SWAT modelinin yüzey akış ve sediment tahmini üzerindeki uygunluğu test edilmiştir. Model, günlük gözlenen veriler kullanılarak çalıştırılmış ve hassas parametreler tespit edilip kalibrasyon süreci tamamlanmıştır. Modelin performans istatistikleri incelendiğinde, model performans yeterliliğini gösteren  $R^2$  ve NSE değerlerinin sırasıyla 0.79-0.82 ve 0.53-0.62 arasında değerler aldığı belirlenmiştir. Bu istatistiklere göre, modelin kabul edilebilir sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, yağışın yoğun olduğu dönemlerde SWAT modelinin, sediment ve yüzey akış tahminleri bakımından beklenen

seviyenin altında sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.





### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Adana ili Çukurova Bölgesi'nin 213 000 hektar alana (Çetin, 2015) sahip Aşağı Seyhan Ovası (ASO) sol sahil sulama sahasında yer alan Akarsu Sulama Birliği alanını da içine alan tarım havzasında yapılmıştır. Yüzeysel akış tahmini için SWAT modeli kullanılmış ve gerekli veriler bu sahadan sağlanmıştır. Araştırmada kullanılan veriler, araştırma alanının özellikleri ve yöntem izleyen bölümlerde verilmiştir.

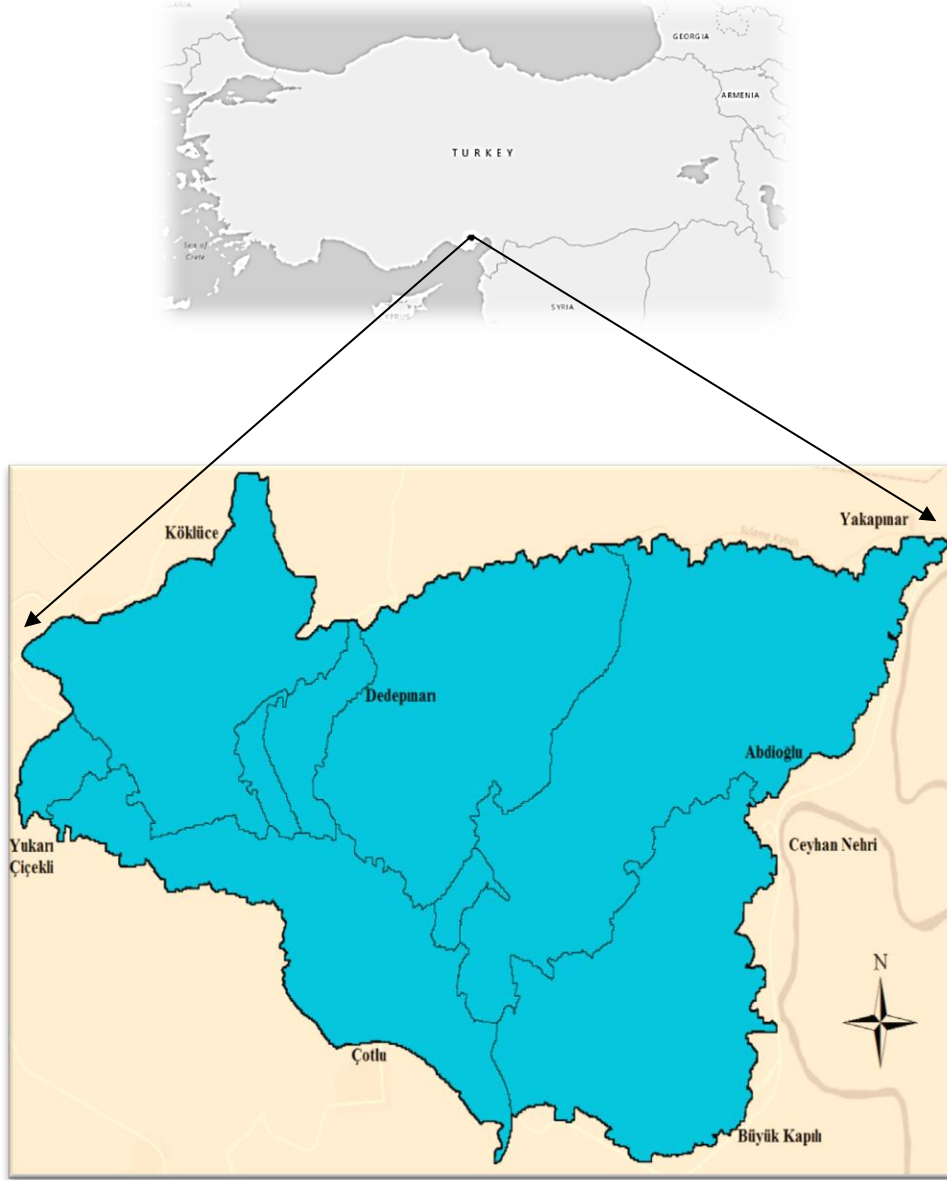
#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Araştırma Alanının Coğrafi Konumu ve İklim Özellikleri

Araştırma alanı 10 487 hektar genişliğindedir. Sahanın batısında Yukarı Çiçekli Köyü, doğusunda Abdioğlu ilçesi ve Ceyhan Nehri, kuzeyinde Yakapınar, güneyinde ise Çotlu ve Büyük Kapılı yerleşim yerleri yer almaktadır (Şekil 3.1).

Çalışma sahasında Akdeniz iklimi görülmektedir. Yazları sıcak ve kurak geçerken, kışları ılık ve yağışlıdır. En yoğun yağışlar, buharlaşmanın en az olduğu kış aylarında düşmektedir. Sıcaklık; haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında en yüksek değerlere sahipken; aralık, ocak, şubat ve mart aylarında ise en düşük değerlere ulaşmaktadır. Ortalama sıcaklık 18.9 °C, ortalama en yüksek sıcaklık 31.0 °C ve ortalama en düşük sıcaklık ise 9.0 °C'dir (Kaman, 2007; Çetin, 2015). Araştırma alanında yer alan ve 2006 yılından bu yana yağış, sıcaklık, oransal nem, rüzgar hızı ve net radyasyon gözlemlerini kaydeden meteoroloji istasyonu bulunmaktadır.

Araştırmanın yapıldığı sahanın konumu Şekil 3.1.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1. Araştırmanın yapıldığı havzanın coğrafi konumu

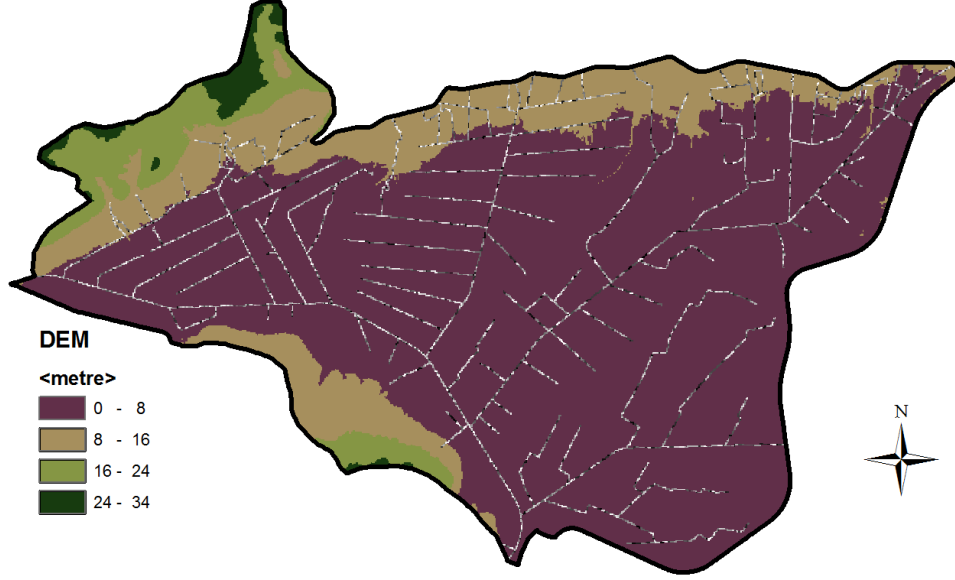
### 3.1.2. Model Koşulları İçin Gerekli Veriler

SWAT modeli, diğer hidrolojik modellerle karşılaştırıldığında farklı girdi verilerine gereksinim duyar. Bu veriler, karakter olarak genelde alansal dağılımlıdır. Bu nedenle, CBS/GIS ortamında üretilmiş olan sayısal yükseklik modeli, bitki deseni, toprak serileri ve dağılımları, çalışma alanındaki jeolojik birimler ve bu birimlerin yayılımları vb. verilere ihtiyaç vardır. Bu verilerin modele tanıtılabilmesi ve girilebilmesi için de ArcSWAT arayüzü geliştirilmiştir (Neitsch, 2009). Bu araştırmada, ArcSWAT arayüzü kullanılmıştır.

SWAT modeli birbirine bağlı ve ardışık olarak tamamlanması zorunlu olan aşamalardan oluşmaktadır. Her aşamada bir takım verilere gereksinim duyulur.

#### 3.1.2.1. Sayısal Yükseklik Verisi

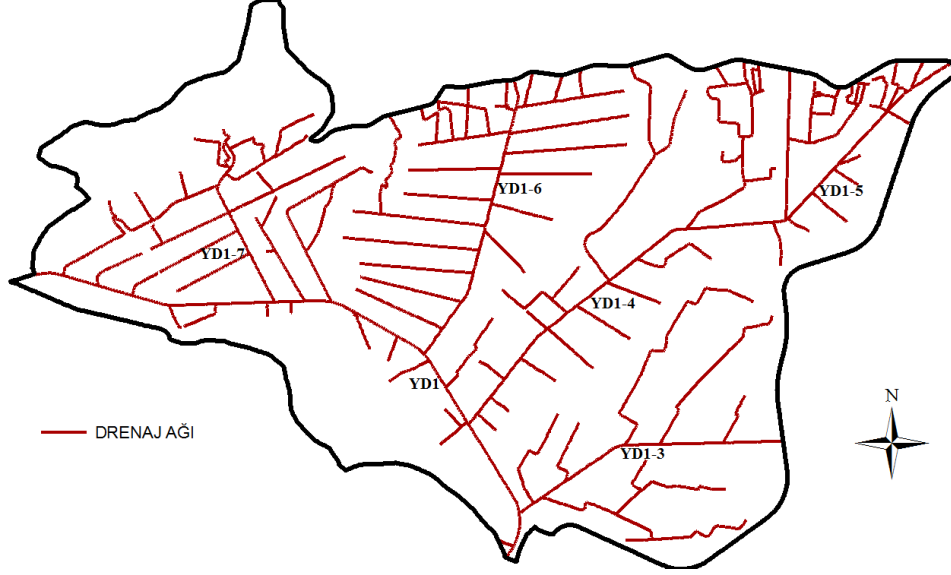
Araştırma alanının düşük eğime sahip olmasından dolayı, yüksek çözünürlüklü sayısal eş yükselti modeline ihtiyaç duyulmaktadır. AIMED TÜBİTAK projesi desteğiyle farklı kurumlarla yapılan ortak çalışmalar sonucunda, araştırma alanının 1:5000 ölçekli işletme paftaları sayısal olarak temin edilmiştir. Bu sayısal veriler kullanılarak, ArcGIS ortamında 10 metre yersel çözünürlüğe sahip akarsu drenaj havzasının sayısal arazi modeli (Digital Elevation Model, DEM) oluşturulmuştur (Şekil 3.2). Bu bağlamda Akgül (2015)'den de yararlanılmıştır.



Şekil 3.2. Araştırma alanının sayısal yükseklik modeli

### 3.1.2.2. Drenaj Ağı ve Havza Sınırı Dosyaları

Akarsu Sulama Birliği sahasının düz olması, drenaj ağı ve su havzası sınırının DEM kullanılarak doğru bir şekilde belirlenmesini güçleştirmiştir. Bu nedenle drenaj ağı ve havza sınırı, AIMED TÜBİTAK projesi kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilmiş; Akgül (2015)'den de yararlanılarak ArcGIS ortamında el ile hazırlanmıştır. Bu veriler; Google Earth görüntüleri, 1/5000 ölçekli işletme paftaları, 1/5000 ölçekli Ortofoto haritalar (Akgül, 2015) ile 1/25000 ölçekli paftaların birlikte incelenmesi ile üretilmiştir. Araştırma alanının drenaj ağı haritası üzerinde, YD1 ana drenaj kanalı, YD1-3, YD1-4, YD1-5, YD1-6 ve YD1-7 yedek drenaj kanalları belirtilerek, havzanın drenaj ağı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Araştırma alanı drenaj ağı haritası

### 3.1.2.3. Toprak Verileri

Model temel girdilerinden bir diğeri, çalışılan havzadaki toprak serileri ve bu serilerin özellikleridir. Araştırma alanının toprak serisi verileri, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre Dinç ve arkadaşlarından (1995) derlenerek modele girdi dosyası olarak tanıtılmıştır. Girdi dosyasında hazırlanmış toprak serisi verileri şunlardır: Hidrolojik toprak grubu, toprak profilinin maksimum kök derinliği (mm), toprağın fiziksel yapısı, toprak yüzeyinden alt katmana olan derinlik (mm), toprak hacim ağırlığı ( $Mg/m^3$  veya  $g/cm^3$ ), toprak katmanının kullanılabilir su kapasitesi ( $mm H_2O/mm$  toprak), doymuş hidrolik iletkenliği ( $mm/h$ ), organik karbon içeriği (% toprak ağırlığı), toprağın kil, silt, kum ve taş içeriği (% toprak ağırlığı), albedo değerleri, aşınabilirlik faktörü ve toprağın elektriksel iletkenliği ( $dS m^{-1}$ ). Hazırlanan girdi verileri içerisinde, çalışma alanındaki toprak serileri ve alansal dağılımları Çizelge 3.1’de, toprak serilerinin genel özellikleri ise Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırma alanındaki toprak serilerinin alansal dağılımı

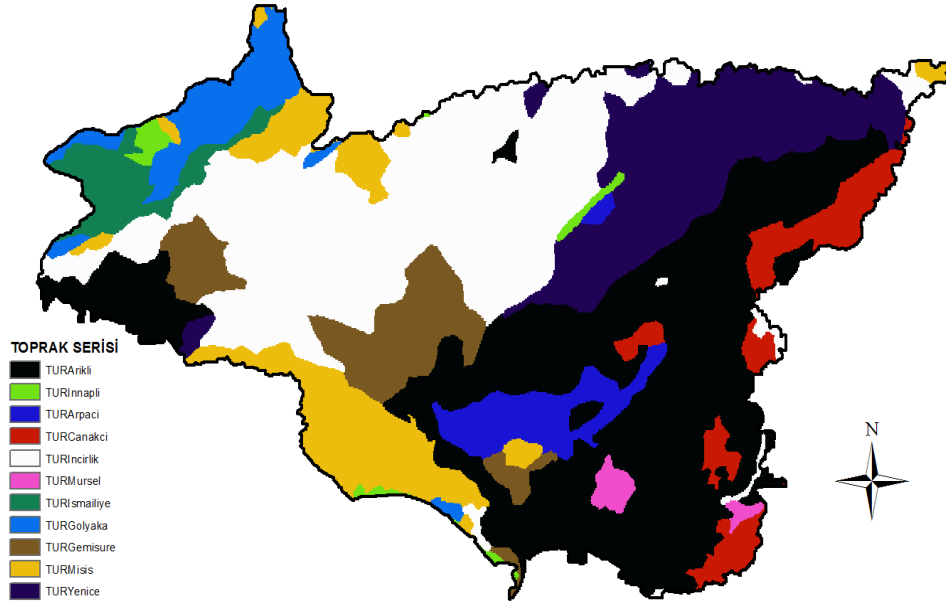
Toprak Serisi	Alan (ha)	Alan (%)
Arikli	3107.4	29.6
Arpaci	375.5	3.6
Canakci	465.7	4.4
Gemisure	670.4	6.4
Golyaka	442.1	4.2
İncirlik	2739	26.1
Innaplı	88.9	0.9
İsmailiye	303.1	2.9
Misis	885.6	8.5
Mürsel	76.1	0.7
Yenice	1332.9	12.7

Çizelge 3.2. Araştırma alanındaki toprak serilerinin genel özellikleri

Seri Adı	Kum	Silt	Kil	Toplam Porozite	Hacim ağırlığı	pH	Toplam Derinlik
	(%)				g/cm <sup>3</sup>		mm
Arikli	8	29	63	26.0	1.3	7.6	1500
Arpacı	9	40	51	11.8	1.5	7.7	1100
Çanakçı	51	23	26	26.0	1.4	7.5	1500
Gemisure	2	26	72	24.0	1.5	7.6	1200
Gölyaka	27	33	40	10.8	1.4	7.5	350
İncirlik	12	26	62	26.0	1.4	7.6	1500
İnnaplı	25	25	50	12.6	1.4	7.3	1030
İsmailiye	10	41	49	13.0	1.3	7.5	1000
Misis	25	22	53	10.5	1.6	7.4	1400
Mürsel	15	47	38	26.0	1.3	7.5	1240
Yenice	13	31	56	11.0	1.6	7.7	1180

Araştırma alanındaki toprak serilerinin Türkiye sınırları içerisinde yer aldığını göstermek için, TUR ifadesi her bir toprak serisinin başına getirilerek girdi dosyaları hazırlanmıştır.

