DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Kader BENLİ

Aralık, 2018

İZMİR

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik - Hidroloji ve Su Kaynakları Programı

Kader BENLİ

Aralık, 2018

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

KADER BENLİ, tarafından **DOÇ. DR. OKAN FISTIKOĞLU** yönetiminde hazırlanan **"COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Yönetici

Prof. Dr. Bülent KAYA

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ceyhun ÖZÇELİK

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim sırasında ve tez çalışmalarımda her zaman yardım ve desteğini esirgemeyen, akademik hayatımı etkileyecek olan bilgi ve tecrübesini sabırla ve ilgiyle benimle paylaşan, gelişmemde büyük ölçüde katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU hocama çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatımda maddi ve manevi desteği ile her zaman yanımda olan kıymetli babam Ahmet BENLİ'ye, kıymetli annem Fatma BENLİ'ye ve kardeşlerime çok teşekkür ederim.

Ayrıca bilimsel gelişmemde yol göstermesi ve yardımseverliği için Sayın Doç. Dr. Ceyhun ÖZÇELİK hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Kader BENLİ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZ

Aylık yağış-akış modelleri su kaynakları ile ilgili planlama çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Aylık yağış girdisini aylık akış çıktısına dönüştüren bu modeller, genellikle havza ortalama değerleriyle çalışan ortalanmış model yapısına sahiptirler. Ortalanmış modeller, havza karakteristiklerinin alansal değişkenliklerini dikkate almazlar. Ancak, su kütlesi ve/veya alt havza esaslı planlama çalışmalarında havzaların arazi kullanımı, toprak özellikleri ve jeolojik özellikleri gibi alansal değişim gösteren fiziksel unsurlarının alansal değişimleri ile birlikte ele alınmaları gerekmektedir. Bu amaçla literatürde birçok ortalanmış model geliştirilmiş ve bu modeller Coğrafi Bilgi Sistemleri araçları ile entegre edilerek planlama çalışmalarında kullanılır hale getirilmiştir. Sunulan bu çalışmada, havzaların arazi kullanımları, toprak yapısı ve jeolojik özelliklerini esas alan 5 parametreli ortalanmış aylık yağış-akış modeli raster katmanlar üzerinde çalıştırılarak, CBS ile entegre edilmiş ve model parametrelerinin alansal değişkenliklerini dikkate alabilen hale dönüştürülmüştür. Geliştirilen model, CBS ile hazırlanmış hücre esaslı raster veri yapılarını kullanan, matris bazlı bir bilgisayar programı olarak tasarlanmıştır. Kullanıcı tarafından istenilen alansal çözünürlükle çalışabilecek şekilde tasarlanan model, CBS analizleri sayesinde havzaların aylık akışlarını alansal dağılımlarıyla birlikte hesaplayabilmektedir. Gediz Havzası'nın önemli bir kolu olan Gördes Çayı üzerindeki Gördes baraj akımları test için kullanılmış ve havzanın aylık su bütçesi alansal olarak belirlenmiştir. İzmir kentinin içme suyu kaynağı olan Gördes Baraj Havzası'nın yayılı kirlilik kaynaklarının su kaynakları üzerinde etkilerinin de değerlendirilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Aylık yağış akış modeli, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Gördes havzası, Kavramsal hidrolojik model

DEVELOPMENT OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM BASED CONCEPTUAL MONTHLY RAINFALL-RUNOFF MODEL

ABSTRACT

Monthly rainfall-runoff models are frequently used in water resources planning and management. These models transform monthly rainfall values into monthly runoff series. Lumped models, which use mean basin characteristics, are commonly preferred in practice for simplicity. However, evaluation of water resources requires considering spatial and temporal variation of basin parameters such as land use, land cover, soil texture and geology. Thus, many lumped models in the literature integrates traditional hydrologic models and Geographical Information Systems.

This thesis presents a 5-parameter lumped monthly rainfall-runoff model integrated to the Geographical Information Systems -- GIS Based Conceptual Hydrologic Model. The model considers spatial variabilities of land use, soil texture and geological formations. In the model, cell based runoff estimations are simulated by a conceptual hydrologic model once input variables and model parameters are organized in raster data sets. Simulations are implemented a matrix-based computer program developed.

The result of the test study for Gördes basin an important fresh water source of Izmir shows that GIS based 5-parameter monthly rainfall-runoff model produces significant cell based runoff estimates. These estimates are especially valuable for the basins with spatial distrubuted rainfall data as well as known basin charecteristics. The model can be also beneficially used for the identification of pollution distribution throughout basins.

Keywords: Monthly rainfall-runoff model**,** Geographical Information Systems **(**GIS), Gördes basin, Conceptual hydrologic model

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iiv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ x

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Genel 1
1.2 Amaç ve Kapsam 4

BÖLÜM İKİ - HİDROLOJİK MODELLER VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ 6

2.1 Hidrolojik Modeller 6
2.2 Yağış-Akış Modelleri 7
2.2.1 Kapalı Kutu (Kara Kutu) Modeller 8
2.2.2 Kavramsal Modeller 10
2.3 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Hidrolojik Çalışmalarda Kullanımı 11

BÖLÜM ÜÇ - KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİ VE CBS ENTEGRASYONU 14

3.1 CBS Tabanlı Yağış-Akış Modelleri 14
3.2 Kavramsal Aylık Yağış-Akış Modelinin Yapısı 16
3.3 Modelin CBS Bazlı Tasarımı ve Matlab ile Entegrasyonu 20
3.4 Model Verilerinin ve Parametrelerinin CBS Tabanlı Hazırlanması 22
3.5 Modelin Kalibrasyon ve Verifikasyonu 29

BÖLÜM DÖRT - BEŞ PARAMETRELİ KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİNİN UYGULAMASI 31

4.1 Uygulama Havzasının Tanıtımı 31
4.1.1 Akış Verileri 31
4.1.2 Yağış Verileri 32
4.2 Coğrafi Verilerin ve Haritaların Hazırlanması 32
4.2.1 Havzanın Sayısal Yükselti Modeli 32
4.2.2 Havzanın Arazi Kullanımı Dağılımı 33
4.2.3 Havzanın Toprak Özellikleri 34
4.2.4 Havzanın Jeolojik Formasyon Dağılımı 35
4.3 Aylık Yağış-Akış Modelinin Kurulması, Kalibrasyon ve Verifikasyon 36
4.3.1 Modelin Çalıştırılması 36
4.3.2 Modelin Kalibrasyon ve Verifikasyonu 37

BÖLÜM BEŞ - BULGULAR 40

5.1 Hidrolojik Süreçlerin Alansal Dağılımları 40
5.2 Arazi Kullanımlarına Bağlı Yüzeysel ve Yüzey altı Akış Hacimleri 48
5.3 Hidrojeolojik Birimlere Bağlı Yer altı Akış Hacimleri 50

BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR 52

KAYNAKLAR 53

EKLER 60

EK1: Kavramsal Aylık Yağış-Akış Modelinin Matlab Kodu 60

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Sistem kavramı 6
Şekil 2.2 Hidrolojik sistem olarak bir havza 7
Şekil 3.1 5 Parametreli aylık yağış-akış modeli akış diyagramı 17
Şekil 3.2 Modelin çalıştırılmasına ilişkin akış diyagramı 22
Şekil 3.3 Thiessen poligon örneği 22
Şekil 3.4 Türkiye'nin CORINE haritası 23
Şekil 3.5 CORINE arazi kullanım sınıflarının kodları 24
Şekil 3.6 FAO'nun GSD'den alınan Türkiye'nin toprak haritası 25
Şekil 3.7 Türkiye jeolojik haritası 26
Şekil 3.8 Bir havza alanının 3 boyutlu SYM verisi 27
Şekil 3.9 Hücre yükseltileri ve akış yönünün gösterimi 27
Şekil 3.10 Akış toplanma hücrelerinin belirlenmesi 28
Şekil 3.11 Akarsu ağının belirlenmesi 28
Şekil 3.12 Model kalibrasyonu akış diyagramı 29
Şekil 4.1 Gördes Havzası ve Türkiye üzerindeki konumu 31
Şekil 4.2 Gördes Havzası 500mx500m çözünürlüklü sayısal yükselti modeli 33
Şekil 4.3 Gördes havzası CORINE arazi sınıfları 34
Şekil 4.4 Gördes havzası GSD toprak bünyesi dağılımı 35
Şekil 4.5 Gördes havzası hidrojeolojik birimlerin dağılımı 36
Şekil 4.6 Gözlenmiş ve modellenmiş akımların gidiş ve saçılım grafikleri 39
Şekil 5.1 Şubat, 1974 yüzeysel akış dağılımı 41
Şekil 5.2 Mart, 1974 yüzeysel akış dağılımı 41
Şekil 5.3 Şubat, 1974 yüzey altı akış dağılımı 42
Şekil 5.4 Mart, 1974 yüzey altı akış dağılımı 42

Şekil 5.5 Şubat, 1974 yer altı akış dağılımı 43
Şekil 5.6 Mart, 1974 yer altı akış dağılımı 44
Şekil 5.7 Şubat, 1974 toplam akış dağılımı 45
Şekil 5.8 Mart, 1974 toplam akış dağılımı 45
Şekil 5.9 Toplam aylık evapotranspirasyon dağılımı 46
Şekil 5.10 Toplam aylık infiltrasyon dağılımı 47
Şekil 5.11 Toplam aylık yüzeysel akış dağılımı 48
Şekil 5.12 Toplam aylık yüzey altı akışların dağılımı 49
Şekil 5.13 Aylık toplam yer altı akışların dağılımı 51

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Toprak özelliklerine ilişkin nitelik bilgiler 25

Tablo 4.1 Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları 32

Tablo 4.2 Manuel kalibrasyonuyla belirlenen model parametre değerleri 38

Tablo 4.3 Temel istatistikler 38

Tablo 5.1 Arazi örtüsü sınıflandırmalarına göre aylık evapotranspirasyon hacimleri 47