Hazırlanan toprak serisi girdi verileri ArcGIS ortamında ArcSWAT arayüzü kullanılarak modele entegre edilmiştir. SWAT modelinin çalışma aşamalarından biri olan havza sınırlarının çizilmesini sonrası toprak serisi haritası oluşturulmuş olup Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Araştırma alanı toprak serisi haritası

#### 3.1.2.4. Bitki Deseni Verileri

Model içerisinde hidrolojik tepki birimlerinin elde edilebilmesi için eğim ve toprak serisine ilave olarak bitki deseni verilerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bitki deseninin oluşturulmasında, çalışma sahasının özellikle yıl içinde birden fazla ürün elde edilen tarım alanlarına sahip olması büyük etkiye sahiptir. Bununla birlikte, çok zamanlı sınıflamanın arazi örtüsü üzerinde daha gerçekçi bir sonuç verdiği tespit edilmiştir (Çetin, 2015).

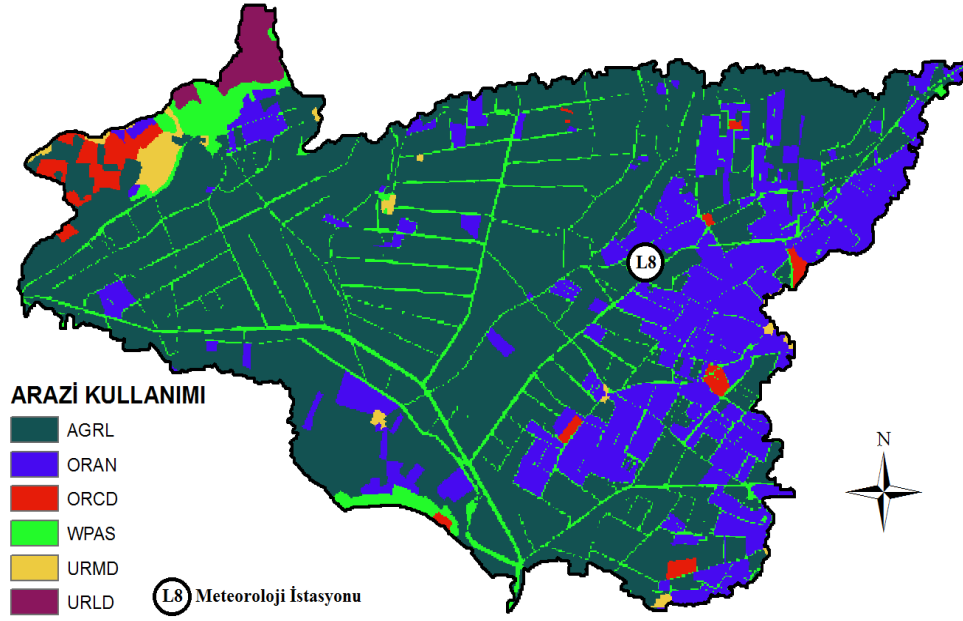
Bu sebeple havzanın 2008-2014 yılları için yazlık ve kışlık ürün deseni belirtilmiştir. Bitki desenini belirlemek için MedSalin TÜBİTAK araştırma projesi desteğiyle, sulama mevsimi başlangıcı (ocak/şubat), sulamanın en yoğun olduğu dönem (temmuz) ve sulama mevsimi sonu (eylül sonu ya da ekim ayının ilk haftası) olmak üzere yılda dört defa araziye çıkılmıştır. Arazideki her farklı bitki parselinin yeri GPS ile kaydedilmiş ve her dönem için en az 200 noktada yer gözlemleri yapılmıştır. Daha sonra, arazi çalışmaları ile toplanan yer verileri Akgül (2015)'den yararlanılarak, farklı tarihe ait Landsat uydu görüntüleri ile ArcGIS ortamında entegre edilmiş ve bitki deseni haritaları üretilmiştir (Akgül 2015; Çetin ve ark, 2015). Elde edilen bitki deseni haritaları yardımı ile 6 farklı arazi kullanım türü olduğu saptanmıştır. Bu arazi kullanım türleri kullanılarak rotasyon dosyaları hazırlanmış ve ArcSWAT ara yüzüne girdi dosyası olarak tanımlanmıştır. Hazırlanan arazi kullanım sınıfları ve alansal dağılımları Şekil 3.3'te ifade edilmiştir.

Çizelge 3.3. Araştırma alanının arazi kullanımı

Arazi Kullanımı	Alan (ha)	Alan (%)
Tarla Bitkileri (AGRL)	6954.0	66.3
Narenciye (ORAN)	2161.1	20.6
Meyve Bahçesi (ORCD)	186.0	1.8
Kışlık Mera (WPAS)	944.0	9.0
Yüksek Yoğunlukta Yerleşim Yeri (URMD)	112.4	1.1
Düşük Yoğunlukta Yerleşim Yeri (URLD)	129.5	1.2
<b>TOPLAM</b>	<b>10487.0</b>	<b>100.0</b>



Toprak serisine benzer bir şekilde, arazi kullanım haritası da ArcSWAT ara yüzü kullanılarak hazırlanmış ve Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Araştırma alanı arazi kullanım haritası

### 3.1.2.5. Meteorolojik Veriler

Meteorolojik veriler, hidrolojik döngüyü etkileyen önemli bir faktördür. Bu döngü içerisinde yüzey akış üzerine doğrudan etkili olan değişken ise yağışlardır. Model kurulum aşamasında ihtiyaç duyulan meteorolojik veriler; Adana Meteoroloji İstasyonu'ndan ve Şekil 3.6'da görüldüğü gibi Akarsu Sulama Birliği Havzası'ndaki L8 olarak ifade edilen meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir. L8 istasyonu, konumu itibarıyla tüm havzayı temsil etmektedir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Bu meteoroloji istasyonu sayesinde yağış, rüzgar hızı, solar radyasyon, oransal nem ve sıcaklık gibi değişkenlerin verileri günlük periyotta kaydedilmektedir. SWAT modelinde bitki su tüketiminin hesaplanabilmesi için gereksinim duyulan meteorolojik verileri şu şekilde sıralayabiliriz: Günlük ortalama sıcaklık ( $C^{\circ}$ ), günlük ortalama oransal nem (%), günlük ortalama rüzgar

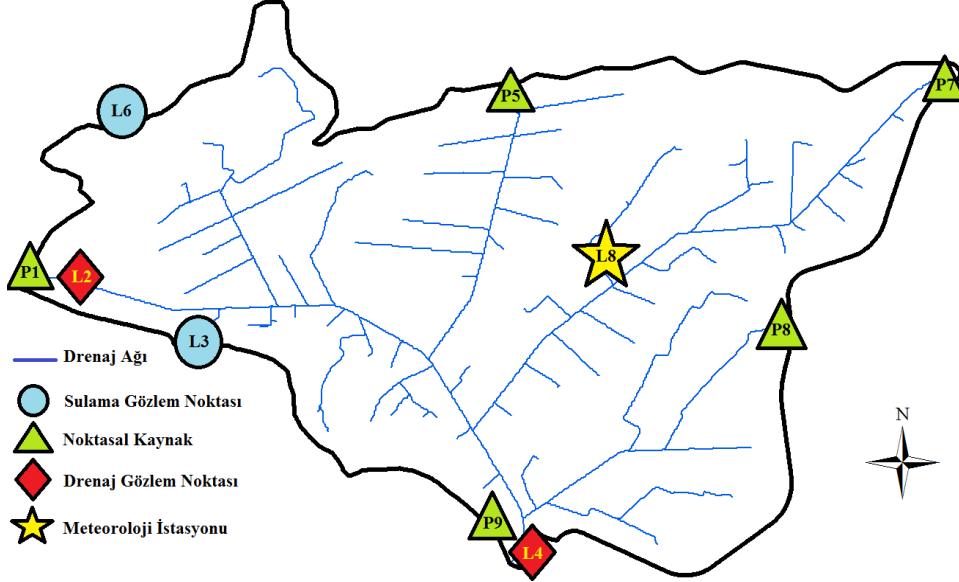
hızı (m/s), günlük toplam yağış (mm) ve günlük toplam solar radyasyon ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$ ). SWAT modelinin girdi dosyalarından biri olan meteoroloji verileri, L8 meteoroloji istasyonundan modem aracılığıyla internet üzerinden bilgisayar ortamına aktarılarak modele entegre edilmiştir.



Şekil 3.6. Araştırma alanı meteoroloji istasyonu

#### 3.1.2.6. Akım Verileri

Model kalibrasyonunun yapılabilmesi için çalışılan havzanın sulama ve drenaj kanallarındaki akım değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu ölçümlerin yapılabilmesi için akım gözlem istasyonlarına ihtiyaç vardır. Akarsu Sulama Birliği sahasında var olan ve akım gözlemi yapılan akım gözlem istasyonları Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Akarsu Sulama Birliği sahasında bulunan akım gözlem istasyonları ve noktasal kaynaklar

Akarsu Sulama Birliği sahasında L3 ve L6 olarak adlandırılan istasyonlar sahaya sulama amaçlı giren suları; L2 istasyonu drenaj kanalından sahaya giren suları; L4 istasyonu havzadaki tüm suların ana drenaj kanalında birleşip, havzayı terk ettiği çıkış noktasına yerleştirilen akım gözlem istasyonlarını (AGİ); L8 noktası ise meteoroloji istasyonunu ifade etmektedir. Ayrıca; P1, P5, P7, P8 ve P9 noktaları, havzanın çıkışındaki toplam suya katkısı olan bypass akışların temsil edildiği noktasal kaynakları göstermektedir. Akarsu Sulama Birliği sahasının yer aldığı araştırma sahasında kurulan AGİ'lerde, limnigraf olarak ifade edilen aletler bulunmaktadır. Bu aletler, kanalda akan suyun derinliğini saatlik bazda ölçmekte ve kaydetmektedir (Çetin ve ark, 2015). Çalışılacak zaman periyodu içerisindeki her bir hidrolojik yılın sonunda AGİ'lerde ölçülen su derinlikleri (h), saha çalışması sonucu saptanan  $Q=f(h)$  anahtar eğrileri kullanılarak, debiye ( $Q$ ,  $m^3/s^{-1}$ ) çevrilmiş ve istenen akım verileri elde edilmiştir (Çetin ve ark, 2015).

Araştırma havzasına çevrilen sulama suyu miktarının daha gerçekçi bir şekilde tespit edilebilmesi için, bypas akış oranlarına gereksinim duyulmuştur. Havza içerisine çevrilen sulama sularının, sulamada kullanılmadan direk olarak kanalların uç tahliyelerinden drenajlara deşarj olan sular, bu araştırmada bypas akışı olarak deyimlenmiştir. Çalışma alanında yapılan gözlemlerden de yararlanılarak, model içerisine noktasal kaynaklar ilave edilmiş (Şekil 3.7) ve model kurulum aşamasında ArcSWAT arayüzü kullanılarak bypas akış miktarları tahmin edilmiştir. Tahmin edilen bypas akımları, model içerisine uygun konumlara noktasal kaynak olarak girilmiştir (Şekil 3.7).

## 3.2. YÖNTEM

### 3.2.1. SWAT Modeli ve Yüzey Akış Tahmini

Akarsu Sulama Birliği sahasını da içine alan geniş bir alanda yapılmış olan bu çalışmada, havza bazında SWAT modeli ArcGIS programının arayüzü ArcSWAT olarak kullanılmıştır. Havza ölçüm modeli olarak bilinen bu model, Dr. Jeff Arnold ile Amerika Birleşik Devletleri Tarımsal Araştırmalar Servisi (USDA Agricultural Research Service (USDA-ARS)) ve Texas A&M Üniversitesi işbirliğiyle geliştirilmiş kamuya açık bir modeldir. SWAT (Soil Water, Atmosphere, Transfer) modeli, toprak profili içerisindeki su dengesine bağlı olarak infiltrasyon, yüzey akış, bitki su tüketimi, sızma, yanak akış, su kalitesi ve miktarını geniş havzalarda tahmin etmeyi amaçlayan bir araçtır (Rode ve ark, 2010; Arnold ve ark, 2012; Şatır, 2013).

SWAT modelinin çalıştırılması için birbirine bağlı 5 aşamanın eksiksiz olarak yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu aşamalar, izleyen kısımlarda alt başlıklar halinde kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

#### 3.2.1.1. Modele Çalışma Havzasının Tanıtılması Aşamaları

Modelin çalıştırılacağı havzanın, modele eksiksiz olarak tanımlanması için

aşağıdaki aşamalar takip edilir:

- Sayısal yükseklik modelinin yüklenmesi,
- Akışın tanımlanması,
- Havzadaki su kaynaklarının, drenaj giriş ve çıkış noktalarının modele tanıtılması,
- Alt havzaların çıkış noktalarının seçilmesi ve tanımlanması.

Bu aşamaların sonunda model, devamlı bir su dengesini sürdürdüğünden havzanın topoğrafik yapısına bağlı olarak, farklı havzaların çeşitli bitkiler, toprak ve gerçek ET'deki farklılıkları daha iyi yansıtabilmesi için alt havzaları oluşturmak gerekmektedir. Bu yüzden, model içerisinde model koşumu yapılırken yüzey akışlar her bir alt havza için ayrı ayrı tahmin edilerek, toplam akım elde edilir. Yapılan bu işlem model sonuçlarının hassasiyetini artırır ve su dengesini etkileyen bileşenlerin simülasyonunu gerçekçi bir şekilde verir (Karaş, 2005).

#### **3.2.1.2. Hidrolojik Tepki Birimlerinin {Hidrologic Response Units (HRUs)} Belirlenmesi**

Çalışılan sahayı bölen alt havzaların her biri için, arazi kullanım türleri, toprak özellikleri ve topoğrafik farklılıkların etkisi dikkate alınarak çakışma analizi (Overlay Analysis) yapılır ve hidrolojik tepki birimleri (HRUs) elde edilir. Elde edilen HRU'lar hidrolojik karakteristikleri benzer olan birimleri temsil ederler.

Hidrolojik tepki birimleri sayesinde, çalışma havzasındaki suyun izlediği yollar SWAT modeli tarafından simüle edilerek tespit edilir (Neitsch ve ark, 2009). Böylece, modellemenin birimi gibi görev yapan HRU'lar, model sürecini basitleştirir ve sayısal etkinliği geliştirir.

### 3.2.1.3. Meteorolojik Verilerinin Girilmesi

SWAT modeli, takvim yılına göre çalışır. Bu nedenle, hidrolojik ve hidro-meteorolojik gözlemler takvim yılına göre düzenlenip modele girilmesi gerekmektedir. Modele girilmesi gereken meteorolojik veriler şunlardır:

- Sıcaklık,
- Yağış,
- Ortalama oransal nem,
- Solar radyasyon,
- Ortalama rüzgâr hızı.

Bu meteorolojik veriler, model ortamına uygun olarak hazırlanıp, modele tanıtılmıştır.

### 3.2.1.4. SWAT Modeli Girdilerinin Oluşturulması ve Düzenlenmesi

Meteorolojik verilerin girilmesinden sonra modelde yer alan ‘write input table’ seçeneği ile SWAT verileri oluşturulmuştur. Daha sonra, ‘edit SWAT database’ seçeneği ile elde edilen SWAT verileri içerisinde havzayı temsil eden uygun değişiklikler yapılmıştır.

Hidrolojik su bütçesi, yüzey akış hesabı ve evapotranspirasyon kestirimindeki kullanılan yöntemler izleyen kısımlarda sunulmuştur.

### 3.2.1.5. SWAT Modelinin Çalıştırılması

SWAT Modeli, araştırma alanında yapılan arazi çalışmaları sonucu, elde edilen gerçek gözlenen veriler kullanılarak çalıştırıldığından, hidrolojik su dengesi denklemine uygun olarak su bütçesi ögelerini hesaplamakta, yüzey akış ve evapotranspirasyon temel olmak üzere su bütçesine ilişkin sonuçlar vermektedir.

### 3.2.2. Hidrolojik Su Bütçesi Denklemi

SWAT modelinde hidrolojik döngü, su dengesi denkleminde bağıdır ve aşağıdaki gösterildiği gibi ifade edilir (Neitsch ve ark, 2009).

$$SW_t = SW_o + \sum_1^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Burada;

$SW_t$  : Son durumdaki toprak su içeriği,

$SW_o$  : Başlangıçtaki su içeriği,

$i$  : 't' simülasyon periyodu için günlük zaman ,

$R_{day}$  : Yağış miktarı,

$Q_{surf}$  : Yüzey akış,

$E_a$  : Gerçek evapotrasprasyon,

$W_{seep}$  : Sızma,

$Q_{gw}$  : Yer altı suyudur.

SWAT modeli, Denklem 1'i kullanarak hesaplamaları yapmaktadır. Bu denklem, belirtilen parametrelerin çıktılarını vermektedir.

#### 3.2.2.1. Yüzey Akış Hesabı

Tarım alanlarına giren sulama suyu uygulama hızı ya da yağın yağmurların hızı yani yağış şiddeti ( $mm\ h^{-1}$ ) infiltrasyon hızını geçtiğinde, yüzey akış meydana gelir. Başlangıçta kuru toprak için infiltrasyon hızı yüksek iken, toprak ıslandıkça yavaşlar; yüzey akış oranı artmaya başlar. SWAT modeli yüzey akışını iki farklı yöntemle tahmin eder. Bunlar:

- Green & Ampt İnfiltrasyon Yöntemi (Green ve Ampt, 1911; Neitsch ve

ark, 2009),

- SCS Eğri Numarası Yöntemi (Rallison ve Miller, 1981; Neitsch ve ark, 2009).

Saatlik bazda veriler için Green & Ampt infiltrasyon yöntemi kullanılırken, günlük bazda veriler için SCS eğri numarası yöntemi kullanılır (Shivhare ve ark, 2014).

Bu araştırmada, günlük veriler kullanıldığı için, SCS eğri numarası yöntemi seçilerek yüzey akış tahmin edilmiştir. Gözleme dayalı bir yöntem olan SCS yüzey akış denklemi, 1950 yıllarında kullanılmaya başlanmıştır. AQmerika Birleşik Devletleri'ndeki küçük kırsal havzalarda yapılan, yağış-yüzey akış arasındaki ilişkiyi kapsayan 20 yıldan daha fazla periyoda sahip çalışmaların bir ürünüdür. Model, değişen bitki deseni ve arazi kullanımı altında uygun bir prensipte yüzey akış tahminini yapmak için geliştirilmiştir (Ralison ve Mil ark, 1981).

SCS eğri numarası denklemi (Rallison ve Miller, 1981; Neitsch ve ark, 2009'dan):

$$Q = \frac{(R_{\text{day}} - 0.2 S)^2}{(R_{\text{day}} - 0.8 S)} \quad R > 0.2 S \quad (2)$$

$$Q = 0 \quad R \leq 0.2 S$$

Burada;

$Q$  : Günlük yüzey akışı,

$R_{\text{day}}$  : Günlük yağış derinliğini,

$S$  : Birikme parametresini göstermektedir.



'S' parametresi, SCS denklemi üzerinde eğri numarasına (CN) bağlıdır. CN, önceki nem durumu için eğri numarasıdır. Bu parametre, aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$S = 254 \left[ \frac{100}{CN} - 1 \right] \quad (3)$$

### 3.2.2.2. Evapotranspirasyon Tahmini

Evapotranspirasyon, yeryüzündeki suyun, su buharına dönüştüğü tüm süreçleri içeren genel bir ifadedir. Topraktaki buharlaşmadan ve bitki yüzeyinden buharlaşma evrelerini içerir. Suyun, havzadan atmosfere çıkışındaki ilk evresi olarak tanımlanan evapotranspirasyon, Antartika hariç tüm kıtalar üzerindeki çoğu nehir havzalarında yüzey akışına kıyasla oldukça yüksektir (Dingman, 1994).

Evapotranspirasyonun doğru tahmini için, su kaynakları, bu kaynaklar üzerindeki arazi kullanımını değişikliği ve iklim etkisi çok önemlidir.

#### 3.2.2.2. (I). Potansiyel Evapotranspirasyon

Potansiyel evapotranspirasyon (PET), iklim sınıflandırma planının bir parçası olarak Thornthwaite (1948) tarafından ortaya atılan bir kavramdır. Potansiyel evapotranspirasyon, toprak su ihtiyacının eksiksiz olarak karşılandığı ve uniform olarak dağılmış bitki örtüsüyle kaplı alanda meydana gelen evapotranspirasyon değeri olarak tanımlanır. Potansiyel evapotranspirasyon tahmini için çok sayıda yöntemin uygulandığı dikkati çekmektedir. Bu yöntemlerden en önemli olan 3'ü SWAT modelinde kullanılmaktadır. Bunlar; Penman-Monteith yöntemi, Priestley-Taylor yöntemi ve Hargreaves yöntemidir.

Eğer kullanıcı farklı potansiyel evapotranspirasyon yöntemi kullanmayı tercih ederse, model günlük potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerini hesaplayıp, bir zaman serisi olarak sunabilmektedir. Gereksinim duyulan iklim

verileri her model için farklı olup, verilerin duruma göre bu üç modelden biri kullanılabilir. Çizelge 3.4’de modeller ve her modelde ihtiyaç duyulan iklim verileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. İklim veri çeşitlerine göre kullanılacak potansiyel evapotranspirasyon yöntemleri

Yöntem	Solar Radyasyon	Hava Sıcaklığı	Oransal Nem	Rüzgar Hızı
Penman-Monteith	+	+	+	+
Priestley-Taylor	+	+	+	-
Hargreaves	-	+	-	-

Sınırlı veri koşullarında, Çizelge 3.4’te görüldüğü gibi sadece hava sıcaklığı verisi ile Hargreaves yöntemi kullanılarak potansiyel evapotranspirasyon hesaplanabilir. Ancak birden fazla değişken daha fazla veri gereksinimi anlamına gelmektedir. PET tahmininde kullanılacak değişken sayısının fazla olması, hatayı en aza indirgeyebilir ve daha gerçekçi bir potansiyel evapotranspirasyon tahminlerinin yapılmasını sağlayabilir. Araştırma alanındaki meteorolojik verilerin yeterliliği nedeniyle, çalışmada Penman-Monteith yöntemi kullanılmıştır.

Bu yöntemin matematiksel eşitliği ve parametreleri Denklem 4’te gösterilmiştir (Neitsch ve ark, 2009).

$$\Delta E = \frac{\Delta \cdot (H_{net} - G) + \rho_{air} \cdot c_p \cdot [e_z^0 - e_z] / r_a}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_c / r_a)} \quad (4)$$

Burada;

$\Delta E$  : Potansiyel sıcaklık akış yoğunluğu ( $MJ m^{-2} d^{-1}$ ),

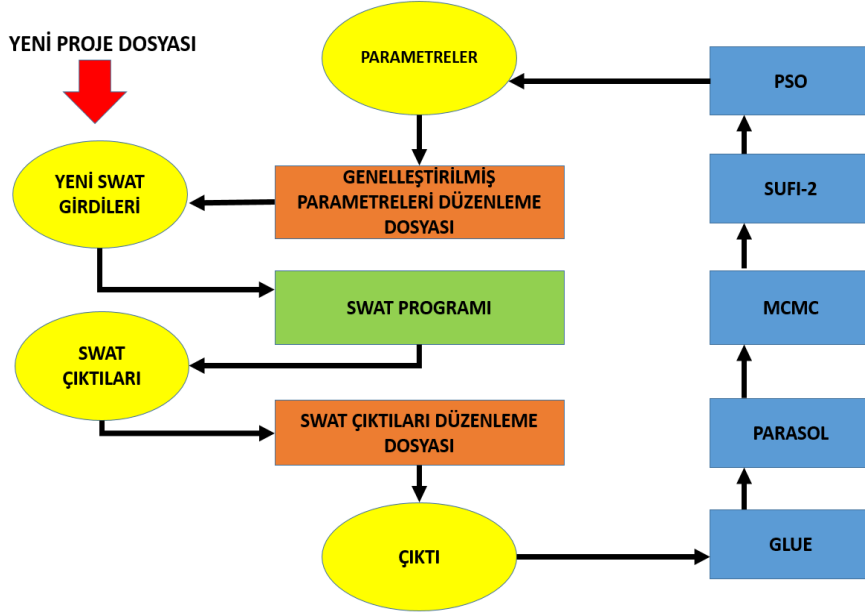
- $E$  : Buharlaşma derinlik oranı ( $\text{mm d}^{-1}$ ),  
 $\Delta$  : Doygun buhar basıncı ile sıcaklık eğrisinin eğimi ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  
 $\rho_{\text{air}}$  : Hava yoğunluğu ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  
 $H_{\text{net}}$  : Net radyasyon ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  
 $G$  : Zemin için sıcaklık akış yoğunluğu ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  
 $c_p$  : Sabit basınçta spesifik sıcaklık ( $\text{MJ kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  
 $e_z^o$  : z yükseklikte havanın doymuş buhar basıncı ( $\text{kPa}$ ),  
 $e_z$  : z yükseklikte havanın buhar basıncı ( $\text{kPa}$ ),  
 $\gamma$  : Psikrometrik sabiti ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  
 $r_c$  : Bitki kanopy direnci ( $\text{s m}^{-1}$ ),  
 $r_a$  : Hava tabakasının yayılma direnci ( $\text{s m}^{-1}$ )'dir.

### 3.2.3. SWAT Modeli Kalibrasyonu

SWAT modelinin, doğru sonuçlar verebilmesi için kalibre edilmesi ve doğrulanması gerekmektedir. SWAT-CUP, SWAT modelinin kalibrasyonu için geliştirilen arayüz programdır. Bu çalışmada kalibrasyon aşaması için SWAT\_CUP arayüzü kullanılmıştır.

#### 3.2.3.1. SWAT\_CUP Programı

Otomatikleşmiş model kalibrasyonunun gerektirdiği belirsiz model parametreleri sistemli olarak değiştirilir, model çalıştırılır ve model çıktı dosyalarından gerekli çıktılar alınır. Arayüzün ana fonksiyonu, model ile kalibrasyon programının girdi ve çıktıları arasında bir bağlantı sağlamaktadır. SWAT\_CUP arayüzü kullanarak, SWAT model çıktılarının kalibrasyonu, belirsizlik veya hassasiyet analizi kolayca yapılabilir. SWAT\_CUP programında, kalibrasyon ve belirsizlik analizi için 5 farklı optimizasyon yöntemi vardır. Bunlar; parçacık sürü optimizasyonu (PSO), sıralı belirsizlik uyumu (SUFI-2), Markov zinciri monte carlo (MCMC), parametre çözümü (Parasol) ve genelleştirilmiş olasılık belirsizlik tahmini (GLUE) yöntemleridir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. SWAT modeli ile parametre optimizasyon yöntemleri arasındaki bağlantı şeması

SUFI\_2 algoritması, optimizasyon yöntemleri arasında en dikkat çekici olanıdır. Bu yöntem, gözlem değerlerinden kaynaklanan bir değişimin, simülasyon değerleri üzerindeki en büyük etkisini hangi parametrenin gösterdiğini tespit eden hassasiyet analizine dayanır. Hassasiyet analizi ile, kalibrasyon ve doğrulama sürecinde gerekli olan en etkili parametrelere ulaşılmaktadır (Abasspour ve ark, 2007; Jajarmizadeh ve ark, 2012). SWAT modelinin kalibrasyon aşamasında, parametrelerin hassasiyet analizi özelliğine sahip SUFI-2 optimizasyon algoritması tercih edilmiştir.

Debi ile ilgili çeşitli SWAT parametreleri, SUFI-2 algoritması kullanılarak tahmin edilebilir. SUFI-2’de belirsizlik; ölçülen değişkenler ile simülasyon değişkenleri arasındaki uyumsuzluk olarak tanımlanır. Bu belirsizliği açıklamak için sapan değerler hariç, ölçülen verilerin korunması gereklidir. Böylece SUFI-2, belirsizlik parametrelerini bulmak için kalibrasyon ile belirsizlik analizini

birleştirir. Bu belirsizlik parametreleri; kavramsal modelin, belirsizliklerin, güçlenen girdilerin ve parametrelerin tüm kaynaklarını gösterir. SUFI-2 'de, model çıktı belirsizliği %95 tahmin belirsizliğinde (95PPU) ölçülürken, girdi parametre belirsizliği bir uniform dağılım olarak ifade edilir (Rostamian ve ark, 2008).

#### 3.2.4. Model Kalibrasyonu İçin Gerekli Performans İstatistikleri

Model performans istatistikleri, simülasyon değerlerinin gözlenen değerlerle ne tür bir uyuma sahip olduğunu test etmek için kullanılır. Hidrolojik modelin performansını test etmek için kullanılan birçok performans istatistiği vardır. p-factor, r-factor,  $R^2$ , NSE,  $bR^2$ , MSE, SSQR, PBIAS, simülasyon ortalaması, simülasyonların standart hatası vb. istatistikler buna örnek gösterilmektedir. Bu çalışmada, modelin performansını test edebilmek için, belirginlik katsayısı  $R^2$ , modelin tahmin kapasitesini gösteren Nash-sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) ve yüzde hata istatistiği (PBIAS) kullanılmıştır. Ayrıca, model istatistiklerinin genel performans değerlendirme çizelgesi, Moriasi ve arkadaşlarının (2007) yaptığı bir çalışmadan yararlanılarak hazırlanmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Model istatistikleri için genel performans değerlendirme

Performans Ölçüsü	Gözlenen Standart Hata Oranı (RSR)	Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı (NSE)	PBIAS (%)
			Akım
Çok iyi	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.0$	$PBIAS < \pm 10$
İyi	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Yeterli	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Yetersiz	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$

**3.2.4.1. Belirginlik Katsayısı ( $R^2$ )**

$R^2$ , model tarafından açıklanabilen, ölçülen verilerdeki toplam değişimin boyutunu belirtir. Değer aralığı 0-1 arasındadır. Yüksek değerler, daha iyi bir uyum olduğunu gösterir (Jain, 2010).