Tablo 5.2 Arazi örtüsü sınıflandırmalarına göre aylık infiltrasyon hacimleri 48

Tablo 5.3 Arazi örtüsü sınıflandırmalarına göre aylık yüzeysel akış hacimleri 49

Tablo 5.4 Arazi örtüsü sınıflandırmalarına göre aylık yüzey altı akış hacimleri 50

Tablo 5.5 Hidrojeolojik birimlere göre aylık yer altı akış hacimleri 51

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Genel

Sınırlı fakat yenilenebilir bir doğal kaynak olan su; tüm canlıların yaşamında büyük bir öneme sahiptir. Nüfusun hızlı artışına bağlı olarak tüm sektörlerde su talebinin artmasıyla birlikte su tüketim miktarının artması, özellikle sanayi ve tarımda suyun aşırı miktarda tüketilmesi, buna karşılık yeterli miktarda temiz su kaynağının bulunmaması, su kaynakları yönetim sürecinin önemini ortaya koymaktadır (Aküzüm ve diğer., 2010; Meriç, 2004). Savaş senaryolarına bile konu olan su kaynakları, bir ülkenin gelişiminde çok büyük bir rol oynamaktadır. Özellikle son yıllarda iklim değişikliği nedeniyle yaşanan su kıtlığı ya da taşkınlar birçok ülkeyi olumsuz etkilemekte ve suyun kalitesinde bozulmalara sebep olmaktadır (Meriç, 2004). Bu problemler, sosyal ve ekonomik açıdan zincirleme olarak birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle su kaynakları yönetimi çevre kavramı altında su, hava ve toprak ortamlarını bütüncül bir yaklaşımla ele alarak değerlendirmektedir. Bu ortamlarda meydana gelen belirsizliklerin açıklanmasında yağış, buharlaşma, sızma ve yüzeysel akış gibi hidrolojik süreç modelleri kullanılırken, günümüzde artık bu modellerin hepsinin bir arada bulunduğu, içinde yönetim ve karar modellerini de barındıran entegre havza simülasyon modelleri ortaya çıkmıştır (Fıstıkoğlu, 2001). Bu entegre havza simülasyon modelleri, su kaynakları yönetiminde temel bir ihtiyaç olup, karar almada hızlandırıcı etkisiyle ve gerçeğe yakın sonuçlar vermesiyle bilim adamları, mühendisler ve planlamacılara yol gösterecek etkilere sahiptir.

Su kaynaklarının sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik olarak korunması, kullanılması ve gelecek kuşaklara aktarılması son derece önem içermektedir (Özkan ve diğer., 2013). Bu ise ancak, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi anlayışı ile sağlanabilmektedir (Kaypak, 2011). Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi anlayışı, bugünkü hedef ve ihtiyaçların, gelecek kuşakların hedef ve taleplerini tehlikeye düşürmeden ve doğal kaynaklardan maksimum faydayı elde ederken gerekli olan yönetim kararlarının alınmasıdır (Erkul ve Sarıgül, 2008).

Su kaynaklarının korunması, su kaynaklarından faydalanılması ve etkin bir su kaynakları yönetiminin gerçekleştirilmesi için akarsu havzalarındaki akış miktarlarının (su potansiyeli) doğru bir biçimde tahmin edilebilmesi gerekir (Özçelik, 2002). Söz konusu bu yönetim kararlarının sürdürülebilirliği, bu kararların uygulanmadan önce sınanması ile anlaşılacaktır. Kararların sınanmasında, havza sisteminin bilgisayar ortamında benzeştirilmesiyle hidrolojik modeller planlamacılara kolaylık sağlamaktadır (Fıstıkoğlu, 2001).

Hidrolojik modeller, havzadaki hidrolojik çevrimin bir kısmını ya da tamamını modelleyerek, havzada bulunan suyun miktar ve kalitesini zaman ve mekân boyutunda benzeştirirler (Bayazıt, 1998). Bilgi işlem teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte daha hızlı ve güvenilir bir şekilde analiz ve simülasyonlar gerçekleşip, çağdaş gözlem ve ölçüm yöntemleriyle elde edilen geniş alansal ve zamansal verilerin modelleme süreçlerine dahil edilebilmesiyle, suyun nicel ve nitel özelliklerinin değişimi daha güvenilir bir şekilde izlenebilmektedir (Fıstıkoğlu, 2001). Hidrolojik modeller bir havza sistemindeki hidrolojik çevrimin benzeşimini gerçekleştirdikleri için bu modellerin merkezinde yağış-akış modelleri yer almaktadır (Yogesh ve diğer., 2017).

Yağış-akış modelleri, bir akarsu havzasına düşen yağışı, akışa dönüştüren benzeşim modelleri olarak tanımlanabilir. Sızma, perkolasyon, buharlaşma ve evapotranspirasyon gibi hidrolojik süreçler sonucu havzaya düşen yağış, havzanın çıkışında akışa dönüşmektedir (Devi ve diğer., 2015). Bu modeller, su kaynaklarındaki birçok problemin çözümünde kullanılmakta ve hidrolojik olayların işleyişleri hakkında fikir vermektedir. Yağış-akış modelleri üzerinde nümerik, matematiksel, istatiksel ve yapay zekâ temelinde olmak üzere yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Yogesh ve diğer., 2017).

Yağış-akış modelleri, kapalı kutu ve kavramsal modeller olarak sınıflandırılmaktadır (Chow ve diğer., 1988).

Kapalı kutu modeller, bir havza üzerine düşen yağışı, doğrudan akışa dönüştüren ve havzayı kapalı bir sistem olarak değerlendiren modellerdir.

Kara kutu modeller olarak da adlandırılan bu modeller, havza sisteminin fiziksel süreçlerini göz ardı ederek, model girdileri ile çıktıları arasındaki matematiksel yapıyı ortaya koyar (Jajarmizardeh ve diğer., 2012). Bu modeller sadece bir bölge veya havza için elde edilip, analiz edilen verinin çeşitliliği ve doğruluğuna bağlı olarak başarılı olabilmektedir. Bu modellerde, incelenen havzanın fiziksel süreçlerinin önemi göz ardı edilir ve analiz edilen verilerin tahminleri sadece matematiksel tekniklere dayanmaktadır (Gosain ve diğer., 2009). Kapalı kutu modellerin riskli yönü, tüm havzalarda geçerli olmamasıdır. Öncesinde denenmemiş koşullarda hatalı tahminlere sebep olabilmektedirler (Bayazıt, 1998).

Kavramsal modeller ise yağışı; yüzeysel akış, sızma ve yüzey altı akışı gibi alt bileşenlere ayırarak, bu bileşenler arasındaki fiziksel ilişkileri detaylı olarak ifade ederler. Bu modeller, biriktirme üniteleri içerdiğinden, aralarındaki ilişki giren-çıkan su miktarı (su bütçesi) ile belirlenebilmektedir. Bu yüzden bu modeller daha fazla parametreye sahip olup, oldukça fazla veriye ihtiyaç duymaktadırlar. Havza içi süreçlerin ifade edilmesinde, parametrelerden faydalanılarak yağış-akış ilişkileri elde edilir (Todini, 1988). Bu model parametreleri havzanın topoğrafyası, arazi kullanımı, toprak yapısı özellikleri ve jeolojik özellikleri gibi havzanın fiziksel karakteristikleri ile ilgilidir. Havzanın fiziksel karakteristik özellikleri havza boyunca alansal olarak değişim göstermektedir. Dolayısıyla, kavramsal modellerin daha iyi sonuç verebilmesi, model parametrelerinin alansal değişimleriyle dikkate alınması halinde mümkündür (Bayazıt, 1998).

Kavramsal modellerde, bir havzanın fiziksel özelliklerinin alansal bazda değişimi incelenmek istendiğinde, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) modelcilere önemli katkılarda bulunmaktadır (Singh ve Fiorentino, 1996).

Vektör ya da hücresel (raster) esaslı olarak gerçekleştirilen CBS analizleri ile havza fiziksel özelliklerinin alansal bazlı değişimleri incelenebilmekte ve kavramsal modeller CBS tabanlı olarak kullanılabilmektedir (Olivera ve diğer., 2006; Güreşçi ve diğer., 2012).

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), hücresel (raster) ve vektörel bazlı alansal parametre değişimlerinin ifade edilmesinde, bir havzadaki hidrolojik değişkenlerin ve parametrelerin analizinde ve alansal ortalama değerlerinin hesaplanmasında, kavramsal yağış-akış modellerine destek olmaktadır. Havza modellerinin CBS ile entegre bir biçimde düşünülmesi, havzanın bir bütün olarak tanımlanmasına ve böylece model sonuçlarına dayanan havza yönetim kararlarının daha tutarlı olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında, ortalanmış yapıdaki 5 parametreli aylık yağış-akış modeli, hücresel (raster) CBS ortamında yeniden derlenerek hücresel (raster) tabanlı hale dönüştürülmüştür. Modelin girdileri olan yağış ve evapotranspirasyon değerleri ile model parametrelerini oluşturan arazi kullanımı, toprak yapısı ve jeolojik formasyonlar CBS ortamında hazırlanmış ve söz konusu bu katmanlar yeniden tasarlanan bu model ile akışlara dönüştürülmüştür. Geliştirilen bu model, havzadaki sızma, perkolasyon, zemin nemi ve gerçek evapotranspirasyon gibi hidrolojik süreçler yanında yüzeysel, yüzey altı ve yer altı akış bileşenlerinin alansal dağılımlarının da elde edilmesini sağlamıştır.

1.2 Amaç ve Kapsam

Bu tez kapsamında, Fıstıkoğlu (1999, 2001) tarafından geliştirilen 5 parametreli kavramsal aylık yağış-akış modelinin CBS ile entegrasyonu amaçlanmıştır. Bu entegrasyonda, ortalanmış yapıya sahip modelin CBS ortamında çalıştırılabilir hale dönüştürülmesi ve model parametrelerinin alansal dağılımlarının dikkate alınması hedeflenmiştir. Entegrasyon sayesinde, model sonuçları olan yüzeysel, yüzey altı ve yer altı suyu akış bileşenlerinin alansal dağılımlarıyla belirlenmesi çalışmanın esas amacını oluşturmaktadır.