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_1^N [Q_i - Q_{avg}] [S_i - S_{avg}]}{\sqrt{\sum_1^N [Q_i - Q_{avg}]^2 \sum_1^N [S_i - S_{avg}]^2}} \right]^2 \quad (5)$$

Burada;

$Q_i$  : Gözlenen i. değeri,

$Q_{avg}$  : Gözlem parametrelerinin ortalaması,

$S_i$  : i. simülasyon parametresi,

$S_{avg}$  : Model simülasyon parametrelerinin ortalaması,

$N$  : Toplam örneklem sayısıdır.

**3.2.4.2. Nash Sutcliffe Etkinlik İstatistiği (NSE)**

Modelin, tahmin kapasitesini gösterir. İstatistiğin değeri, negatif sonsuzdan 1'e kadar değerler alır. NSE, basit fiziksel yorumundan dolayı en uygun oransal hata veya en kullanışlı performans istatistiği olarak kabul edilir (Legates ve ark, 1999).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_1^N [(Q_i - S_i)^2]}{\sum_1^N [(Q_i - \bar{Q})^2]} \quad (6)$$

Burada;

$Q_i$  : Gözlenen i. değeri,

- $S_i$  : Simülasyon akım değeri,  
 $Q$  : Gözlenen değerlerin ortalaması,  
 $N$  : Toplam örneklem sayısıdır.

### 3.2.4.3. Yüzde Hata İstatistiği (PBIAS)

Simülasyon verilerinin gözlenen verilerden büyük ya da küçük olup olmadığı, yüzde hata istatistiği kullanılarak belirlenebilir. En uygun değeri '0' noktasında alır. Pozitif PBIAS değeri, ölçülen değerlerin simülasyon değerlerinden büyük olduğunu gösterirken, negatif PBIAS değeri bu durumun tam tersini ifade eder. PBIAS istatistiği şöyle hesaplanır:

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^N (Q_m - Q_s)_i}{\sum_{j=1}^N Q_{mj}} \quad (7)$$

Burada;

- $Q_m$  : i. gözlenen akım değeri,  
 $Q_s$  : i. simülasyon akım değeri,  
 $N$  : Toplam örneklem sayısıdır.

### 3.2.5. BASE\_FLOW Programı

Tarımsal bir havzadaki drenaj akımları üzerine, yağış ve sulama suları önemli oranda etki etmektedir. Bununla birlikte, taban sularının etkisiyle meydana gelen baz akımları da havza çıkışındaki drenaj debilerini etkilemektedir. SWAT modeli koşturulmadan önce, BASE\_FLOW programı ile baz akımı üzerine etki eden parametreler belirlenebilmektedir (Arnold ve ark, 2000). Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Birimi (USGS) tarafından açık kaynak koduyla geliştirilen BASE\_FLOW programı SWAT modelinden bağımsız olarak çalıştırılır. Bu programın girdi dosyası, çalışma havzasına ait akım

verileridir. BASE\_FLOW programının çıktı dosyasında, baz akımını etkileyen Alpha\_BF ve GWDELAY parametre değerlerine ulaşılır ve SWAT modeline bu değerler entegre edilir.

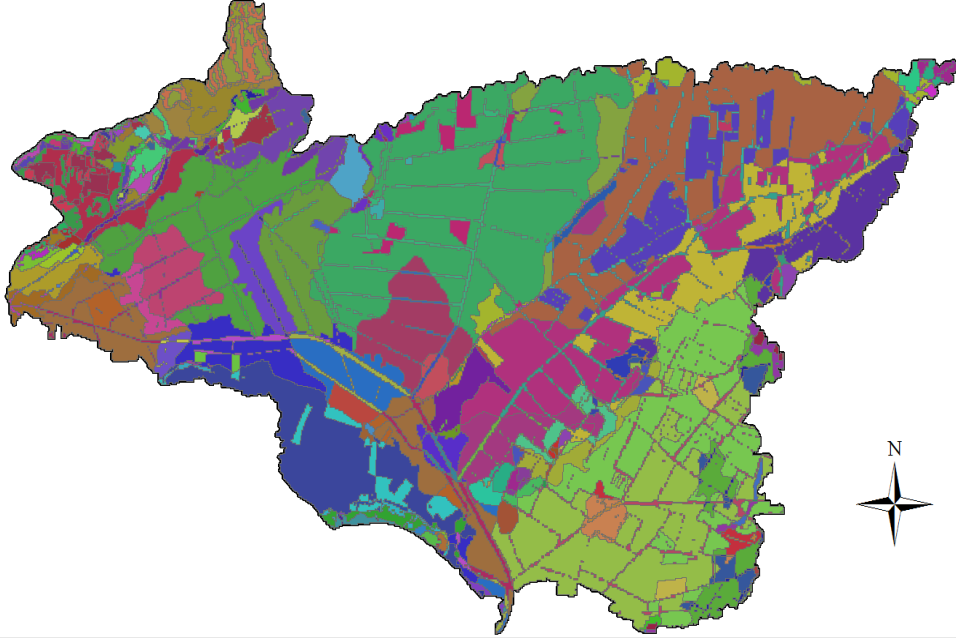


#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma havzasında bulunan akım gözlem istasyonları (AGİ) ile akım değerleri kayıt edilerek, yapılan arazi çalışmaları sonucunda bilgisayar ortamında bu veriler düzenlenmiş ve SWAT modeli içerisine entegre edilmiştir. Hidrolojik sürecin modellenmesi için 2008-2014 yılları arasındaki akım değerleri kullanılmıştır. Bu yıllar içerisinde, 2008 yılı model içerisinde ısınma süreci (warm up) olarak, 2009-2012 zaman aralığı kalibrasyon, 2013-2014 zaman aralığı ise doğrulama süreci olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamaya göre, SWAT modeli test edilmiştir. Modelin sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlayan hidrolojik tepki birimleri (HRU) haritası üretilmiş ve sonuçları burada verilmiştir. Buna ek olarak, kalibrasyon sürecinde kullanılan parametre ve aralıkları, gözlenen yüzey akışı ile simülasyon değerlerinin kalibrasyon ve doğrulama sürecinde oluşturduğu grafikler ve model performans istatistik değerleri izleyen bölümlerde verilmiştir.

##### 4.1. Hidrolojik Tepki Birimleri Haritası

Model kurulum aşamalarının başında, havzanın gerçekçi bir şekilde simüle edilebilmesi için, model içerisine drenaj çıkış noktaları ve noktasal kaynaklar eklenerek, 9 alt havza oluşturulmuştur. Havzanın alt alanlara bölünmesinin ardından, SWAT modeli içerisine arazinin eğim sınıfı, toprak serisi ve arazi kullanım dosyaları entegre edilerek 449 adet homojen yapıda hidrolojik tepki birimi (HRU) elde edilmiştir (Şekil 4.1). HRU'lar, farklı özellikte eğim, toprak serisi ve arazi kullanımına sahip olduğundan, model tarafından her biri için, farklı değerlere sahip yüzey akışı, evapotranspirasyon, yer altı suyu kaynaklı baz akımlar vb. hidrolojik bileşenleri üretmiştir. HRU'ların oluşturulması, SWAT modelinin yüzey akış tahmin aşamalarını daha sağlıklı bir şekilde tamamlamasını sağlamıştır.



Şekil 4.1. Araştırma alanı hidrolojik tepki birimleri (HRU) haritası

SWAT modelinin HRU dosyası incelendiğinde, hidrolojik tepki birimleri arasında en büyük alanı 584.6 hektar ile narenciye bahçelerinin bulunduğu ve Arıklı serisi topraklarının hakim olduğu kesimler; en küçük alanı ise 0.006 hektar ile tarımsal ürünlerin yetiştirildiği İncirlik toprak serisinin yaygın görüldüğü alanlar oluşturmuştur.

#### 4.2. SWAT\_CUP Kalibrasyon ve Doğrulama Sonuçları

SWAT hidrolojik modelinin koşturulması sonucu elde edilen akım değerleri yine modelin bir eklentisi olan SWAT\_CUP programı kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon süreci, her yılın ilk günü olan 1 Ocak ile son günü 31 Aralık tarihi olacak şekilde devam etmiştir. SWAT\_CUP programında bu süreç için 2009-2012 yılları kullanılmıştır. Kalibrasyon evresinde, tanımlanan 5 farklı parametre optimizasyon algoritması içerisinde SUFI-2 algoritması kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de de görüldüğü gibi havzanın hidrolojik süreçlerini

etkileyen 14 parametreye ulaşılmıştır. Belirlenen bu parametreler ile SWAT\_CUP programı çalıştırılmış ve 60 iterasyonun sonunda 1500 kez simülasyon yapılarak en uygun parametre aralıkları elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. Hassas parametreler ve anlamları

Parametre	Anlamları	
CN2.mgt	SCS runoff curve number	Yüzey akış eğri numarası
ALPHA_BF.gw	Base flow alpha factor (days)	Baz akımı alfa faktörü
GW_DELAY.gw	Groundwater delay (days)	Yer altı suyu gecikmesi
GWQMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer for return flow to occur (mm H <sub>2</sub> O)	Sığ akiferde geri dönen akış için su eşik derinliği
SURLAG.bsn	Surface runoff lag coefficient (-)	Yüzey akış gecikme katsayısı
REVAPMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer for revap or percolation to the deep aquifer to occur (mm H <sub>2</sub> O)	Sığ akifere derin akifere sızan su eşik derinliği
CH_K2.rte	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium (mm/hr)	Ana kanalda etkili hidrolik iletkenlik
GW_REVAP.gw	Groundwater "revap" coefficient	Yer altı suyu revap katsayısı
CH_N2.rte	Manning's "n" value for the main channel	Ana kanal için Manning "n" değeri
ALPHA_BNK.rte	Baseflow alpha factor for bank storage (days)	Berkot Depolama için baz akımı alfa faktörü
ESCO.hru	Soil evaporation compensation factor	Topraktan buharlaşma faktörü
EPCO.hru	Plant uptake compensation factor (-)	Bitki alımı düzeltme faktörü
SHALLST.gw	Initial depth of water in the shallow aquifer (mm)	Sığ akiferdeki suyun başlangıçtaki derinliği
RCHRG_DP.gw	Deep aquifer percolation fraction (-)	Derin akifer sızma fraksiyonu/oranı

Çizelge 4.2. Optimize edilen parametrelere model performans istatistikleri göz önünde bulundurularak atanan maksimum ve minimum değerler

Parametreler	Minimum Değer	Maksimum Değer
v_CN2.mgt_1	54.5	59.1
v_CN2.mgt_2	47.2	51.4
v_CN2.mgt_3	59.7	65.4
v_CN2.mgt_4	86.1	88.3
v_CN2.mgt_5	88.2	92.2
v_CN2.mgt_6	65.1	72.2
v_CN2.mgt_7	40.8	45.7
v_CN2.mgt_8	40.6	41.5
v_CN2.mgt_9	48.7	50.0
v_ALPHA_BF.gw	0.2	0.2
v_GW_DELAY.gw	222.0	234.0
v_GWQMN.gw	2188.1	2354.7
v_SURLAG.bsn	0.2	0.2
v_REVAPMN.gw	134.3	175.4
v_CH_K2.rte	471.4	483.0
v_GW_REVAP.gw	0.1	0.1
v_CH_N2.rte	0.3	0.3
v_ALPHA_BNK.rte	0.3	0.3
v_ESCO.hru	0.5	0.5
v_EPCO.hru	0.3	0.4
v_SHALLST.gw	4666.5	4831.8
v_RCHRG_DP.gw	0.1	0.1

SWAT\_CUP programı içerisinde elde edilen parametrelere yönelik olarak yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde; CN2, ALPHA\_BF, ESCO ve GWQMN parametrelerinin hidrolojik süreci, dolayısıyla yüzey akışı doğrudan etkilediği ifade edilmiştir (Qiu ve ark, 2012; Maharjan ve ark, 2012; Li ve ark, 2012). Bir başka çalışmada, yer altı suyu ile ilgili olan ve yüzey akışı etkileyen en hassas parametrelerin GW\_REVAP ve REVAPMN olduğu belirtilmiştir (Kannan ve ark, 2006).

Bu çalışmada, model kalibrasyon sürecinde kullanılan parametrelerin hassasiyet analizleri yapılmış ve Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi bu parametrelerin duyarlılık değerlerinin bir göstergesi olan ‘P’ olasılıkları verilmiştir. P olasılığı, sıfıra yaklaştıkça, ilgili parametrelerinin duyarlılığının arttığı çıkarımı yapılabilir.

Çizelge 4.3. Kalibrasyon sonrası parametrelerin duyarlılığına ait olasılık değerleri

Parametre	P_değeri
v_CN2.mgt_1	0.048024
v_CN2.mgt_2	0.045020
v_CN2.mgt_3	0.047830
v_CN2.mgt_4	0.118256
v_CN2.mgt_5	0.086459
v_CN2.mgt_6	0.029431
v_CN2.mgt_7	0.044736
v_CN2.mgt_8	0.137844
v_CN2.mgt_9	0.156175
v__ALPHA_BF.gw	0.023193
v__GW_DELAY.gw	0.063526
v__GWQMN.gw	0.040782
v__SURLAG.bsn	0.017534
v__REVAPMN.gw	0.014808
v__CH_K2.rte	0.169346
v__GW_REVAP.gw	0.079887
v__CH_N2.rte	0.038365
v__ALPHA_BNK.rte	0.031498
v__ESCO.hru	0.040951
v__EPCO.hru	0.026437
v__SHALLST.gw	0.109705
v__RCHRG_DP.gw	0.008803

Çizelge 4.3 incelendiğinde; derin akifere sızma fraksiyonu parametresi 0.008803 ve eğri numarası parametresi 0.029431 olasılık değerlerini alarak “sıfır”a oldukça yaklaşmıştır. Parametrenin olasılık değerinin “sıfır”a yaklaşması, o parametrenin model için oldukça hassas olduğu anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.3’te verilen parametrelerin başındaki ‘v’ ifadesi, o parametrenin değeri optimize edildikten sonra, model içinde yer değiştirme (REPLACE) yapılacağı anlamına gelmektedir. Kalibrasyon sonrasında elde edilen parametre değerleri, SWAT modeli içerisinde mevcut değer yerine atanmıştır. Çizelge 4.3’ten anlaşılacağı üzere, araştırma sonucunda 14 hassas parametre elde edilmiştir. Bu parametreler içinde eğri numarası özellik arz etmektedir. Bu nedenle de, alt havzalar için 9 farklı CN2 parametresi tanımlanmıştır. Bunun

nedeni, SWAT modelinde elde edilen 9 alt havzanın çeşitli toprak yapılarına sahip olması nedeniyle bu havzaların yüzey akış potansiyellerinin de farklı olduğudur. Bu noktadan hareketle, daha sağlıklı bir yüzey akış tahmininin yapılabilmesi için Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, SWAT\_CUP içerisindeki girdi sayfalarından ‘Par\_inf.txt’ dosyasına her bir alt havzaya Çizelge 4.2’de verilen aralıklar içinde bulunan CN2 parametresi atanmıştır.

Parameters:														
Basic Information				Value			Filter Conditions (optional)					Particular Settings		
#	Par Name	File Name	File Ext.	Method	Min	Max	Hydro Grp	Soil Texture	Landuse	Subbasins	Slope	Condition_Fit	Layers/Columns	Properties
1	CN2		.mgt	V Replace	52543...	57700...				1				
2	CN2		.mgt	V Replace	45367...	50784...				2				
3	CN2		.mgt	V Replace	61371...	67875...				3				
4	CN2		.mgt	V Replace	85222...	88975...				4				
5	CN2		.mgt	V Replace	86395...	90686...				5				
6	CN2		.mgt	V Replace	62151...	73466...				6				
7	CN2		.mgt	V Replace	43122...	47888...				7				
8	CN2		.mgt	V Replace	40247...	41578...				8				
9	CN2		.mgt	V Replace	49236...	50639...				9				
10	ALPHA_BF		.gwi	V Replace	218837	274905				(All)				
11	GW_DELAY		.gwi	V Replace	22132...	23920...				(All)				
12	GWQHM		.gwi	V Replace	21159...	23863...				(All)				
13	SURLAG		.bsn	V Replace	152002	201124				(All)				
14	REVAPMN		.gwi	V Replace	11585...	16038...				(All)				
15	CH_K2		.rte	V Replace	47491...	48814...				(All)				
16	GW_REVAP		.gwi	V Replace	75284	80218				(All)				
17	CH_N2		.rte	V Replace	240088	269444				(All)				
18	ALPHA_BNK		.rte	V Replace	247444	283048				(All)				
19	ESCO		.hru	V Replace	496786	556700				(All)				
20	EPCO		.hru	V Replace	341016	410146				(All)				
21	SHALLST		.gwi	V Replace	46902...	49045...				(All)				
22	RCHRG_DP		.gwi	V Replace	79397	140693				(All)				

Şekil 4.2. SWAT\_CUP girdi sayfası (Par\_inf.txt)

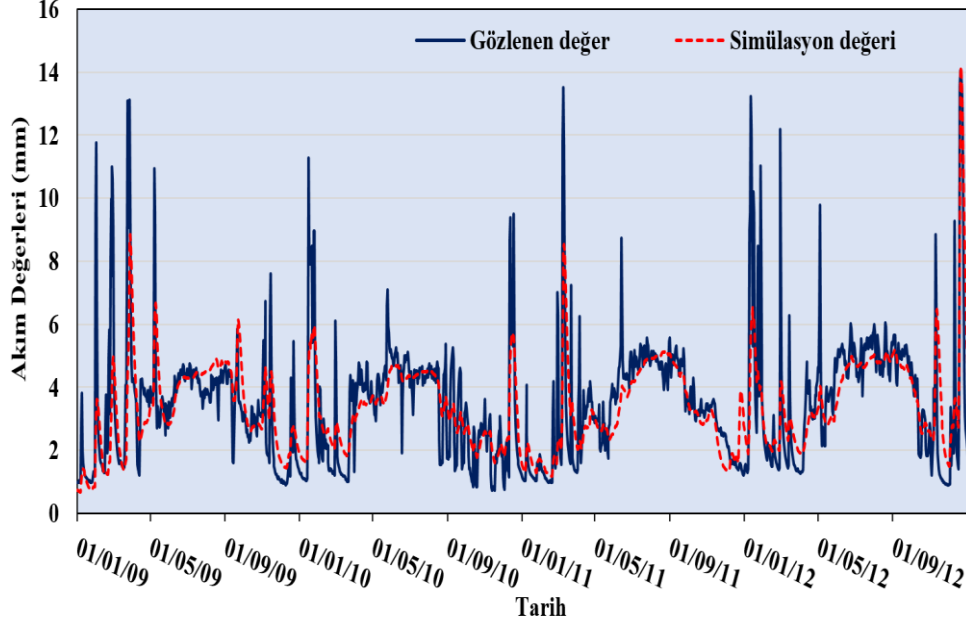
Kalibrasyon sonunda, modelin havza çıkışındaki akımları tahmin yeteneğinin bir göstergesi olan model performans istatistikleri de model çıktısı olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Kalibrasyon ve doğrulama aşamasında elde edilen model performans istatistikleri değerleri Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. SWAT model kalibrasyonu ve doğrulama süreci model performans istatistikleri

Performans İstatistikleri	Kalibrasyon (2009-2012)	Doğrulama (2013-2014)
R <sup>2</sup>	0.73	0.58
NSE	0.73	0.57
PBIAS	2.4	-5.64

Moriasi ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, model performans istatistiklerinin değerlendirme çizelgesi oluşturulmuştur. Kalibrasyon süreci sonunda elde edilen modelin performansını gösteren istatistik değerleri, Çizelge 3.6 referans alınarak incelenmiştir. Buna göre, 0.73 değeri ile R<sup>2</sup> belirginlik katsayısı 0.5-1.0 aralığında iken, 0.73 değerini alan NSE istatistiği 0.65-0.75 aralığında ve PBIAS istatistiği ise 2.4 değeri ile (-10) - (+10) aralığında bir değer almıştır. Model performans istatistiklerini değerlendirme çizelgesine göre, kalibrasyon sürecinde elde edilen simülasyon değerleri ile gözlenen değerler arasında iyi bir uyumun olduğu sonucuna varılmıştır.

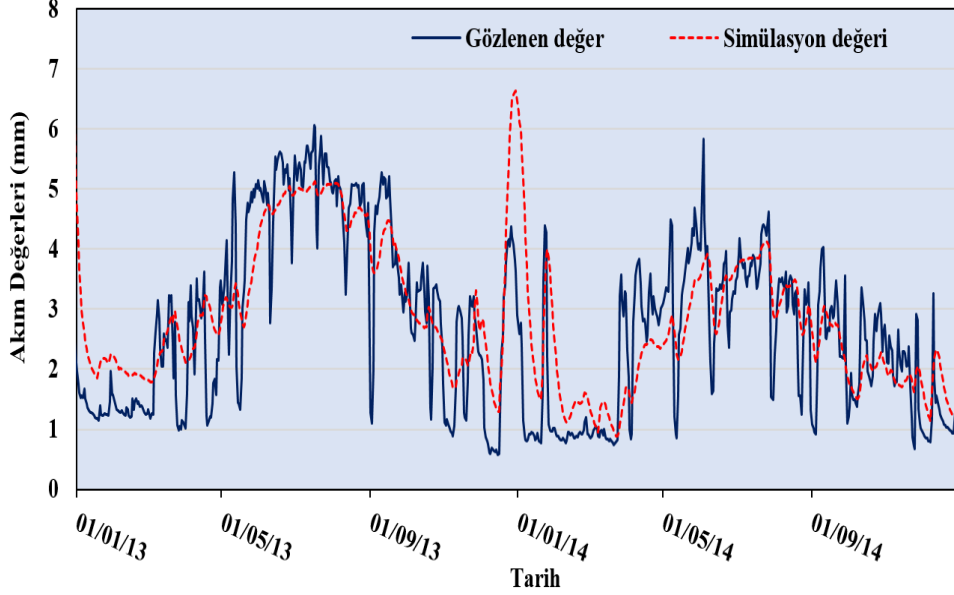
Benzer şekilde, modelin doğrulama sürecindeki performansı da değerlendirilmiştir. Çizelge 4.4'den görüldüğü üzere belirginlik katsayısı R<sup>2</sup>=0.58, NSE etkinlik katsayısı 0.57 ve yüzde hata istatistiği PBIAS=-5.64 değerini almıştır. Modelin performans istatistikleri Çizelge 3.6 ile kıyaslandığında, modelin doğrulama sürecindeki güvenilir sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Kalibrasyon süreci sonunda SWAT\_CUP tarafından oluşturulan grafik (Şekil 4.3) incelendiğinde, genel olarak gözlenen ve simülasyon değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Arazide yapılan rotasyon çalışmaları ve tarımsal faaliyetler içerisinde hangi bitkiye, hangi zamanda ve ne miktarda su verildiğini belirten girdi dosyalarının modele entegre edilmesi, gözlenen ve simülasyon değerleri arasındaki uyumu iyileştirmiştir. Grafiklerde görsel olarak izlenen bu uyum, Çizelge 4.4'te verilen performans istatistikleri ile de doğrulanmıştır.



Şekil 4.3. Havza çıkışında gözlenen günlük akım değerleri ile model simülasyon değerlerinin değişimi

Kalibrasyon sürecinde dikkat edilmesi gereken bir durum ise, SWAT\_CUP programındaki parametre aralıklarının, SWAT modeli içerisinde sahip olduğu aralıklarla aynı genişlikte olmadığıdır. Bu husus göz önüne alınmadığında, havzanın akım değerleri üzerine etkili olan hassas parametrelere ulaşmak, mümkün değildir. Bu çalışmada, değinilen bu husus göz önüne alınmış; SWAT ve SWAT\_CUP içerisinde bulunan hassas parametrelerin aralıkları dikkate alınarak kalibrasyon süreci tamamlanmıştır. Bu süreç sonrasında yenilenen parametre değerleri SWAT modeli içerisine girilerek, model tekrar koşturulmuş; hem araştırma alanının tamamı için, hem de alt havzalar için zamansal ve mekânsal su bütçesi ögeleri simüle edilmiştir. Yöntem bölümünde de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, model içerisinde kullanılan akım değerlerinden 2009-2012 yılları kalibrasyon süreci için, 2013-2014 yılları ise doğrulama süreci için kullanılmıştır. Doğrulama periyodu için elde edilen simüle akım değerleri ile gözlenen değerler Şekil 4.4’te birlikte gösterilmiştir.





Şekil 4.4. Doğrulama sürecinde havza çıkışında gözlenen akım değerleri ve simülasyon sonuçlarının zamansal değişimi

Yeni parametre değerleri ile modelin tekrar koşturulması sonucu elde edilen akım değerlerinin 2013-2014 yılları, doğrulama süreci için kullanılmıştır. Model simülasyon sonuçları ve gözlenen akımlar EXCEL ortamında değerlendirilmiştir; model performans istatistikleri hesaplanmıştır. Buna göre;  $R^2$  belirginlik katsayısı 0.58, NSE etkinlik katsayısı 0.57 ve yüzde hata istatistiği (PBIAS) değeri ise -5.6 bulunmuştur. Çizelge 3.6'da verilen model değerlendirme ölçütleri dikkate alındığında, doğrulama süreci performans istatistik sonuçlarının (Çizelge 4.4) anlamlı ve uygun olduğu sonucuna varılabilir.

Kalibrasyon ve doğrulama aşamaları sonucunda elde edilen istatistiksel değerleri karşılaştırıldığında,  $R^2$  tahmin katsayısı kalibrasyon evresinde 0.73 iken, doğrulama evresinde modelin tahmin kapasitesi zayıflamış ve  $R^2=0.58$  değerini almıştır. Bu azalma, doğrulama sürecinde gözlenen değerler ile simülasyon değerler arasındaki uyumun değiştiğini göstermektedir. Model tahmin kapasitesini gösteren NSE değerinin değişmesi ise, kalibrasyon sürecindeki

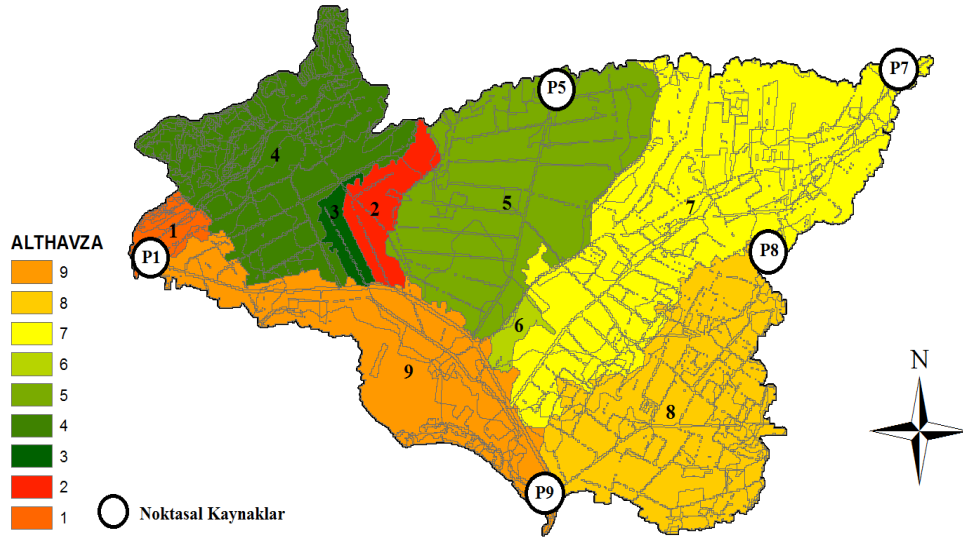
tahmin kapasitesinin doğrulama sürecinde azaldığı anlamına gelmektedir. Bir diğer performans istatistiği olan PBIAS değerinin negatif değer alması ise, 2013-2014 yılları arasında modelin gözlenen değerlere göre daha fazla akım değerleri ürettiği anlamına gelmektedir.

Havza çıkışında gözlenen akımlar ve simülasyon sonuçlarının oluşturduğu grafikler (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4) incelendiğinde, özellikle yağışın yoğun olduğu tüm yıllarda model simülasyon değerlerinin gözlenen değerlerin altında değerler aldığı dikkati çekmektedir. Bu durum, baz akışı olarak bilinen yağışın ve sulamanın olmadığı dönemlerde (Bakınız Şekil 4.3'de Ocak 2010 ve Şekil 4.4'de Nisan 2013) gözlenmiştir. Mevcut literatür çalışmaları incelendiğinde, değinilen bu durumla ilgili olarak, yağışların yoğun olduğu dönem ile sulamanın yapılmadığı kış aylarında, yağış olayının gerçekleşmediği olağan dışı durumlar için, SWAT modelinin havzadan çıkan su miktarını tahmin etmede yetersiz kaldığı vurgulanmaktadır. Nitekim Qiu ve arkadaşları (2012) ile Li ve arkadaşları (2012), değinilen bu eksikliklere dikkat çekmiştir. Araştırmacılar, olağan dışı durumların gerçekleştiği dönemlerde, SWAT modelinin performansının düşük olduğunu belirlemişlerdir. Simülasyon değerleriyle gerçek değerlerin istenildiği ölçüde paralellik gösterememesi doğal bir sonuçtur. Çünkü, araştırmaların her aşamasında insan kaynaklı hatalar her zaman beklenmelidir. Ayrıca, çalışılan havza doğal bir havza olmayıp, insan faaliyetlerinin yoğun baskısı altında olduğu da unutulmamalıdır. Zira, araştırma alanı tarım havzası olup, yılın her döneminde insan kaynaklı müdahaleler süre gelmektedir.

Model performans istatistikleri bir bütünüyle değerlendirildiğinde, SWAT modeli hem alt havza bazında hem de havzanın tamamında kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. İzleyen bölümlerde, alt havzalar bazında yıllara göre elde edilen model simülasyon akımları ve su bütçesi öğelerinin ArcGIS ortamında haritaları sunulmuştur.

### 4.3. Alt Havzalar ve Akım Tahminleri

Girdi dosyaları olan sayısal yükseklik modeli (DEM) ile drenaj ağı SWAT modeline entegre edildikten sonra, araştırma havzasındaki yedek drenaj sistemi göz önüne alınarak havza 9 alt havzaya ayrılmıştır (Şekil 4.5). Model ortamında, alt havzalara drenaj çıkış noktaları tanımlanmıştır. Ayrıca, bypass akımlarının alt havza çıkış noktasına ötelenmesi için noktasal kaynaklar “*point source*” olacak şekilde tanımlanmıştır. Noktasal kaynaklar, Şekil 4.4’te Px olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Araştırma alanı/Alt havzalar haritası

Çalışma havzasının 9 alt havzaya ayrılması; ölçümü yapılamayan alt havzalar için SWAT modeli kullanılarak dolaysız yüzey akış, toprak altı akım ve taban akışı vb. akım bileşenlerinin tahmin edilmesi olanağını sağlamıştır. Böylece, kalibrasyonu ve doğrulanması yapılan model kullanılarak akım gözlemi yapılamayan alt havzaların çıkış noktalarındaki akım değerlerinin simülasyonu yapılabilmektedir.

Model kullanılarak tahmin edilen hidrolojik su bütçesi bileşenlerinin mm olarak sunulabilmesi için, alt havzaların kapladıkları alanlara gereksinim duyulur.

Çizelge 4.5'te araştırma alanı alt havzalarına ilişkin alanlar ve alanların oranları verilmiştir.