Beş parametreli modelin parametreleri, modellenen havzanın arazi kullanımı, toprak yapısı ve jeolojik formlarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, CBS ile entegre edilen modelde bu üç temel altlık bilginin temin edilmesi esastır. Ancak ülkemizde söz konusu altlıklara ilişkin sağlıklı bir veritabanı bulunmamaktadır.

Bu nedenle, çalışma kapsamında arazi kullanımı için CORINE veri setinden (CORINE, 2012), toprak yapısı için Dünya Tarım Örgütü'nün Global Soil Database (GSD) (FAO, 1992) veri tabanından, jeolojik formlar için de Maden Tetkik Arama Kurumu'nun 1988 tarihli jeolojik haritalarından yararlanılmıştır.

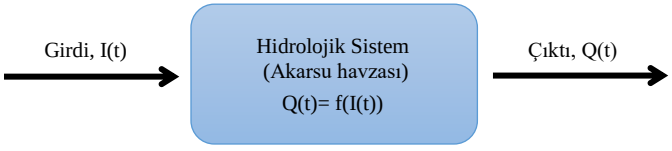
Tez kapsamında CBS tabanlı olarak geliştirilen model, Matlab yazılımı kullanılarak bilgisayar kodu haline dönüştürülmüş ve modelin uygulaması Gördes havzasında gerçekleştirilmiştir. Uygulamada havzanın 1962-1992 yılları arasında ölçülmüş yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak aylık akışlar tahmin edilmiş ve gözlemlerle kıyaslanarak model performansı irdelenmiştir.

BÖLÜM İKİ
HİDROLOJİK MODELLER VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

2.1 Hidrolojik Modeller

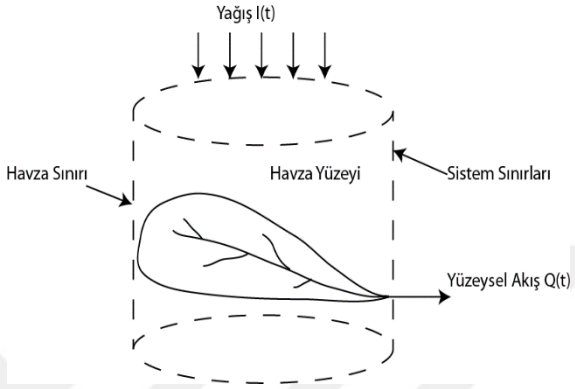
Hidroloji, yerkürede (yeryüzünde, yer altında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir (Bayazıt, 1998). İçme, kullanma, sulama, enerji üretme ve akarsularda ulaşım gibi su kaynakları mühendisliği uygulamalarının planlama, tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında hidrolojiden yararlanılmaktadır. Günümüzde hidrolojik çalışmalarda hidrolojik modeller önemli bir yer tutmaktadır (Bayazıt, 2003).

Hidrolojik modeller, hidrolojik süreçlerin fizik yasalarına göre bazı şartlar sağlandığında matematik, istatistik ve yapay zeka gibi araçlarla modellenmesiyle ortaya çıkmıştır (Bayazıt, 1998). Hidrolojik modelleme çalışmaları, hidrolojik sistem kavramına dayanmaktadır. Sistem ise, hidrolojik bileşenlerin aralarındaki ilişkiyi ve bu ilişkilerin belirli sınırlarla ayrıldığı mekanizma olarak tanımlanmaktadır (Chow ve diğer., 1988; Bayazıt, 1998). Bir akarsu havzası sistem olabileceği gibi, bir alt havza veya alt havzalar da sistem olarak ele alınabilir. Bu sistemin çevresiyle olan ilişkileri, girdi ve çıktı vektörleri ile belirlenmektedir. Hidrolojik sistemin girdileri yağış, çıktıları ise akış, sızma, evapotranspirasyon gibi hidrolojik değişkenler olabilir (Şekil 2.1) (Bayazıt, 1998).



Şekil 2.1 Sistem kavramı (Bayazıt,1998)

Bir hidrolojik sistem üzerine kurulan modeller (Şekil 2.2), hidrolojik süreçlerde meydana gelen belirsizliklerin açıklanmasını ve model sonuçlarına dayanan yönetim kararlarının teknik bir temele dayandırılmasını sağlamaktadır. Bu modeller, modellenen süreçlerin işleyişinin belirlenmesi, süreç mekanizmalarının açıklanması ve senaryo analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Fıstıkoğlu, 1999).



Şekil 2.2 Hidrolojik sistem olarak bir havza (Chow ve diğer, 1988)

Hidrolojik modeller, su kaynakları yönetiminde temel bir ihtiyaç olup, hızlı karar almayı sağlayarak bilim adamları, mühendisler ve planlamacılara ışık tutmaktadırlar. Gelişen bilgi işlem teknolojileri sayesinde, daha hızlı ve güvenilir olan analiz ve simülasyonlar, çağdaş gözlem ve ölçüm yöntemleriyle desteklenerek, geniş alansal ve zamansal boyutta suyun nicel ve nitel değişimi güvenilir bir şekilde izlenmektedir.

Suyun kalite ve miktar açısından bir havza sisteminde değişimini irdeleyebilmek için havza sisteminin her noktasında suyun miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Su miktarının belirlenmesi için de hidrolojik modellerin temelinde yağış-akış modelleri kullanılmaktadır.

2.2 Yağış-Akış Modelleri

Bir havza sisteminde düşen yağış, kayıplar çıkartıldıktan sonra havza çıkışındaki akımı oluşturmaktadır (Bayazıt, 1998).

Bu dönüşümün modellenmesinde iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlar veri analizlerine dayanan kapalı kutu modelleri ve yağışı akışa dönüştüren sızma, buharlaşma, evapotranspirasyon vs. gibi fiziksel süreçleri dikkate alan kavramsal modellerdir (Chow ve diğer., 1988).

2.2.1 Kapalı Kutu (Kara Kutu)Modeller

Kapalı kutu modeller, bir havza sisteminin havzaya düşen yağışını, doğrudan akışa dönüştüren ve havzayı kapalı bir kutu olarak değerlendiren modellerdir (Türker, 2003). Kara kutu modeller olarak da adlandırılan bu modeller, havza sisteminin fiziksel süreçlerini göz ardı ederek girdiler ile çıktılar arasındaki matematiksel yapıyı ortaya koyar (Jajarmizardeh ve diğer., 2012). Bu modeller, kullandığı yöntemlerden dolayı amprik modeller olarak da ifade edilmektedir (Gosain ve diğer., 2009). Kapalı kutu modellerinin riskli bir yönü ise genelleme yeteneğinin olmamasıdır. Bu nedenle, daha önceden denenmemiş havzalarda kullanılması hatalı sonuçlara neden olabilmektedir (Bayazıt, 1998).

Kapalı kutu modellerinin arasında en basit ve en çok kullanılan model, birim hidrograf modelidir. Birim hidrograf yöntemi Sherman (1932) tarafından ilk defa ortaya atılmıştır ve herhangi bir süreli yağışın meydana getireceği hidrograf türetilirken kullanılan basit doğrusal bir modeldir. Birim hidrograf yöntemi, bir havzaya eşit miktarda ve eşit şiddette düşen yağışın birim yükseklikte akış meydana getiren kısmıdır (Chow ve diğer., 1998).

Birim hidrografta etkili yağış ile dolaysız akış arasındaki ilişki ele alındığında, toplam yağıştan sızma ve yüzeysel biriktirme gibi kayıplar çıkarıldıktan sonra (akış) toplam akımdan yer altı suyu katkısı (baz akım) çıkarılarak dolaysız akış hacmi bulunur ve akış ile dolaysız akış hacmi arasındaki ilişki belirlenir (Usul, 2008).
Birim hidrografta başlıca beş kabul yer almaktadır. Bunlar;

- yağış süresince yağış şiddetinin sabit olması,
- yağışın havza üzerine uniform bir şekilde yayılması,
- yağış süresince taban akışının sabit olması,

- toplam yüzeysel akışın etkili yağış ile doğru orantılı olması,
- birim hidrografın çalışma havzasına özgü olmasıdır (Chow ve diğer., 1998)

Birim hidrograf teorisi için ele alınan bu kabuller normal şartlar altında doğru ve eksiksiz olarak elde edilmez. Örneğin, birim hidrograf kabullerine göre bir havza üzerine düşen yağış uniform olarak dağılmaktadır. Bu kabul, küçük havzalar için büyük bir etki meydana getirmese de, büyük havzalarda önemli bir fark meydana gelir (Chow ve diğer., 1998). Genellikle 5000 km^2'den büyük havzalara birim hidrograf yöntemi kullanmak yerine, büyük havzaların alt havzalara bölünmesiyle birim hidrograflar elde edilmelidir (Usul, 2008). Fakat, arazi kullanım örtüsü gibi havzanın karakteristik özelliklerinin zamanla değişmesiyle birim hidrograf ortaya çıkan bu değişimleri elde edilen hidrografın şekline yansıtamamaktadır (Heerdegen, 1974).

Bir yapay zeka metodu ve kapalı kutu modellerinden biri olan yapay sinir ağları (YSA), hidroloji ve su kaynakları modelleme çalışmalarında da kullanılan ve son zamanlarda daha fazla uygulama alanı bulan bir modeldir (Okkan ve Mollamahmutoğlu, 2010). Yapay Sinir Ağları modelleri; çok sayıdaki girdi değişkenini, doğrusal olmayan çok parametreli ve çok katmanlı bir model yapısı ile çıktı değişkeni veya değişkenlerine dönüştüren modeller olarak ifade edilir (Tayfur ve diğer., 2003). Girdi değişkenleri ağın içerisinde yer alan katmanlardaki düğüm noktalarına ağırlık faktörleri ile aktarılarak, çıktı katmanına ait tahmin elde edilir. En iyi tahmin sonuçlarını elde edebilmek için, ağırlık katsayıları değiştirilerek model parametreleri elde edilmiş olur. Pratikte, katman sayısı, bu katmanlardaki düğüm sayısı, düğüm noktalarında kullanılan geçiş fonksiyonları, ağırlık katsayılarının belirlenmesinde eğitim algoritmalarının ve modelin oluşturduğu değer ile gözlemler arasındaki uyumluluğun sınanmasında hata fonksiyonlarının (ortalama hata kareler, ortalama mutlak hata kareler gibi) farklı türleri kullanılabilir (Partal ve diğer., 2008). Model ve eğitim için kullanılan verilerin minimum hata verdiği model yapısı nihai model olarak değerlendirilir (Mas, 2004). YSA diğer modelleme yöntemlerine göre, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkinin biçimini önemsemeksizin, karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri tanımlayabilir (Dawson ve Wilby, 2001).