Çizelge 4.5. Alt havzalar'a ait alanlar ve yüzdeleri

Alt havza no	Alan (ha)	Alan oranı (%)
1	166.6	1.6
2	293.9	2.8
3	115.9	1.1
4	1577.6	15.2
5	1943.7	18.5
6	91.3	0.87
7	2938.6	28.1
8	1877.1	17.9
9	1482.1	14.1
<b>Havza toplam alanı</b>	<b>10486.8</b>	<b>100.0</b>

Alt havzaların model ortamından elde edilen alanları ve alan oranları dikkate alındığında (Çizelge 4.5), 7 nolu havzanın %28 oranında alan ile en büyük olduğu, 6 nolu havzanın ise %0.87 oranla en küçük alt havza olduğu dikkati çekmektedir. Ayrıca, 9 alt havzanın toplamı araştırma alanını oluşturmaktadır. Araştırma alanının çıkış noktasında gözlenen akımlar ve SWAT modeli ile tahmin (simüle) edilen akımlar hesaplanmış; elde edilen sonuçlar yıllık bazda Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Yıllara göre havza çıkışında gözlenen ve simüle edilen toplam akım değerleri (mm)

Yıl	Gözlenen akımlar	Simüle edilen akımlar	Hata Yüzdesi*
2009	1245	1219	-2.1
2010	1204	1197	-0.6
2011	1218	1156	-5.1
2012	1458	1415	-3.0
2013	1126	1199	6.5
2014	850	889	4.5

$$*Hata Yüzdesi = \frac{(Simülasyon Değeri - Gözlenen Değer)}{Gözlenen Değer} \cdot 100$$

Model çıktı sonuçlarına göre, 2009-2014 hidrolojik yıllarının akım değerleri arasında, en yüksek havza verdisi 1415 mm ile 2012 yılında elde edilmiştir. Buna karşın, havzada 2014 yılında 889 mm değeri ile en düşük debi gözlenmiştir.

Buna göre, Çizelge 4.6'dan görüldüğü gibi, gözlenen ve simülasyon değerleri arasındaki en yüksek hata %6.49 ile 2013 yılında, en düşük hata ise -%0.59 ile 2010 yılında bulunmuştur. Bu sonuçlar, modelin çıktı dosyasındaki simüle edilen akım değerleri arasından gözlenen değerlere en yakın değerlerin 2010 yılında elde edildiğini göstermektedir.

Gözlenen değerler ile benzetim (simülasyon) değerleri arasındaki yüzde hata oranlarının %10 ve altında olması (Çizelge 4.6), SWAT modelinin yıllık değerler dikkate alındığında da oldukça iyi sonuçlar verdiğiine işaret etmektedir. Hataların bazen negatif (-), bazen de pozitif (+) olması, modelin yansız tahminler yaptığı yönündeki sonucu teyit etmekte olup, model çalışmalarında bu arzu edilen bir özelliktir.

Havzaların çıkış noktalarındaki kesitte gözlenen akımlar, bir takım hidrolojik bileşenlerin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Bu bileşenler; baz akım,

lateral akış ve yağışlardan kaynaklı dolaysız yüzey akıştır. SWAT modeli koşulları, havza çıkışında ve alt havzalarda söz konusu bu akım bileşeni çıktılarını topluca kullanıcıların hizmetine sunmaktadır. Bu akım bileşenlerinin toplamları (baz\_akım+toprak\_altı\_akımı+dolaysız\_yüzey\_akış) elde edilmiş ve alt havzalar bazında yıllara göre düzenlenerek Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Alt havza çıkışları için modelle elde edilen toplam akım değerleri

Toplam Akım Değerleri (mm)						
Alt Havza No	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	559.4	531.7	520.9	661.5	478.6	261.4
2	568.1	574.3	579.2	698.5	536.2	297.2
3	607.8	578.7	590.5	738.4	516.4	310.0
4	660.6	461.6	496.9	705.3	346.1	254.7
5	744.0	519.1	595.2	809.5	411.8	333.2
6	608.9	502.4	508.4	703.2	411.3	245.0
7	500.3	483.2	466.3	592.1	445.3	215.8
8	468.0	444.3	420.1	586.6	381.2	174.0
9	508.5	500.2	486.5	609.2	460.8	233.0

Yıllara göre alt havzaların toplam akım değerler incelendiğinde, alt havzalar bazında drene olan en büyük akım değeri 2012 yılında 809.5 mm ile 5 nolu alt havzada görülürken, en küçük akım değeri 2014 yılında 174.0 mm ile 8 nolu alt havzada meydana gelmiştir (Çizelge 4.7).

Çalışmada 2009-2014 arası tüm yılların hidrolojik süreçlerine ait özet çıktıları elde edilmiştir. Elde edilen bulgular; çizelge, şekil ve harita halinde izleyen bölümlerde sunulmuştur.

#### 4.4. SWAT modeli yüzey akış, sulama ve gerçek evapotranspirasyon çıktıları

Model aşamaları içerisinde oluşturulan HRU ve alt havzaların hidrolojik çıktıları düzenlenerek yağıştan dolaysız yüzey akış değer çizelgesi ile model sulama suyu gereksinimi haritası ve havzanın HRU bazında gerçek

evapotranspirasyon haritası izleyen bölümlerde verilmiştir.

#### 4.4.1. Havzanın yağıştan dolaysız yüzey akış ve diğer hidrolojik çıktıları

Gözlemi olmayan alt havzalarda, yağıştan dolaysız yüzey akışlar bazı yaklaşımlar uygulanarak hesaplanabilmektedir. Ancak, elde edilen sonuçlar, önemli belirsizlikler içermektedir. Hesap sonuçlarının herhangi bir yöntemle doğrulanması da olası değildir. Bu güçlük, model çalışmaları ile giderilebilmektedir. Günlük bazda veriler kullanılarak koşturulan SWAT modeli ile 2009-2014 yıllarının alt havza bazında dolaysız yüzey akış değerleri bulunmuş ve Çizelge 4.8.'de gösterilmiştir. Tüm yıllar değerlendirildiğinde, alansal olarak 7 numaralı alt havza en büyük olmasına rağmen (Çizelge 4.5), 5 numaralı havza tüm yıllarda en yüksek dolaysız yüzey akış değerleriyle karakterize edilmiştir. Bunun sebeplerinden biri, 5 numaralı alt havzanın 7 numaralı alt havzadan daha yüksek eğime sahip olması söylenebilir. Benzer olarak, 6 nolu alt havza en küçük alana sahip olmasına rağmen, diğer birçok alt havzadan daha çok yüzey akış ürettiği dikkati çekmektedir (Çizelge 4.8). Alt havzalar arasındaki dolaysız yüzey akış değerlerinin alansal dağılım oranlarıyla paralel olmamasında ki diğer etkenler, alt havzaların farklı toprak yapılarına ve benzer olmayan bitki çeşitlerine sahip olmaları gösterilebilir. Bunun sonucu olarak, alt havzaların evapotranspirasyon değerleri de farklılaşmaktadır. Evapotranspirasyon değerleri incelendiğinde, yüzey akış değerlerinde olduğu gibi, havza alanıyla orantılı olmayan farklılıklar dikkati çekmektedir.

Yıllar arasındaki dolaysız yüzey akış değerleri incelendiğinde ise, 2013 ve 2014 yıllarında mevsimlerin kurak geçmesi ve yağış miktarlarının düşük olması (Çizelge 4.8), havzaların yağıştan dolaysız yüzey akış kapasitesini olumsuz etkilediği dikkati çekmektedir.

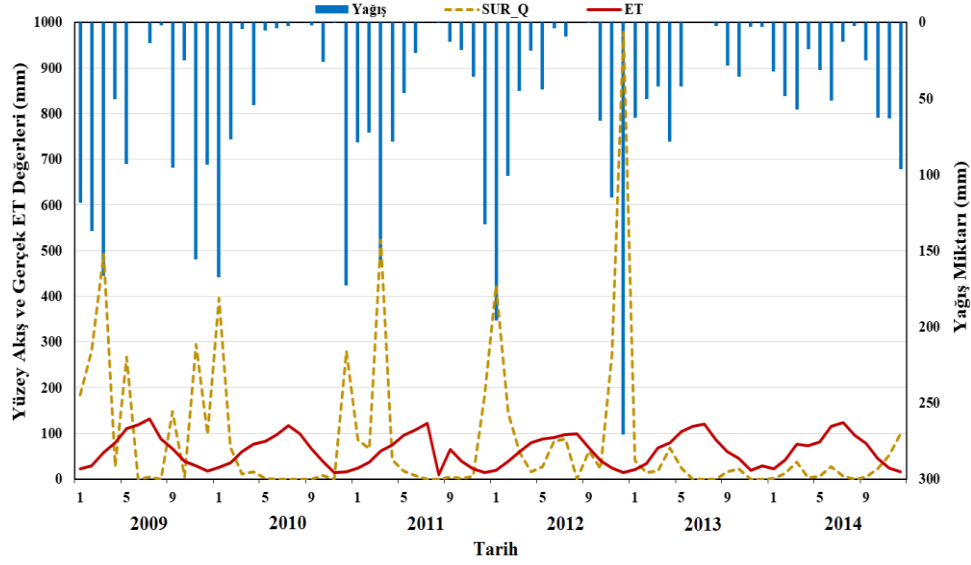
Çizelge 4.8. Kalibre edilen SWAT modeli ile tahmin edilen alt havzaların yağıştan dolaysız yüzey akış değerleri (mm)

Yağıştan Dolaysız Yüzey Akış Değerleri (mm)						
Alt Havza No	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	120	49	54	145	4	7
2	67	24	35	102	2	2
3	143	57	66	164	4	11
4	428	195	236	403	65	87
5	506	233	291	470	102	123
6	269	112	124	283	13	27
7	69	31	33	99	2	2
8	118	49	57	169	3	4
9	78	33	37	110	3	3

SWAT modeli çıktı dosyasında hidrolojik bileşenlerden dolaysız yüzey akış, yağış ve gerçek evapotranspirasyon değerlerinin derlenerek Şekil 4.6'da verilmiştir. Aylık veriler kullanılarak hazırlanan grafikte, yağışların yoğun olduğu aylarda dolaysız yüzey akış yüksek değerlere sahipken, yağışların düşük olduğu aylarda yüzey akış değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Ancak, 2012 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında yağışların çok düşük olmasına rağmen, yüzey akış değerlerinin yüksek olması, havzada sulama suyundan kaynaklı yüzey akışların meydana geldiğine kanıt oluşturmuştur.

Bitki su tüketiminin bir göstergesi olan gerçek evapotranspirasyon (ET) değerleri incelendiğinde, yağışların dolayısıyla yüzey akışların yoğun olduğu dönemlerde ET değerleri düşükken, yağışların olmadığı özellikle yaz aylarında en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Gerçek evapotranspirasyondaki bu tavır, yöre iklimi ile uyumlu bulunmuştur.





Şekil 4.6. Yağış, gerçek evapotranspirasyon ve yağıştan dolaysız yüzey akışın aylık bazda değişimi

SWAT modeli kullanılarak, yüzey akışa ilave olarak diğer hidrolojik bileşenler ve onları etkileyen faktörler de simüle edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 4.9’da sunulmuştur. Hidrolojik su bütçesi öğelerini oluşturan bileşenler incelendiğinde, havzaya en yüksek yağış 2009 ve 2012 yıllarında, en az yağış ise 2013 ve 2014 yıllarında düşmüştür. Değinilen bu yıllar aynı zamanda havzada gerçekleşen en kurak ve en sulak dönemleri temsil etmiştir. Kurak dönemlerde yağış miktarları azaldığından yağışlardan toprak profiline sızan su, sığ akifere, dolayısıyla da derin akifere süzülen toplam su azalmıştır. Bu azalış, Çizelge 4.9’dan da görüldüğü gibi yer altı suyu rezervlerini de olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca kuraklık, bitki su tüketimini de etkileyerek 2013-2014 yıllarının evapotranspirasyon değerlerinde artışa neden olmuştur. Hidrolojik su bütçesi öğelerinin yıllar arasında farklılık göstermesi, Akarsu Sulama Birliği sahasında uygulanan tarımsal yönetim uygulamalarındaki değişikliklerden de kaynaklanmış olabilir. Zira çalışma alanında yetiştirilen bitki çeşitlerinde ve bu bitkilerin ekim alanlarında yıllara göre önemli değişiklikler meydana gelmektedir.

Çizelge 4.9. SWAT modeli ile hesaplanan su bütçesi öğelerinin yıllara göre değişimleri (mm)

Hidrolojik Değerler	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Yağış (PRECIP)	951.4	517.2	654.8	869.0	348.8	502.4
Sulama suyu (IRR)	577.9	585.8	621.7	585.8	577.9	585.8
Potansiyel Evapotranspirasyon (PET)	1011.6	1020.8	970.4	929.4	1080.1	1093.4
Gerçek Evapotranspirasyon (ET)	744.7	671.4	713.2	670.9	730.0	730.2
Toprak Profiline Altına Sızan Su Miktarı (PERC)	569.8	354.0	439.5	568.9	247.0	244.4
Akifere Giren Toplam Su Miktarı (GW_RCHG)	394.0	435.7	410.9	471.8	424.3	235.1
Derin Akifer Besleme (DA_RCHG)	31.9	35.2	33.2	38.2	34.3	19.0
Sığ Akiferden Bitki/Toprak Profiline Geçen Su Miktarı (REVAP)	76.8	77.5	73.7	70.5	82.0	83.0
Yüzey Altı Akışının Akarsuya Katkısı (LATQ)	5.2	4.2	4.8	5.7	3.6	3.2
Yer Altı Suyunun Akarsuya Katkısı (GWQ)	359.6	401.6	377.3	432.2	392.5	216.1

#### 4.4.2. Havzanın evapotranspirasyon çıktıları

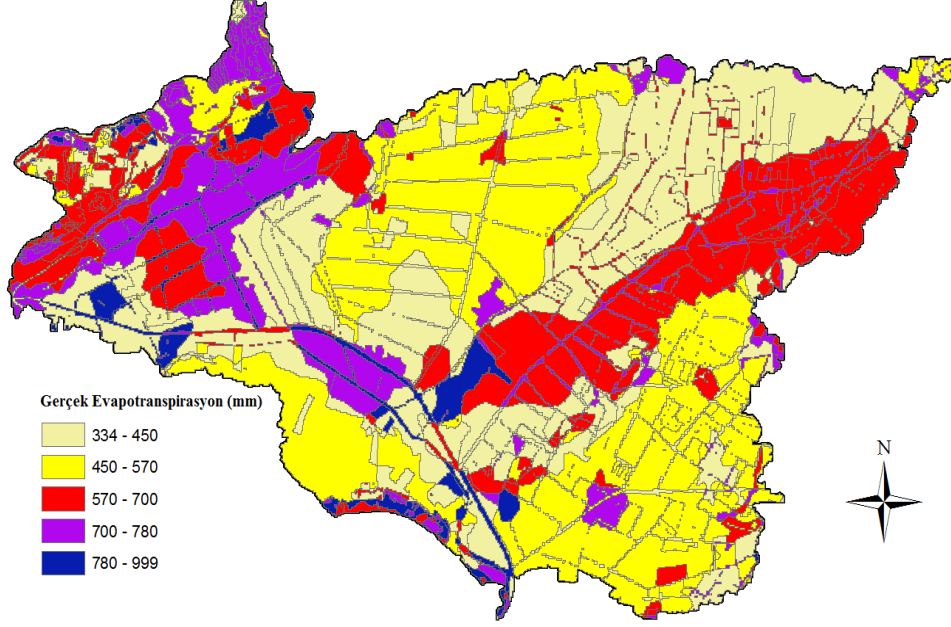
Evapotranspirasyon, bitkinin terleme yolu ile yaprak yüzeyinden ve toprak yüzeyinden buharlaşarak atmosfere verilen toplam su miktarı olarak bilinir (Neitsch ve ark, 2009). SWAT modeli doğrulama aşaması tamamlandıktan sonra, model koşturulmuştur. Model çıktıları, 2009-2014 yılları için HRU bazlı sorgulanmış ve gerçek evapotranspirasyon değerleri düzenlenerek Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. HRU bazında en yüksek ve en düşük gerçek evapotranspirasyon değerlerinin yıllara göre değişimi (mm)

Havzanın Yıllık Gerçek Evapotranspirasyon Değerleri (mm)						
Yıllar	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Maksimum Gerçek ET</b>	998.6	973.0	962.1	904.1	1045.4	996.2
<b>Toprak Serisi</b>	Gölyaka	Misis	Misis	Misis	Arıklı	Misis
<b>Arazi Kullanımı</b>	Meyve Bahçesi	Meyve Bahçesi	Meyve Bahçesi	Meyve Bahçesi	Meyve Bahçesi	Meyve Bahçesi
<b>Minimum Gerçek ET</b>	333.9	204.5	303.7	252.3	274.4	286.8
<b>Toprak Serisi</b>	Misis	Gölyaka	Yenice	Yenice	Incirlik	Yenice
<b>Arazi Kullanımı</b>	Tarımsal Ürün	Tarımsal Ürün	Tarımsal Ürün	Tarımsal Ürün	Tarımsal Ürün	Tarımsal Ürün

SWAT modeli veri tabanında HRU bazında yapılan sorgulamalar ve filtrelemeler sonucuna göre, en yüksek gerçek ET değeri 2013 yılında 1045.4 mm ile 9 nolu alt havza içerisinde meyve bahçelerinin bulunduğu Arıklı toprak serisinde bir alanda gerçekleştirilmiştir. Buna karşın, en düşük gerçek ET değeri 2010 yılında 204.5 mm ile 4 nolu havzada içerisinde Gölyaka toprak serisine ait bir alanda meydana gelmiştir. Bu ifadelerden anlaşılacağı üzere, gerçek ET değerleri üzerinde toprak serileri ve arazi kullanım türleri önemli oranda etki etmiştir.

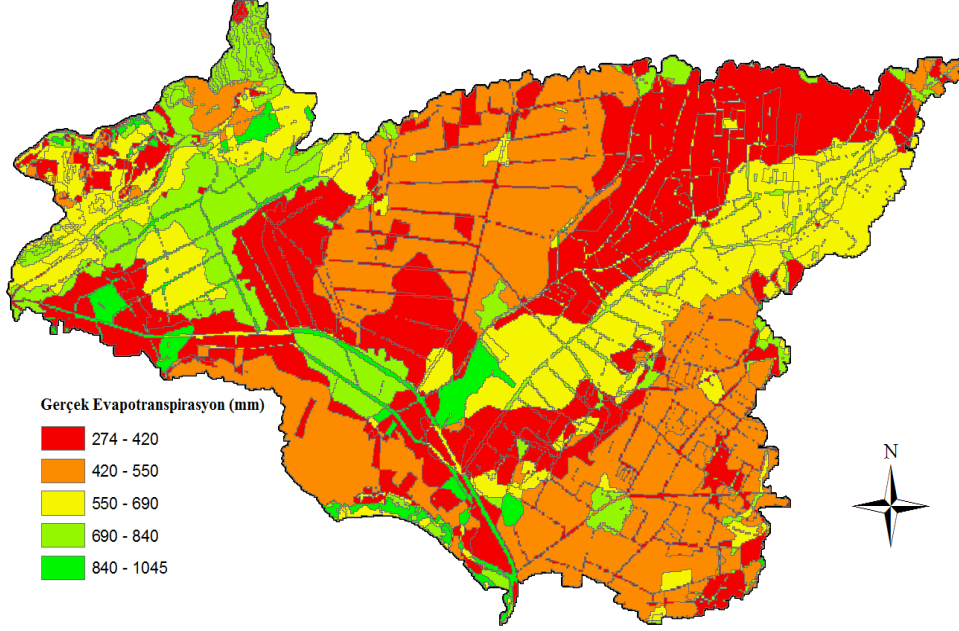
Yağış eksiliği nedeniyle 2013-2014 yıllarında görülen kuraklık, sıcaklık ortalamalarını etkileyerek gerçek ET değerlerinin artmasına sebep olmuştur (Çizelge 4.10). Yağışların yoğun olduğu 2009 yılı ve kuraklık olayının yaşandığı 2013 yılının gerçek evapotranspirasyon haritaları ArcGIS ortamında oluşturulmuş olup, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sunulmuştur. Gerçek evapotranspirasyon haritaları, toprak serilerine benzer bir dağılım göstermiştir. Bu benzer dağılım tavrı, gerçek evapotranspirasyonun toprak serileri ile ilişkili olduğunu işaret etmektedir. Akgül ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan bir çalışma, bu tezi doğrulamaktadır.



Şekil 4.7. Yağışlı dönemde (2009 yılında) gerçek evapotranspirasyonun alansal dağılımı

Çizelge 4.9'dan görüldüğü gibi, SWAT modelinde kullanılan zaman periyodu içerisinde, 2009 yılı en yağışlı dönemdir. Yıl içerisinde gerçekleşen yüksek yağışlar, sıcaklıklar üzerine de etki ettiği için, gerçek evapotranspirasyonun 334 mm'ye kadar düşmesine neden olmuştur (Şekil 4.7).

Araştırmada kullanılan verilerin alındığı yıllar dikkate alındığında, 2013 yılı en kurak geçen dönem olmuştur. Yağışın en az olduğu kurak dönem için model tarafından hesaplanan gerçek evapotranspirasyon değerleri kullanılarak ArcGIS ortamında hazırlanan harita Şekil 4.8'de sunulmuştur. Kurak dönemde, yaz aylarındaki sıcaklık ortalamalarında da bir miktar artışlar meydana gelmiştir. Bu artışlar, gerçek ET değerlerinin yükselmesine sebep olmuştur. 2009-2014 yıllarında en yüksek gerçek ET değeri, 1045.4 mm ile 2013 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Gerçek evapotranspirasyonun kurak dönemde (2013 yılında) alansal dağılımı

#### 4.4.3. Havzanın sulama suyu gereksinimi çıktıları

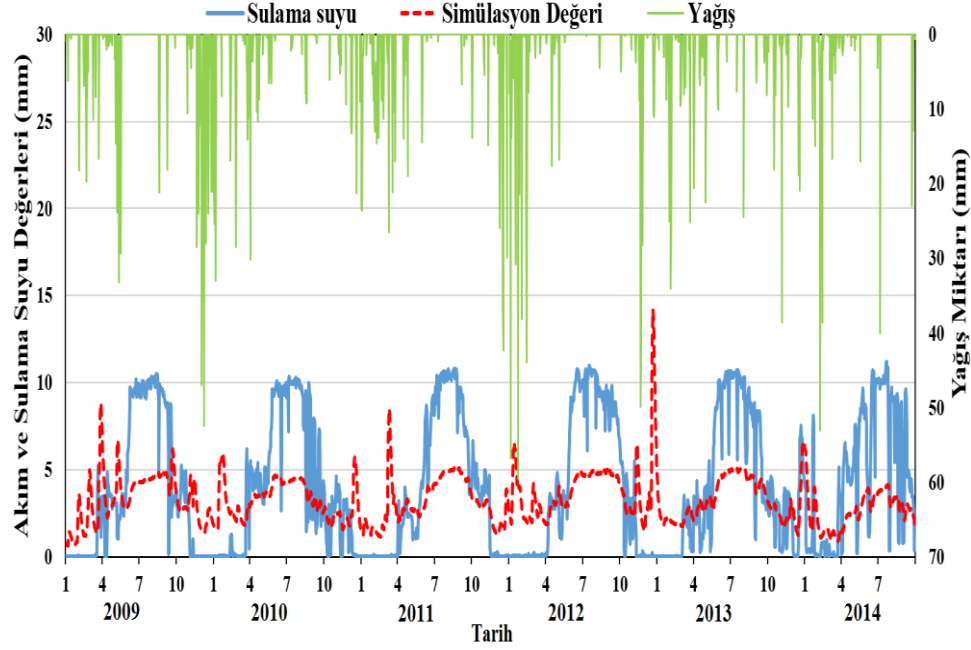
Yağışların olmadığı yaz dönemlerinde, tarımsal ürünlerin su ihtiyacının karşılanabilmesi için havzaya sulama suyu verilmektedir. Uygulanan model, sulama kanallarına saptırılan sulama suyunu kullanmamakta; bunun yerine, yönetim dosyalarına girilen sulama suyu miktarlarını dikkate alarak sulama uygulamalarını otomatik olarak yapmaktadır. SWAT model çıktı dosyalarının düzenlenmesiyle, günlük bazda yağış, havzaya verilen sulama suyu ve simülasyon akım değerleri derlenmiş ve Şekil 4.9’da sunulmuştur.

Yağışların olmadığı kurak dönemlerde (yaz aylarında), havza çıkışındaki simülasyon akım değerleri sulama suyu miktarlarına bağlı olarak artış ve azalış göstermiştir. Sulama uygulamaları olmasaydı, yaz aylarında bu tür artışlar beklenmeyecekti. Yağışlı dönemlerde ise, Şekil 4.9’dan görüleceği gibi, havzaya genellikle sulama suyu çevrilmemektedir. Bu nedenle, havzada sulama yapılmamaktadır. Sulama mevsimi dışındaki dönemlerde meydana gelen yağışlar,

akım değerleri ile sulama suyu değerleri arasındaki paralel davranışın bozulmasına sebep olmuştur.

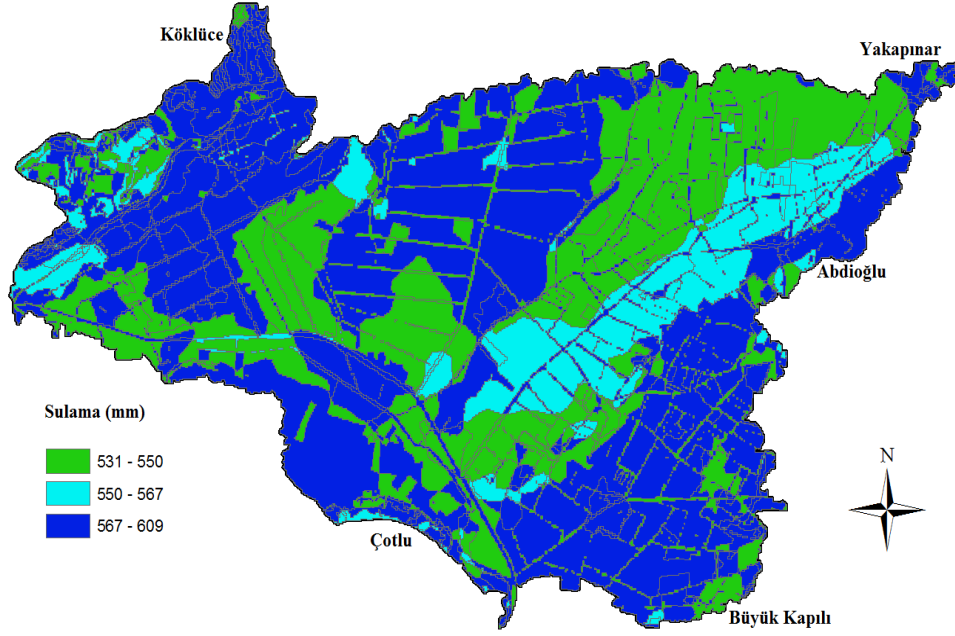
SWAT veri tabanındaki model çıktılarının incelenmesinden, sulama suyuna en yüksek gereksinimin Arıklı toprak serisinde meydana geldiği anlaşılmıştır. Buna karşın, tarımsal faaliyetlerin minimum düzeyde olduğu alanlarda sulama suyuna olan gereksinim en düşük düzeylerde gerçekleşmiştir.

Yağış miktarlarının en fazla olduğu 2009 yılında, havzaya verilen toplam sulama suyu 609 mm ile en yüksek ve 531 mm ile en düşük değerlere ulaştığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Sulama suyu, yağış ve simülasyon akım değerlerinin günlük değişimi

Yağışların en düşük olduğu 2013 yılı için, SWAT modeli koşullarıyla elde edilen sulama suyu gereksinim değerleri, ArcGIS içerisine entegre edilmiş ve havzanın sulama suyu gereksinim haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. SWAT koşum sonuçlarına göre, 2013 yılına ait sulama suyu gereksinim haritası

Kurak dönemi temsil eden 2013 yılına ilişkin sulama suyu gereksinimleri haritası incelendiğinde, tarımsal ürünlerin yetiştirildiği alanlarda sulama suyuna olan gereksinim en yüksek düzeylerde (Şekil 4.10).

Sulama suyu gereksiniminin en yüksek olduğu alanlar, genellikle narenciye ve mısır tarımı altındadır. Toprak serileri haritası ile sulama suyu gereksinimleri haritası karşılaştırıldığında, sulama suyu gereksinimlerinin toprak serilerine göre de değişiklikler gösterdiği dikkati çekmiştir. Elde edilen bu bulgular, Akgül ve arkadaşları (2016) tarafından Akarsu Sulama Birliği alanında yapılan araştırma bulguları ile paralellik arz etmektedir. Öte yandan, Kanber (1977) tarafından yapılan bir çalışmada, su tüketiminin toprak serilerine göre farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, gerçek evapotranspirasyon haritalarının toprak

serileri haritalarına benzer yersel değişim tavrı göstermesi beklenen bir durumdur.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çukurova Bölgesindeki Akarsu Sulama Birliği sahasını da kapsayan 10 487 büyüklüğündeki bir alanda yürütülen bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (ArcGIS 10.1) SWAT modeli ile entegre edilmesiyle yapılandırılan ArcSWAT ara yüzü kullanılmıştır. Havzanın çıkışında ve at havzalarda yüzey akış tahminleri yapılması amaçlanmıştır.

Model kalibrasyonu için SWAT\_CUP programı kullanılarak, havzanın hidrolojik yapısını etkileyen en belirgin parametrelere ulaşılmıştır. Kalibrasyon süreci için gerekli bu parametrelerin belirlenmesinde, tarımsal havzaların simülasyonu konusunda yapılan önceki çalışmalardan da faydalanılmıştır.

Havzanın taban suyu kaynaklı baz akımlarının saptanmasında ALPHA\_BF parametresi ile yer altı suyu (taban suyu) gecikmesi olarak ifade edilen GW\_DELAY parametresi, USGS tarafından geliştirilen BASE FLOW programı kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen parametreler içerisinde en hassas iki parametrenin yüzey akış için eğri numarası (CN2) ve derin akifere sızma fraksiyonunu ifade eden RCHRG\_DP olduğu görülmüştür.

İstatistiksel olarak anlamlı sonuçlara ulaşabilmek için, farklı tarımsal faaliyetleri içeren rotasyon dosyaları hazırlanmıştır. Bu rotasyon dosyaları içerisinde havzaya verilen sulama suyu etkinliği (IRR\_EFM) katsayısı değiştirilerek farklı senaryolar üretilmiştir. Daha sonra model içerisine, havzanın su potansiyeline katkı sağlayan olası noktasal kaynaklar (point sources) eklenmiş ve bu senaryolar zenginleştirilmiştir.