2.2.2 Kavramsal Modeller

Kavramsal modeller yağışı; yüzeysel akış, sızma ve yüzey altı akış gibi alt bileşenlere ayırır ve bu bileşenler arasındaki fiziksel ilişkileri detaylıca açıklar (Bayazıt, 1998). Bu modeller kapalı kutu modellerinin tersine, havza üzerine düşen yağış girdisini, akış çıktısı olarak dönüştürürken fiziksel benzeşimden yararlanır. Modeller biriktirme üniteleri içerdiğinden, bunların arasındaki ilişki giren-çıkan su miktarı ile belirlenir. Bu nedenle bu modeller oldukça fazla parametreye sahip olmakla birlikte veri gereksinimi de fazladır. Havza içi süreçler model parametreleriyle ifade edilir ve yağış-akış ilişkileri bu parametrelere bağlı olarak elde edilmiş olur (Todini, E. , 1988). Bir akarsu havzasına ait hidrometeorolojik verilerin temininde ve çok parametreli modellerin tahminlerinin daha doğru bir şekilde elde edilmesinde kavramsal modeller oldukça faydalıdır (Benzeden, 1981). Ayrıca, havzadaki hidrolojik süreçlerin tahmininde fiziksel süreçlerin benzeşimini içerdiğinden, kavramsal modellerin kullanılması daha uygun olmaktadır (Jajarmizardeh ve diğer., 2012).

Modellenmesi planlanan bir havzanın, kavramsal modeller sayesinde yağış-akış ilişkisi ayrıntılı bir biçimde incelenebilmektedir. Geliştirilen modelin ayrıntısı arttıkça, modelin hassasiyeti de artarak, daha doğru tahminler elde edilir. Ancak, bu modellerin parametre sayısının artmasıyla, model için gerekli olan veri miktarı da artacaktır. Söz konusu bu durumlarda bazı bölgelerde modelde gerekli olan verilerin ölçülememesi, analiz edilememesi veya elde edilememesi gibi sorunlarda model doğru çalışamaz. Bu sorunlar dolayısıyla modellerin karmaşık ve pratik olmamasına neden olabilmektedir (Abbott ve Refsgaard, 1996). Kavramsal yağış-akış modelleri sürekli benzeşim modelleri olarak da isimlendirilmektedir. Sürekli benzeşim modelleri, havza üzerine düşen yağışın havzanın çıkış noktasına kadar olan hareketinin sürekli olarak modellendiği, yağış düşmeyen bölgelerde ve zamanlarda ise zemin nemi değişiminin hesaplandığı, evapotranspirasyon, doymuş ve doymamış bölgedeki akışın belirlendiği modellerdir (De Vries ve Hromadka, 1993). Hidrolojik çevrim bileşenlerinin detaylı olarak benzeştirildiği modellerde, havza alt bölgelere ve zemin düşey yönde tabakalara ayrılabildiğinden bu tip modellerde parametre sayısı artmaktadır.

Hidrolojik modellerin veri ihtiyacı modelin özelliklerine göre değişmektedir. Bu yüzden karmaşık modellerin veri temininde sorunlar ortaya çıkmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama sistemlerinden ve uydu teknolojilerinden faydalanarak, alansal bazlı veri hızlı ve geniş çaplı olarak toplanabilmektedir. Uzaktan algılama teknikleri ile havza üzerindeki toprak ve arazi kullanımının alansal bazda tanımlanabilmesiyle sızma, evapotranspirasyon ve yüzeysel akış daha iyi açıklanabilmektedir. Alansal bazlı olarak toplanan hidrometeorolojik verilerle buharlaşma, yağış gibi süreçler noktasal ölçümlerle kıyaslandığında daha gerçekçi bir biçimde değerlendirilebilmektedir (Fortin ve diğer., 2001).

2.3 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Hidrolojik Çalışmalarda Kullanımı

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); konumu belli olan verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, analizi ve sunulması için bir araya getirilen donanım, yazılım, personel ve coğrafi veriler bütünüdür (Fitzpatrick ve Maguire, 2000).

CBS hidroloji, coğrafya, jeoloji, meteoroloji ve ormancılık gibi multidisipliner bir uygulama alanına sahiptir (Huisman ve diğer., 2009). Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin yararları şu şekildedir;

- Bilgi akışını hızlandırır.
- Üretim ve envanter yönetimi daha verimli hale gelir.
- Etkili ve doğru analizler yapılmasını sağlar.
- Verinin kolay güncellenebilmesini sağlar.
- İş gücünü arttırır ve zaman kaybını önler.

Coğrafi kodlama vektör ve raster modeller ile yapılmaktadır. Vektör model nokta, çizgi ve poligon sembolleriyle gösterilirken, coğrafi özellikler x ve y koordinat sistemi ile kodlanır ve depolanır. Örneğin, nokta ile gösterilen meteoroloji istasyonu, polygon ile gösterilen akarsu havzası, çizgi ile gösterilen ulaşım ağı vektör modeliyle gösterilir. Vektör modeli farklı coğrafi özellikler için uygun olmasına rağmen nüfus yoğunluğu ve toprak tipleri gibi değişim içerisinde olan coğrafi özellikler için yeterli olmadığından böyle durumlarda raster model kullanılmaktadır.

Raster veri modelinde hücreler gruplandırılır. Kullanılan ölçek hücrelerin boyutlarını, hücrelerin boyutları ise çözünürlüğünü ve böylece haritanın kalitesi ortaya çıkar. Vektör modelde önemli olan noktadır. Nokta ile ifade edilmesi gereken özellikler tek bir nokta ile gösterilirken, çizgi ve alan ile ifade edilmesi gereken özellikler noktaların birleştirilmesiyle gösterilir. Çalışmanın özelliğine göre her iki kullanımın avantajı olduğu gibi eksik kaldığı durumlar bulunmaktadır. Dolayısıyla çalışmanın özelliklerine uygun model seçilerek modelleme yapılmakta ve CBS'ye uygun olacak şekilde farklı katmanlar halinde kaydedilmektedirler. Hücresel (raster) formattaki veriler, grid (ızgara) sistemi veya satranç tahtası şeklinde ifade edilir. Her bir kare (raster hücresi) bir coğrafik alanı kapsadığından, bu alandaki bir niteliği ifade eder. Raster hücresi raster formatındaki bir CBS dahilindeki en küçük coğrafi birim olup ve en küçük haritalama birimidir. Bu birim ne kadar küçük ise, verilerin çözünürlüğü ve elde edilecek bilginin detayı artar. Şekiller veya coğrafi katmanlar görselde raster hücrelerinin birleşmesiyle ifade edilebilir. Dolayısıyla, karmaşık şekiller (idari sınırlar vb.) veya doğrusal özellikler (kıyı çizgisi) oldukça parçalı ve doğal olmayan bir şekilde görünebilir.

Uzaktan algılama tekniği ile elde edilen verilerın çoğu raster formattadır. Bu nedenle raster formattaki bir veri CBS içinde kullanılmadan verilerin dönüştürülmesine gerek yoktur. Vektör formattaki veriler, nokta ve çizgilerin birleşmesiyle oluşur. Nokta ve çizgilerin birleştirilmesiyle poligonlar da oluşturulabilir. Karmaşık olan şekiller veya özellikler detaylı bilgi verdiğinden vektör formatta daha kolay bir şekilde tanımlanır. CBS'den elde edilen harita çıktıları vektör formattadır (Benz ve diğer., 2004).

Coğrafi Bilgi Sistemleri hidrolojik modellemeler ile ilgili kullanılışlı uygulama araçları sunmaktadır. Hidroloji, su kaynaklarının kullanımının geliştirilmesi ve planlanmasının yapıldığı alanlarda rol üstlenmektedir (Dindaroğlu ve diğer., 2012). CBS teknolojisi, geniş ve karmaşık veri tabanlarının yönetiminde alternatifler sunmaktadır.

Hidrolojide CBS kullanım alanlarının başında yağış-akış modelleri, taşkın tahmini ve yönetimi, erezyon tahmini ve kontrolü ile su kalitesi tahmini ve kontrolü gelmektedir (Singh ve Fiorentino, 1996). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile entegre hidrolojik bir model tasarlanırken alansal bazdaki veriler daha kolay işlenebilmekte ve modele sunulabilmektedir (Harmancıoğlu ve Özkul, 2000). Bunun yanında akarsu havzaları ile ilgili çalışmalarda da CBS'nin kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Havza ile ilgili kullanım alanlarına bakıldığında havza yönetimi, havza için sayısal yükselti modelinin oluşturulması ile havza sınırının belirlenmesi ve özelliklerinin bilinmesi örnek verilebilir. Arazi örtüsünün belirlenmesi, havza yönetim sistemlerinin temelidir. Bu özelliklerin belirlenmesinin yanında iklimsel faktörler ve havza karakteristikleri ile ilgili parametrelere de ihtiyaç duyulur. Bu parametrelerin belirlenmesinde CBS en uygun araçtır (Şeker, 2004). CBS kullanılarak, grid formattaki yükseklik verileri ile drenaj havzaları ile drenaj ağları belirlenebilmekte; hidrolojik analizler için drenaj havzasına ait alan, eğim, yön, akış uzunluğu gibi veriler elde edilmektedir (Smeome, 1997).