Kalibrasyon aşamasında, sulama randımanının 0.6 olarak tanımladığı rotasyon dosyaları ile birlikte havzanın çıkış noktasındaki toplam suya yüzde 30 katkı sağlayan bypas akışının oluşturduğu senaryo için en iyi model performansı elde edilmiştir. Yapılan 60 iterasyon ve 1500 simülasyon sonucunda, kalibrasyon sürecinde elde edilen performans istatistikleri olan  $R^2$  katsayısı 0.73, NSE değeri

0.73 ve PBIAS değeri 2.4 bulunmuştur. Doğrulama sürecinde ise bu değerler sırasıyla 0.58, 0.57 ve -5.6 olarak elde edilmiştir. Model performans istatistikleri, literatürde verilen genel kabul aralıklarında elde edilmiş olup, modelin yeterli düzeyde yüzey akış tahminleri yaptığı sonucuna varılmıştır. Ancak, gözlenen ve simülasyon değerlerinin oluşturduğu zaman serileri görsel olarak incelendiğinde, yağışların yoğun olduğu dönemler ile baz akışının baskın olduğu periyotlarda model simülasyon sonuçlarının ölçülen akım değerlerinin altında olduğu saptanmıştır. Bu durum, oransal hata payını temsil eden PBIAS performans istatistiğinin negatif değer alması sonucunda da istatistiksel olarak ortaya konmuştur. Bulgulara göre, modelin, gözlem değerlerinden daha küçük olacak şekilde drenaj akımlarını simüle ettiği sonucuna varılmıştır. Önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu gibi özel durumlar için SWAT modelinin sağlıklı sonuçlar veremediği vurgulanmıştır. Araştırmadan elde edilen bulguların, literatürle paralel olduğu sonucuna varılmıştır. SWAT modelinde ortaya çıkan eksikliklerin giderilmesi ve daha isabetli simülasyonların yapılabilmesi için şu önerilerde bulunulabilir:

- i. Model içerisinde daha uzun yıllar gözlenmiş veriler kullanılabilir.
- ii. Araştırma alanı içerisinde bulunan akım gözlem istasyonlarının (AGİ) sayıları artırılarak, alt havza bazında da gözlemler yapılabilir; alt havza akım verileri elde edilip, SWAT modelinin tahmin kapasitesi ve kalibrasyon etkinliği artırılabilir.
- iii. Yapılacak ayrıntılı arazi çalışmalarıyla, havzanın yüzey akışına etki eden daha gerçekçi parametrelere ulaşılabilir.

Yüzey akışı tahmini için yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu, topoğrafik yapısı eğimli olan doğal drenaj havzalarında gerçekleştirilmiştir. Ancak, eğimi düşük havzalarda yapılan çalışmalar çok az sayıdadır. Araştırmanın yapıldığı Akarsu Sulama Birliği sahasının düşük eğime sahip olması, doğal olmayan drenaj

kanallarıyla drenajın sağlanması; araziye yaz aylarında sulama amaçlı su saptırılması ve bu su ile sulama yapılması; havzaya giren ve çıkan suyun limnigraflar kullanılarak bir zaman serisi olarak ölçülmesi gibi özellikler, üzerinde çalışılan havzayı diğer tarımsal havzalardan farklı kılmıştır. Havzanın değinilen bu nitelikleri göz önüne alındığında, SWAT modeli uygulanarak yapılan bu araştırmanın emsal niteliğinde olduğu söylenebilir.

Ülkemizde farklı iklim kuşaklarında yer alan farklı niteliklere sahip tarımsal havzalarda da benzer hidrolojik ve meteorolojik gözlemler yapılabilir. Bu gözlemler kullanılarak, tarımsal drenaj havzaları için bu çalışmada uygulanan yöntemler izlenerek SWAT modeli uygulanabilir. Elde edilen sonuçlar, iklim bölgelerine göre genelleştirilebilir.



## KAYNAKLAR

- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan, R., 2007. Modeling Hydrology and Water Quality in The Pre-Alpine/Alpine Thur Watershed Using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333, 413-430.
- Akdoğan, Z., Küçükdoğan, A. ve Güven B., 2015. Yayılı Kirleticilerin Havzalardaki Taşınım Süreçleri: Antibiyotikler, Ağır Metaller ve Besi Maddeleri Üzerine Modelleme Yaklaşımları, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 33-47.
- Akgül, M.A., 2015. Aşağı Seyhan Ovası Sol Sahil Sulaması, Su ve Nitrat Bütçesinin Modellenmesi. Ç.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Adana, 97s.
- Akgül, M. A., Çetin, M., Berberoğlu, S., İbrikçi, H., 2016. Determination of Soil Series Effects on Actual Evapotranspiration by Nonparametric Statistical Techniques. *Eurosoil2016*, Istanbul, Turkey, Abstract Book, 130, (<http://www.eurosoil2016istanbul.org/>).
- Arnold, J.G., Mutiah, R.S., Srinivasan, R. and Allen, P.M., 2000. Regional Estimation of Base Flow and Groundwater Recharge in the Upper Mississippi River Basin. *Journal Of Hydrology*, 227, 1–40.
- Asres, M.T. and Awulachew, S.B., 2010. SWAT Based Runoff and Sediment Yield Modelling: A Case Study of the Gumera Watershed in the Blue Nile Basin. *Ecohydrology Hydrobiology*, 2(4), 191-200.
- Bodian, A., Dezetter, A., and Dacosta, H., 2015. Rainfall-Runoff Modelling of Water resources in the Upper Senegal River Basin.
- Çepel, N. ve Ergün, C., 2003: Suyun Önemi ve Ekolojik Sorunları,1.
- Çetin, M., İbrikçi, H., Berberoğlu, S. ve Karnez, E., 2015. Türkiye'de Tarımsal Bir Alanda Sulamadan Dönen Suyun ve Sudaki Besin Elementi Yükünün İzlenmesi ve Çok Ölçekli Modellenmesi (IRAFLUT). TÜBİTAK Aratırma Projesi Gelişme Raporu (Bilimsel Rapor), TÜBİTAK Proje No: 113O151.

- Devlet Planlama Teşkilatı (DTP), 2001. Öik: 571, Su Havzaları, Kullanımı ve Yönetimi. Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara.
- Dingman SL.1994. Physical Hydrology. Macmillan: New York; 575s.
- Dinç, U., Kapur, S., Özbek, H. ve Şenol, S., 1995. Toprak Genesisi ve Sınıflandırılması. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, Adana, 130.
- Ghods, S.H., Kerachian, R., Estalaki, S.M., Nikoo, M.R. and Zahmatkesh, Z., 2015. Developing A Stochastic Conflict Resolution Model for Urban Runoff Quality Management: Application of Info-gap and Bargaining Theories, Journal of Hydrology 533, 200–212.
- Green, W.H. and G.A. Ampt. 1911. Studies on soil physics, 1. The flow of Air and Water Through Soils. Journal of Agricultural Sciences 4, 11-24.
- Iskender, I. and Sajikumar, N. 2006. Evaluation of Surface Runoff Estimation in Ungauged Watersheds using SWAT and GIUH. ScienceDirect. Procedia Technology 24, 109 – 115.
- Ilgar, R., 2009. Çanakkale Onsekiz Mart Universty-TURKEY. Dünya Su Yönetimi ve Su Eğitimi / World Water Management and Water Education, 7-11.
- Im, S., Brannan, K.M., Mostaghimi, S. and Kim, S.M., 2007. Comparison of HSPF and SWAT models performance for runoff and sediment yield prediction. Journal of Environmental Science and Health Part A 42, 1561–1570 Copyright C \_ Taylor & Francis Group, LLC, 1532-4117.
- Jadhao, V.G. and Tripathi, M.P., 2009. Evaluation of The SWAT Model for Predicting the Daily Surface Runoff and Sediment Yield from a Small Watershed, International Journal of Agriculture Engineering, 1, 39-45.
- Jain, S.K., Tyagi, J. and Singh, V., 2010. Simulation of Runoff and Sediment Yield for a Himalayan Watershed Using SWAT Model, J. Water Resource and Protection, 2, 267-281.
- Jajarmizadeh, M., Harun, S., Abdullah R. and Salarpour, M., 2012. Using Soil and Water Assessment Tool for Flow Simulation and Assessment of Sensitive

- Parameters Applying SUFI-2 Algorithm. *Caspian Journal of Applied Sciences Research*, 2(1), 37-44.
- Jun X., Ge, T., Xin, L. and Yizhong, Z., 2003. Hydrological Modelling of Imperfectly Gauged Basins: A New Challenge. *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques*, J. IAHS Publ., 279.
- Kannan, N., White, S.M., Worrall, F. and Whelan, M.J., 2006. Sensitivity Analysis and Identification of the Best Evapotranspiration and Runoff Options for Hydrological Modelling in Swat-2000. *Journal of Hydrology* 332, 456–466.
- Kanber, R., 1977. Çukurova Koşullarında Bazı Toprak Serilerinin Değişik Kullanılabilir Nem Düzeylerinde Yapılan Sulamaların Pamuğun Verim ve Su Tüketimine Etkileri üzerinde Bir Lizimetre Araştırması, Ç.Ü. Doktora Tezi. *Toprak Su Araşt. Enst. Müd. G. Yay. No: 78, Rap. Yay. No: 33, Tarsus*, 1-151 s.
- Karaş, E. 2004. Küçükemalı ve Güvenç Havzalarının Su ve Sediment Verimlerine Göre Sürdürülebilir Yönetimi, Ankara Üniversitesi, F.B.E. Doktora Tezi, Ankara, 88 (Yayınlanmamış).
- Kahveci, E., 2015. Sapanca Gölü Su Bütçesi, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, ANKARA.
- Lijuan Li, Dejuan Jiang, Xiyong Hou and Jiuyi Li, 2002. Simulated Runoff Responses to Land Use in the Middle and Upstream Reaches of Taoerhe River Basin, Northeast China, in Wet, Average and Dry Years, *Hydrol. Process.* 27, 3484-3494.
- Li, L., Jiang, D., Hou, X. and Li, J., 2012. Simulated Runoff Responses to Land Use in the Middle and Upstream Reaches of Taoerhe River Basin, Northeast China, in Wet, Average and Dry Years, *Hydrol. Process.* 27, 3484–3494.
- Li, Z., Luo, C., Xi, O., Li, H., Pan, J., Zhou, Q. and Xiong, Z., 2014. Assessment

- of the AnnAGNPS Model in Simulating Runoff and Nutrients in a Typical Small Watershed in the Taihu Lake Basin, China, *Catena* 133, 349–361.
- Maharjan, G.R., Park, Y.S., Kim, N.W., Shin, D.S., Choi, J.W., Hyun, G.W., Jeon, J.H., Ok, Y.S., and Lim, K.J., 2013. Evaluation of the SWAT Sub-Daily Runoff Estimation at Small Agricultural Watershed in Korea, *Front. Environ. Sci. Eng.*, 7(1), 109-119.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R. D. and Veith, T.L., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885–900.
- Muluk, Ç.B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U. 2013. Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği - Doğa Koruma Merkezi.
- Muttiah ve Wurbs, 2002. Simulated Runoff Responses to Land Use in the Middle and Upstream Reaches of Taoerhe River Basin, Northeast China, in *Wet, Average and Dry Years*, *Hydrol. Process.* 27, 3484-3494.
- National Intelligence Council, 2012. *Global Trends 2030: Alternative Worlds*, USA (<https://www.dni.gov/index.php>).
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. ve Williams, J.R., 2009. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. College of Agriculture and Life Sciences.
- Nikam, S.P., R.C. Purohit, M.G. Shinde, P.K. Singh, H.K. Jain and Pravin Dahiphale, 2014. Annual Geomorphic Response Model for Prediction of Runoff from Shivhare, V., Goel B, M.K., Singh, C.K., *Simulation of Surface Runoff for Upper Tapi Subcatchment Area (Burhanpur Watershed) Using SWAT*, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-8, 2014 ISPRS Technical Commission VIII Symposium, Hyderabad, India.



- Qiu, L.J., Zheng, F.L. and Yin, R.S., 2012. SWAT-Based Runoff and Sediment Simulation in a Small Watershed, the Loessial Hilly-Gullied Region of China: Capabilities and Challenges. *International Journal of Sediment Research*, 27(2), 226-234.
- Rallison, R.E. and N. Miller. 1981. Past, Present and Future SCS Runoff Procedure. Rainfall Runoff Relationship. Water Resources Publication, Littleton, CO, 353-364.
- Rode, M., Arhonditsis, G., Balin, D., Kebede, T., Krysanova, V., van Griensven, A., van der Zee, S.E.A.T.M., 2010. New Challenges in Integrated Water Quality Modelling. *Hydrol. Process.* 24, 3447–3461.
- Rostamian, R., Jaleh, A., Afyuni, M., Mousavi, S.F., Heidarpour, M., Jalalian, A., and Abbaspour, K.C., 2010. Application of a SWAT Model for Estimating Runoff and Sediment in Two Mountainous Basins in Central Iran, 2150-3435.
- Sajikumar, N. and Remya R.S., 2015. Impact of Land Cover and Land Use Change on Runoff Characteristics, 161, 460-8.
- Santra, P. and Das, B.S., 2013. Modeling Runoff from an Agricultural Watershed of Western Catchment of Chilika Lake Through Arcswat. *Journal of Hydro-Environment Research*, 7, 261-269.
- Sinha, S., Rode, M., and Borchardt, D., 2016. Examining Runoff Generation Processes in the Selkecatchment in Central Germany, Insights from Data and Semi-Distributed Numerical Model. *Journal of Hydrology. Regional Studies* 7, 38–54.
- Shivhare, V., Goel, M K, and Singh, C.K., 2014. Simulation of Surface Runoff for Upper Tapi Subcatchment Area (Burhanpur Watershed) Using SWAT. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 8. Technical Commission VIII Symposium, Hyderabad, India.

- Şatır, O., 2013. Aşağı Seyhan Ovası'nda Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Tarımsal Alan Kullanım Uygunluğunun Belirlenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı A.B.D., Adana.
- Tang, F.F., Xu, H.S. and Xu, Z.X., 2012. Model Calibration and Uncertainty Analysis for Runoff in the Chao River Basin Using Sequential Uncertainty Fitting. Sciverse Sciencedirect. Procedia Environmental Sciences, 13, 1760–1770.
- Tomy, T. and Sumam, K.S., 2015. Determining the Adequacy of CFSR Data for Rainfall-Runoff Modeling Using SWAT. Procedia Technology, 24, 309–316.
- WBCSD, 2006. Fact and Trends Water. World Business Council for Sustainable Development (<http://www.unwater.org/>).
- Wiebe, A. J., Brewster, C.Jr., Rudolph, D.L., Korkka, K. and Niemi, 2015. An Approach to Improve Direct Runoff Estimates and Reduce Uncertainty in the Calculated Groundwater Component in Water Balances of Large Lakes, Journal of Hydrology 531, 655–670.
- Viji, R., Prasanna, P. R. and Ilango, R., 2015. Modified SCS-CN and Green-Ampt Methods in Surface Runoff Modelling for the Kundahpallam Watershed, Nilgiris, Western Ghats, India. Sciencedirect. Aquatic Procedia 4, 677–684.
- Vicente, M. L., Perez-Bielsa, C., Lopez-Montero, T., Lamban, L.J., and Navas A., 2014. Runoff Simulation with Eight Different Flow Accumulation Algorithms: Recommendations Using a Spatially Distributed and Open-Source Model. Environmental Modelling & Software 62, 11-21.
- Vu, M.T., Raghavan, S.V. and Liong, S.Y., 2012. SWAT Use of Gridded Observations for Simulating Runoff – a Vietnam River Basin Study, Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 2801–2811.
- Yolcubal, İ., 2004. Hidroloji Ders Notları.

Yu, K., Gottschalk, L., Xiong, L., Li, Z. and Li, P., 2015. Estimation of the Annual Runoff Distribution from Moments of Climatic Variables, *Journal of Hydrology* 531, 1081–1094.



## ÖZGEÇMİŞ

26 Eylül 1983 tarihinde İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de tamamladı. 2002 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü’nden 2006 yılında mezun oldu. Mezuniyet sonrası farklı özel kurumlarda matematik öğretmeni olarak görev yaptı. Askerlik görevini, 2009 - 2010 yılları arasında kısa dönem erbaş olarak İstanbul’da tamamladı. 2011 yılında İstatistik bölümünde yüksek lisans eğitimine ve 2013 yılında eş zamanlı olarak Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama bölümünde yüksek lisans’a başladı. 2013 yılının güz döneminde araştırma görevlisi olarak atandı ve halen görevini sürdürmektedir.