CBS; havza karakteristiklerinin modelle entegrasyonunu ve havza modellerinin CBS ortamında tasarımı ve kalibrasyonu gibi işlevsel özelliklere sahiptir. Bunun yanında CBS kullanımı ile havza alt bölgelere ayrılabilmektedir. Uygulamadaki hidrolojik özelliklere ve ihtiyaca göre, coğrafi katmanlama ile pek çok kombinasyon CBS ile uygulanabildiğinden alansal bazda değişkenlik gösteren toprak kaybı oranları, tarımdan kaynaklı yayılı kirlilik yükü, yer altı suyuna ait kirlilik haritası ve taşkına maruz bölgeler belirlenebilmektedir. CBS havza modellerinin kapasitesini arttırmada önemli bir araçtır. Bunun yanında havza yönetim senaryolarının oluşturulması ve sonuçlarının izlenebilmesini de sağlar. Bu sebeple, CBS entegre havza yönetiminin vazgeçilmezidir (Ogden ve diğer., 2001).

Uygulamada, hidrolojik modellerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilerek kullanıldığı ArcSWAT (Soil and Water Assessment Tool), Hec- GeoHMS ve gibi modellemeler geliştirilmiştir (Verma ve diğer., 2010).

BÖLÜM ÜÇ
KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİ VE CBS ENTEGRASYONU

3.1 CBS Tabanlı Yağış-Akış Modelleri

Kavramsal hidrolojik modellere ilişkin literatür incelendiğinde, yağış-akış modellerinin CBS ile entegrasyonu konusundaki gelişmelerin, CBS teknolojilerindeki gelişmelerle paralel değişimler gösterdiği dikkat çekmektedir. CBS yazılımlarının teknolojik gelişimi ve programlanabilir hale dönüşümü, hidrolojik modellerin CBS ortamında kurgulanabilir olmasını sağlamıştır (ASCE, 2001). Literatürde yağış-akış modellerinin alansal ölçekte uygulanabilmesi için bir çok model geliştirilmiştir.

Ian D. Moore (1991) "Hidrolojik Modelleme ve CBS'' isimli model çalışmasında, hidrolojik modellerin CBS ortamına entegrasyonunun sağlanmasına yönelik yaklaşımları özetlemiştir. 1990'lı yılların sonuna doğru gelişen bilgi işlem teknolojisi ve artan bilgi işlem hızıyla bu alandaki çalışmalar da hız kazanmıştır. Örneğin, Knight ve arkadaşları (2001) ''CBS Tabanlı Bir Havza Modeli: Struma Nehri'' isimli çalışmalarında, hücresel esaslı aylık kar ve yağmur yağışlarını girdi olarak dikkate alan, kar erimesi, toprak nemi ve evapotranspirasyonu hücre bazında hesaplayarak yüzeysel akışları tahmin eden basit bir model geliştirmişlerdir. CBS ile alansal dağılımlı model parametreleri kullanılarak Struma Nehri havzasındaki aylık akışlar 1961-1990 dönemi için modellenmiştir (Knight ve diğer., 2001).

Manoj ve arkadaşları (2004) "CBS Tabanlı Yayılı Yağış-Akış Modeli'' isimli çalışmalarında, hücresel bazlı bir yağış-akış modelinde sayısal yükseklik modeli aracılığıyla elde edilen eğim, hakim eğim yönü, uydu görüntülerinden elde edilen arazi kullanımı ve toprak bilgilerini kullanarak yayılı bir yağış-akış modeli geliştirmişlerdir. Modeldeki hücresel bazlı sızma Philip modeli ile hesaplanmış, yüzeysel akış ötelemeleri ise St Venant denklemlerinin difüzyon dalga yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir (Manoj ve diğer., 2004).

Benzaghta ve Mohamed (2008) ‘‘CBS ile Entegre Edilmiş Yağış-Akış Modeli: Genel Bakış’’ isimli çalışmalarında, yağış-akış ilişkisini CBS ile entegre bir biçimde tanımlamışlardır. Havza sınırlarının belirlenmesi ve arazi kullanımı gibi alansal değişen model parametrelerini CBS araçlarıyla tanımlamışlardır. Elde edilen yayılı model çıktılarının ortalanmış modele kıyasla daha tutarlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, CBS'nin model sonuçlarının sunum görselliğini arttırdığını, CBS sayesinde sonuçların yorumlamasının daha kolay ve anlaşılır olduğunu ve dolayısıyla karar vericilere büyük kolaylıklar sağlayacağını belirtmişlerdir (Benzaghta ve Mohamed, 2008).

Shereif, H. Mahmoud (2014) ‘‘Mısır için CBS ve Uzaktan Algılama Entegrasyonu ile Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi’’ isimli çalışmasında Mısır'ın toprak özellikleri, arazi kullanımı ve bitki örtüsü ile eğim haritasını CBS ortamında elde ederek, potansiyel akış katsayısını ve akış hacmini belirlemeyi amaçlamıştır. Potansiyel akış katsayısının tahminini CBS ortamında arazi özelliklerinden yararlanarak gerçekleştirmiş, yıllık akış derinliğini her bir pixel için akış katsayısına bağlı olarak hesaplamıştır. Bu modelin, güvenilir yağış ölçümlerine ulaşılamadığı durumlarda alansal yağış dağılımının tahmininde kullanılabileceğini belirtmiştir (Shereif, 2014).

Yüce ve Kilis (2015) ‘‘Kızılırmak Havzası Yağış-Akış İlişkisinin Belirlenmesi’’ isimli çalışmada, alt havzalarda elde ettikleri yağış-akış katsayısıları ile Kızılırmak Havzası akış katsayısını kıyaslamışlardır. Bunun için, Kızılırmak Nehri havza sınırlarını Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ni ArcHydro ile oluşturmuşlardır. Her bir havzanın yağış-akış ilişkisini grafiklerle tanılamışlardır. Çalışmada baraj mansabında yer alan akım istasyonları için elde edilen grafiklerin doğru ve güvenilir olmadığı sonucuna ulaşmışlardır (Yüce ve Kilis, 2015).

Grid (hücre) çözünürlüğünün yağış-akış modellerine etkisinin incelendiği önemli bir çalışma da Chee-Loong Wong ve arkadaşları (2018) tarafından gerçekleştirilen Grid Tabanlı Akış Modellemesinde Topoğrafik Heterojenitenin Kaba Çözünürlük Üzerine Etkileri: Peninsular Malezya Havzaları için Değerlendirme’’isimli çalışmadır.

Bu çalışmalarında, yaklaşık 5.5 km çözünürlüğe sahip yayılı hidrolojik model ile, topoğrafik heterojenitenin akış üzerindeki etkisini incelemek için Malezya yarımadasındaki 3 nehir üzerinde çalışmışlardır. Basit yayılı hidrolojik model akışlarını yüksek çözünürlüklü grid ölçekte modellemişlerdir. Hidrolojik rejimler, orta ve büyük alanlı nehir havzaları, kıtalar veya küresel kara kütlesi temelinde değerlendirilmiştir. 1999-2004 yıllarınıkapsayan günlük akımları esas alarak Peninsular Malezya Havzası akımlarını modellemişlerdir (Chee-Loong Wong ve diğer., 2018)

3.2 Kavramsal Aylık Yağış-Akış Modelinin Yapısı

Tez kapsamında geliştirilen kavramsal aylık yağış-akış modeli, ortalanmış yapıda ve basit bir su bütçesi esasına dayanmaktadır (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite ve Mather, 1955; 1957; Mimikou, 1991). Bu model, aylık toplam yağış (P) ve aylık ortalama sıcaklıktan (T) elde edilen potansiyel evapotranspirasyon (ET_{pot}) değerlerinin kullanılmasıyla akış, gerçek evapotranspirasyon, sızma, zemin nemi ve havza çıkışındaki yüzeysel akış, yüzey altı akışı ve yer altı suyu akış bileşenlerini modelleyen, 5 parametreye sahip bir modeldir.

5 parametreli aylık yağış-akış modelinin kavramsal akış diyagramı Şekil 3.1'de verilmektedir.

Modelde;

α : Bir havza yüzeyine düşen yağışın ne kadarının doğrudan yüzeysel akışa geçtiğini belirlemede kulanılan yüzeysel akış parametresi,

β : Yüzey altı depolamasından ne kadarlık bir kısmın yüzeysel akışa geçtiğini belirlemede kullanılan yüzey altı akış parametresi,

γ : Yer altı suyu depolamasının ne kadarlık bir kısmının yüzeysel akışı beslediğini belirlerken kullanılan yer altı akış parametresi,

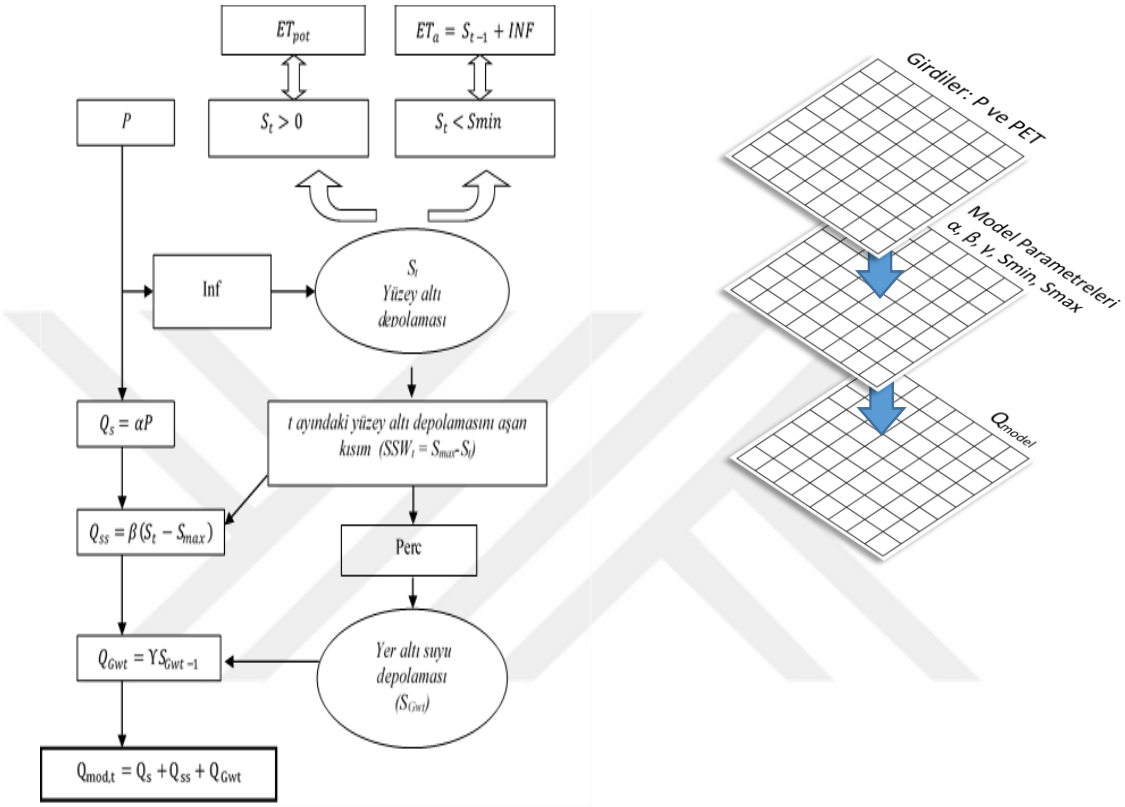
S_{max}: Zeminin maksimum yüzey altı depolamasını ifade eden zemin parametresi,

S_{min}: Zeminin mininmum yüzey altı depolamasını ifade eden zemin parametresi,

S_{t-1}: Bir önceki ayın yüzey altı depolama miktarı (mm),

S_{GWt-1}: Bir önceki ayın yer altı suyu depolama miktarı (mm),

olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.1 5 Parametreli aylık yağış-akış modeli akış diyagramı (Fıstıkoğlu, 1999; 2001)

Havza üzerine düşen aylık toplam yağış (P), α katsayısına bağlı olarak αP kadar olan kısım yüzeysel akışa geçmektedir (Denklem 3.1).

$$Q_s = \alpha P \tag{3.1}$$

Yüzeysel akışa geçen kısımdan geriye kalan kısım sızma ile zemin nemine katılmaktadır (Denklem 3.2).

$$INF = (1 - \alpha)P \tag{3.2}$$

Sızma ve potansiyel evapotranspirasyon gerçekleştikten sonra genel süreklilik denklemine göre zemin nemi Denklem 3.3'teki gibi ifade edilmektedir.

$$S_t = S_{t-1} + INF - ET_{pot} \quad (3.3)$$

Aylık toplam evapotranspirasyon (ET_{pot}), yüzeysel akış çıkarıldıktan sonra kalan akış ile karşılaştırılır; eğer yeterli akış varsa evapotranspirasyon buradan karşılanır; geri kalan kısım yüzey altı depolamasına geçer. Böylece elde edilen evapotranspirasyon değeri, o ayın toplam potansiyel evapotranspirasyonuna eşittir. Eğer ET_{pot} değeri, akıştan büyük ise aradaki fark bir önceki ayın zemin neminden (yüzey altı depolaması) çekilir. Bu durumda o ayın toplam potansiyel evapotranspirasyon ihtiyacının karşılanıp karşılanmadığı kontrol edilir, yeterli zemin nemi yoksa gerçek evapotranspirasyon (ET_a) ortaya çıkar (Denklem 3.4.a ve 3.4.b).

$$S_t = S_{t-1} + INF - ET_{pot} < 0 \ (S_t < S_{min}) \ \text{ise} \ ET_a = S_{t-1} + INF \quad (3.4.a)$$

$$S_t = S_{t-1} + INF - ET_{pot} < 0 \ (S_t > 0) \ \text{ise} \ ET_a = ET_{pot} \quad (3.4.b)$$

Yüzey altı depolamasının maksimum değeri ve model parametresi olan S_{max} değerinin aşıldığı durumlarda ($S_t > S_{max}$), aşan miktardan bir kısım β parametresine bağlı olarak yüzeysel akışı besler (Denklem 3.5).

$$Q_{ss} = \beta (S_t - S_{max}) \quad (3.5)$$

Geriye kalan (1-β) kadar olan kısım da yer altı suyu depolamasına geçmektedir. Buna aynı zamanda perkolasyon denir (Denklem 3.6).

$$Perc = (1 - \beta)(S_t - S_{max}) \quad (3.6)$$

Yüzeysel akışın yer altı suyundan beslenen kısmı, γ katsayısına bağlı olarak bir önceki ayın yer altı suyu depolamasından elde edilir (Denklem 3.7).

$$Q_{Gwt} = \gamma S_{Gwt-1} \quad (3.7)$$

Aktif yer altı suyu depolaması, o ayın perkolasyon (Perc) ve bir önceki aydan kalan yer altı suyu miktarı toplamıyla belirlenebilir. Süreklilik denklemine göre, herhangi bir aydaki aktif yer altı suyu depolaması Denklem 3.8'deki gibi ifade edilmektedir.

$$S_{Gwt} = (S_{Gwt-1} + Perc) - Q_{Gwt} \quad (3.8)$$

Dolayısıyla herhangi bir t ayındaki yüzeysel akış Denklem (3.9)'dan;

$$Q_{mod,t} = \alpha P_t + \beta(SSW_t) + \gamma S_{Gwt-1} \quad (3.9)$$

hesaplanmaktadır.

Uygulama havzasının potansiyel evapotranspirasyon değerleri aylık ortalama sıcaklık ile atmosfer dışı radyasyon değerlerine dayanan Hargreaves metodu ile (Hargreaves ve Samani, 1985) hesaplanmıştır. Bu yönteme göre potansiyel evapotranspirasyon;

$$E_{pot} = \alpha * R_a * (T_{max} - T_{min})0.5 * (T_{ort} + 17{,}8) \quad (3.10)$$

E_{pot} : Potansiyel evapotranspirasyon (mm/ay)

R_a : Extraterrestrial (atmosfer dışı) radyasyon (MJ/m^2/gün)

T_{max} : Aylık maksimum hava sıcaklığı (ºC/ay)

T_{min} : Aylık minimum hava sıcaklığı (ºC/ay)

T_{ort} : Aylık ortalama hava sıcaklığı (ºC/ay)

α : 0,0023

Extraterrestrial (atmosfer dışı) radyasyon (R_a); atmosferin en üst yüzeyine ulaşan solar radyasyondur. Mevsim değişikliklerine, güneşin pozisyonuna ve günlerin uzunluğuna bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Bulunan yerin enlem ve gün sayısına göre R_a;

$$\mathrm{Ra} = 24 * \frac{60}{\pi} * \mathrm{Gsc} * \mathrm{dr} * [\mathrm{ws} * \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \sin(\mathrm{ws})] \quad (3.11)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

G_{sc} : Solar sabit (0,0820MJ/m²*dk)
d_r : Güneş ile dünya arasındaki ters göreceli uzaklık
w_s : Günbatımı saati açısı (rad.)
φ : Enlem (rad.)
δ : Solar desimal
j : Günlere bağlı değer (1-365)

φ (radyan) = $\pi/180$ (desimal derece)
$d_r = 1+0,033*\cos(2\pi/365*j)$
$\delta = 0,409* \sin(2\pi/365*j-1,39)$
$w_s = \arccos[-\tan(\varphi)*\tan(\delta)]$

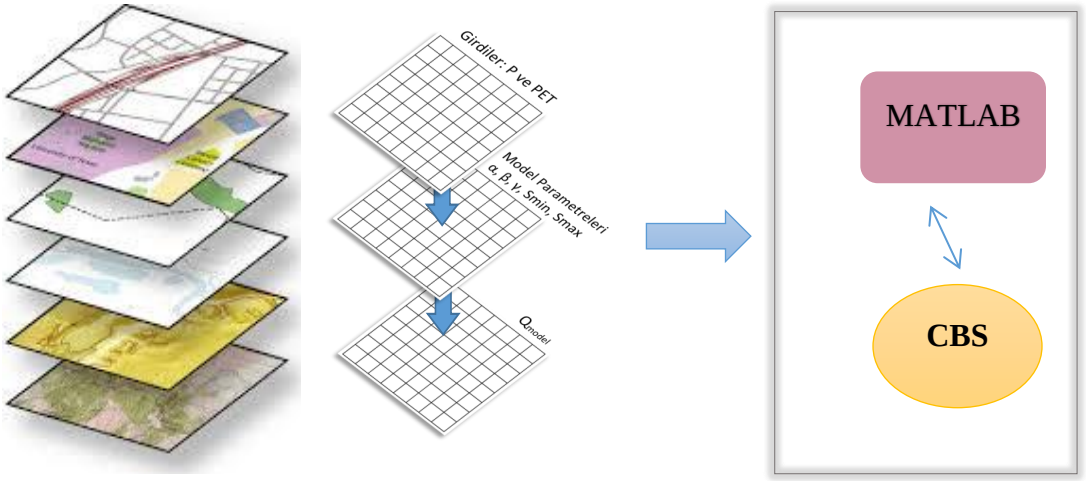
şeklindeki denklemlerle ifade edilmektedir.

3.3 Modelin CBS Bazlı Tasarımı ve Matlab ile Entegrasyonu

Bölüm 3.2'de detayları verilen kavramsal aylık yağış-akış modeli, ortalanmış ve sürekli bir yapıdadır. Ortalanmış modellerde, modelin girdi ve parametreleri havzanın alansal ortalama değerleri ile hesaplanır. Fakat, gerçekte model girdileri ve parametreleri alansal bazlı bir dağılım göstermektedirler. Örneğin, modelin girdisi olan yağış, zamana ve alana bağlı olarak değişmektedir. Yüzeysel akış ve sızmayı etkileyen model parametreleri de arazi örtüsü, toprak yapısı ve jeolojik formasyonlara bağlı olarak alansal bazlı değişim göstermektedir.

Model sonuçlarının iyileştirilmesinde, havzanın fiziksel özelliklerinin alansal değişkenliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile incelenmesi modelcilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Singh ve Fiorentino, 1996). CBS sayesinde yağış, sızma, evapotranspirasyon gibi alansal bazlı dağılım gösteren hidrolojik süreçlerin mekansal boyutları incelenebilmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde hidrolojik süreçlere ait veriler ya da parametreler genellikle hücresel (raster) yapıda tanımlanmaktadır. Böylece, havza boyunca oluşan hidrolojik unsurlar matris formda hücresel elemanlarla ifade edilebilmektedir. Yağışın alansal dağılımı, sızmadaki parametrenin alansal dağılımı gibi tüm hidrolojik parametrelerin alansal dağılımları iki boyutlu matrislerle ifade edilebilir (Şekil 3.2). Matris formda oluşturulan hidrolojik verilerin ve parametrelerin, hidrolojik modelde kullanılabilmesi için modelin matris işlemleri gerçekleştirebilir bir formda yazılması gerekmektedir. Matris işlemler, matrislerin boyutları arttıkça yoğun bellek ve işlemci kullanımı gerektirmektedir. Bu nedenle matris işlemleri CBS üzerinde değil de bellek ve işlemciyi etkin kullanan Matlab gibi yazılımlar üzerinde gerçekleştirilmesi, modelin çalışma süresininin kısaltması açısından tercih edilmektedir. Bu nedenle sunulan tez kapsamında model verileri ve parametreleri ArcGIS CBS ortamında hazırlanmış, hidrolojik model ise bu verileri okuyup, akımları türetebilen Matlab ortamında çalıştırılmıştır. Bu itibarla Matlab ortamında geliştirilen hidrolojik model CBS dosyalarını okuyup, aynı formatta sonuçlar üretebilmektedir. Dolayısıyla model sonuçlarının CBS ortamında görüntülenmesi de mümkün olmaktadır.

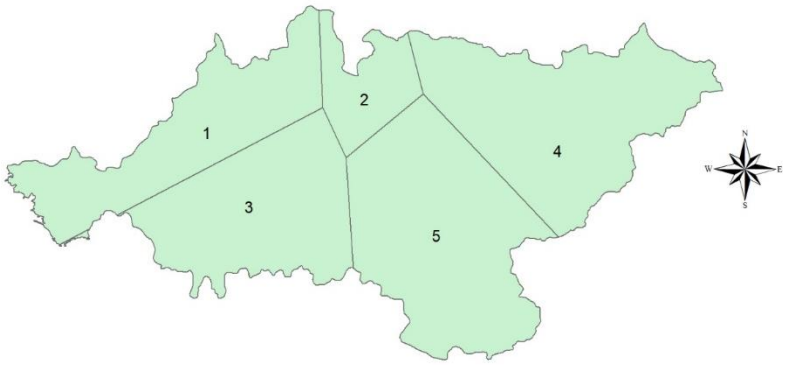
Şekil 3.2'de CBS ortamında hazırlanmış model verilerinin ve parametrelerinin Matlab ortamına aktarılması ve Matlab ortamındaki hidrolojik modelin işleyişine ait akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.2 Modelin çalıştırılmasına ilişkin akış diyagramı

3.4 Model Verilerinin ve Parametrelerinin CBS Tabanlı Hazırlanması

Modelin girdileri aylık yağış ve evapotranspirasyondur. Yağış verilerinin ülkemizde ölçümü DSİ ve DMİ tarafından gerçekleştirilmektedir. İstasyon bazlı olarak meteorolojik parametreler halinde elde edilen yağış ile bu parametrelere bağlı olarak hesaplanan evapotranspirasyon değerleri noktasal karakter özelliği taşımaktadırlar. Bu noktasal bazlı veriler, alansal dağılımlı hale getirilirken Thiessen poligonları yönteminden yararlanılmaktadır (Chow ve diğer., 1988). Thiessen poligonları yöntemi geometrik bir yöntem olup, istasyona ait değerleri istasyonun temsil alanı boyunca dağıtmaktadır. ArcGIS CBS yazılımının Spatial Analyst Toolbox'ında yer alan Thiessen komutu ile thiessen poligonları kolaylıkla hesaplanmaktadır (Shaw ve diğer, 2008). Şekil 3.3'te Thiessen poligonları ile yağışın alansal dağılımının belirlenmesine ilişkin örnek verilmektedir.



Şekil 3.3 Thiessen poligon örneği

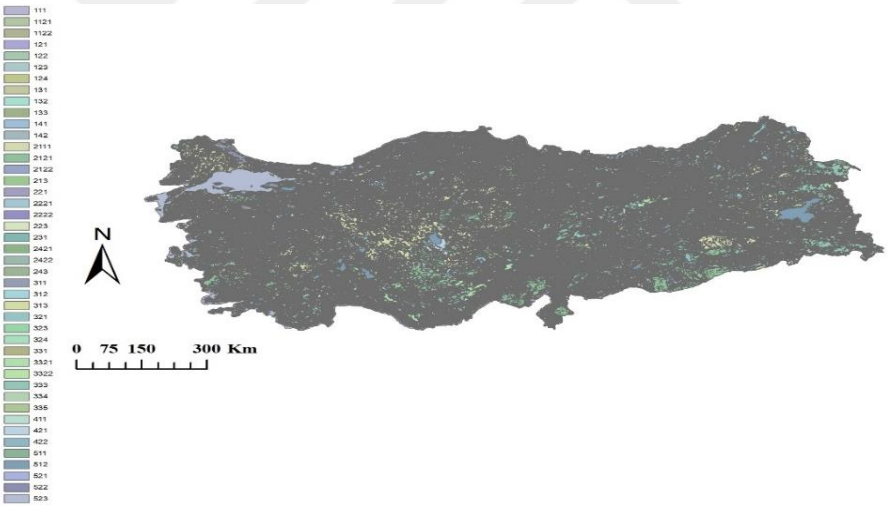
Modelin parametreleri olan α, havzanın arazi kullanımına, β havzanın toprak yapısına, γ ise havzanın jeolojik özelliklerine bağlı olan parametrelerdir. Dolayısıyla bu parametrelerin havzanın arazi kullanımı, toprak yapısı ve jeolojik özelliklerine göre belirlenmesi gerekmektedir. Ülkemizde bu verilerin teminine ilişkin kolay erişimli ve kapsamlı veri tabanları bulunmadığı için küresel veri tabanları araştırılarak veri temini sağlanmıştır.

Arazi örtüsüne ilişkin veri temininde;

CORINE (CORINE, 2012),

GLCF ve GLC-SHARE (FAO, 1992)

gibi küresel veri tabanları araştırılmış ve tez kapsamında CORINE arazi örtüsü veri tabanının kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 3.4'te CORINE veri tabanının mekansal sınırları görülmektedir.



Şekil 3.4 Türkiye'nin CORINE haritası (EEA, 2008)

CORINE arazi kullanım sınıfları kullanılarak, modelin α parametresinin bu arazi sınıflarına bağlı olarak değiştiği kabul edilmiş ve uygulama alanı içindeki her bir arazi kullanımı için farklı α değerleri atanmıştır. Şekil 3.5'te CORINE arazi kullanım sınıflarına ilişkin kodlar verilmektedir (EEA, 2008)

Ülkemizin toprak yapısına ilişkin hidrolojik veriler düzenli veritabanları halinde bulunmamaktadır.

1940-1960'lı yıllara dayanan 1/25000 - 1/100000 ölçekli toprak haritaları hazırlanmış olmasına rağmen, bu haritalar içerdikleri belirsizliklerden dolayı yaygın bir biçimde kullanılamamaktadır. Ayrıca bu haritalar resmi makamlarca sayısallaştırılıp, yayınlanmamaktadır (Aküzüm ve diğer, 2010). Bu nedenle çalışma kapsamında küresel toprak veri tabanları araştırılmış ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu (Food and Agriculture Organization of the United Nations) FAO'nun küresel toprak veri tabanından yararlanılmıştır (FAO, 1992) FAO'nun toprak veri tabanında saklanan toprak özelliklerine ilişkin nitelik bilgiler Tablo 3.1'de, Türkiye'ye ilişkin toprak haritası ise Şekil 3.6'da verilmektedir.

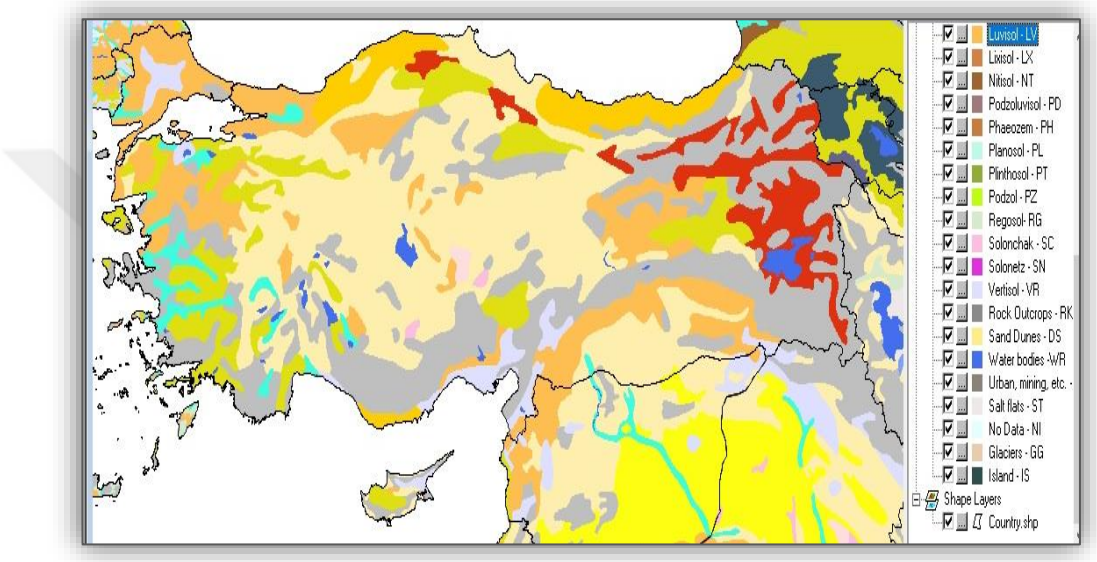
Ülkemize Ait Ek Sınıflar	
Kod	**Sınıf Adı**
1121	Kesikli Şehir Yapısı
1122	Kesikli Kırsal Yapı
2111	Sulanmayan Ekilebilir Alan
2112	Sulanmayan Sera
2121	Sulanan Alan
2122	Sürekli Sulanan Ekilebilir Alan, sera
2221	Sulanmayan Meyve Bahçesi
2222	Sürekli Sulanan Meyve Bahçesi
2421	Sulanmayan Karışık Tarım
2422	Sürekli Sulanan Karışık tarım
3321	Çıplak Kaya
3322	Çok Yukarılarda Çıplak Kaya

1	**Yapay Bölgeler**	**2**	**Tarımsal Alanlar**	**3**	**Orman ve Yarı Doğal Alanlar**	**4**	**Islak Alanlar**
1.1	**Şehir Yapısı**	**2.1**	**Ekilebilir Alanlar**	**3.1**	**Orman**	**4.1**	**Karasal Bataklık**
111	Sürekli Şehir Yapısı	211	Sulanmayan Ekileb.Al	311	Geniş Yapraklı Ormanlar	411	Bataklıklar
112	Kesikli Şehir Yapısı	212	Süreki Sulanan Alanlar	312	İğne Yapraklı Ormanlar	412	Turbalıklar
1.2	**End.Tic.ve Ulaşım Birimleri**	213	Pirinç Tarlaları	313	Karışık Ormanlar	**4.2**	**Denize Yakın Islak Alanlar**
121	Endüstriyel veya Ticari Alanlar	**2.2**	**Süreki Ürünler**	**3.2**	**Maki veya Otsu Bitk**	421	Tuz Bataklığı
122	Karayolları, Demiryolları ve ilg.al	221	Üzüm Bağları	321	Doğal Çayırlıklar	422	Tuzlalar
123	Limanlar	222	Meyve Bahçeleri	322	Fundalıklar	423	Gel-git ile Oluşan Düzlükler
124	Havalanları	223	Zeytinlikler	323	Sklerofil Bitki Örtüsü	**5**	**Su Yapıları**
1.3	**Maden,Boşaltım, İnşaat Sahaları**	**2.3**	**Meralar**	324	Bitki Değişim Alanları	**5.1**	**Karasal Sular**
131	Maden Çıkarım Sahaları	231	Meralar	**3.3**	**Bitki Örtüsü az ya da Olmayan Alanlar**	511	Su Yolları
132	Boşaltım Sahaları	**2.4**	**Karışık Tarım Alanl**	331	Sahil,Kumsal,Kumluk	512	Su Kütleleri
133	İnşaat Sahaları	242	Karışık Tarım Alanları	332	Çıplak Kayalıklar	**5.2**	**Deniz Suları**
1.4	**Yapay Tarımsal Olmayan Yeşil Alan**	243	Doğal Bitki Örtüsü .ile Bulunan Tarım Alanl.	333	Seyrek Bitki Alanları	521	Kıyı Lagünleri
141	Yeşil Şehir Alanları			334	Yanmış Alanlar	522	Nehir Ağızları
142	Spor ve Eğlence Alan					523	Nehir ve Okyanus

Şekil 3.5 CORINE arazi kullanım sınıflarının kodları (EEA, 2008)

Tablo 3.1 Toprak özelliklerine ilişkin nitelik bilgiler

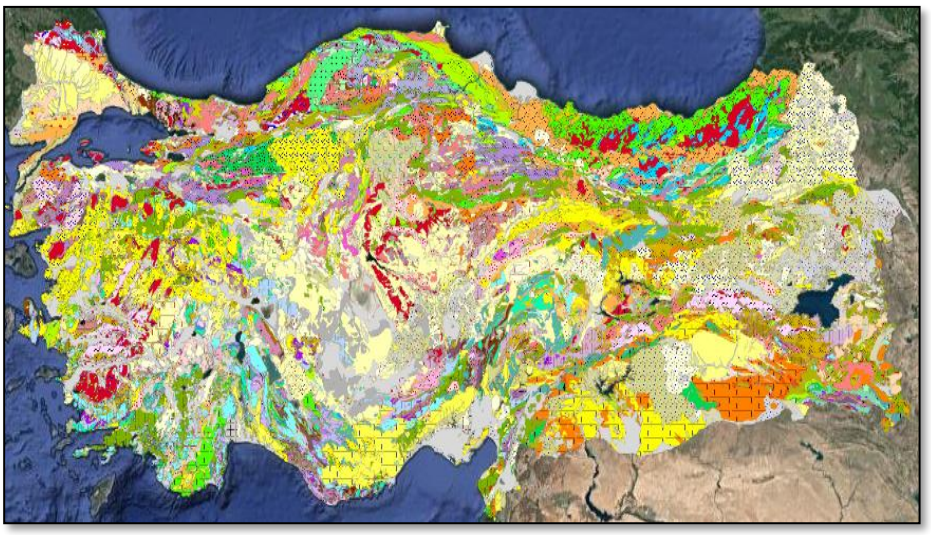
Zonal Topraklar	İntrazonal Topraklar	Azonal Topraklar
Kahverengi Orman Toprakları	Vertisoller	Alüvyal Topraklar
Kırmızı Topraklar(Terra-Rossa)	Tuzlu Topraklar	Kolüvyal Topraklar
Kahverengi Bozkır Toprakları		Regosoller
Kestane Renk. Bozkır Topraklar		
Kara Topraklar(Çernezyomlar)		
Podzoller		



Şekil 3.6 FAO'nun GSD'den alınan Türkiye toprak haritası (FAO, 1992)

Modelin β parametresinin toprak özellikleri ile ilişkilendirilmesinde toprak derinliği, drenaj kabiliyeti ve toprağın % kum, % silt, % kil değerleri dikkate alınmıştır. Derin, geçirimli ve kum %'si yüksek topraklar büyük β ve S_{max} değerlerine sahip iken, sığ, geçirimsiz ve kil içeriği yüksek olan topraklar düşük β ve S_{max} değerlerine sahip olduğu kabul edilmiştir.

Ülkemizde MTA'nın hazırlamış olduğu 1/100000 ölçekli kapsamlı bir jeolojik veri tabanı bulunmaktadır. Şekil 3.7'de Türkiye kapsamında görülen jeolojik harita yardımıyla çalışma bölgesini oluşturan jeolojik formasyonlar incelenmiş ve alüvyon, çatlaklı ve çakıllı kum taşı formasyonları verimli; kil taşı ve marnlar verimsiz; diğer formasyonlar ise orta verimli olarak sınıflandırılmıştır. (MTA, 1988)

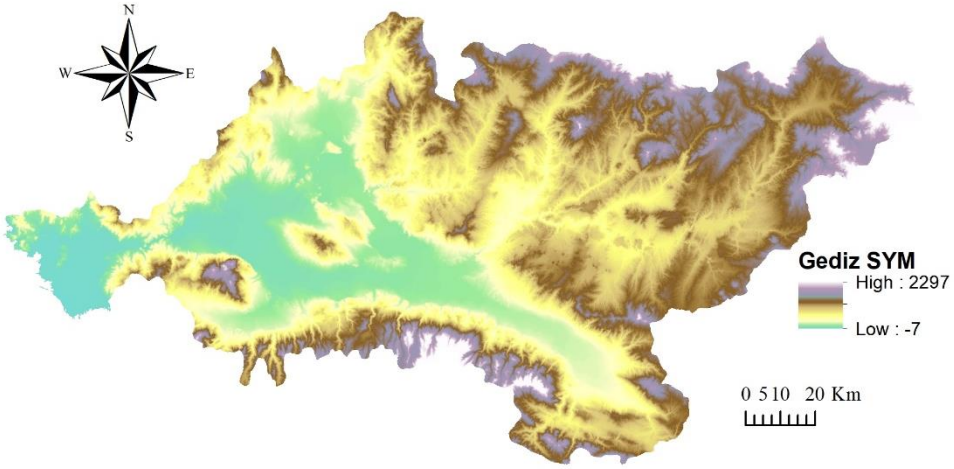


Şekil 3.7 Türkiye jeolojik haritası (MTA, 1988)

Modelin γ parametresi için jeolojik formasyonların verimli, orta verimli ve verimsiz sınıfları dikkate alınarak γ parametrelerinin değerleri belirlenmiştir. Model verileri ve parametreleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı hale dönüştürülürken aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmektedir. Bu adımlar;

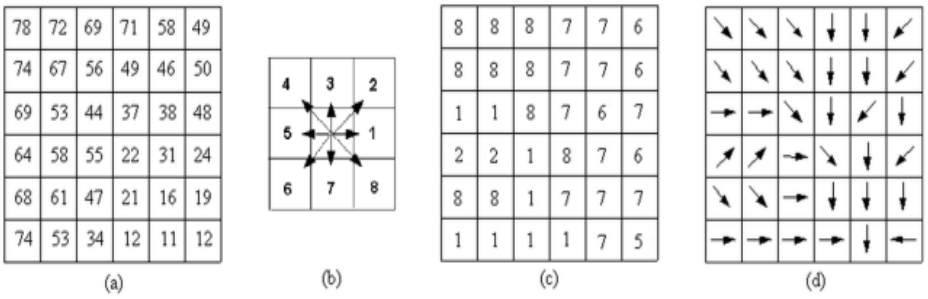
Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), yeryüzünün topoğrafik yüzeyini 3 boyutlu gösteren genel bir veri kaynağıdır. Bir bölgenin yükseklik verileri, eşyükselti eğrili harita biçiminde bulunmaktadır. Bu haritalar ve düzensiz noktalardaki yükseklik değerleri, bilgisayardan sayısal dosyalara aktarılmakta ve bu dosyalar düzenli grid noktalara dönüştürülmektedir. Grid noktaları harita yüzeyini kapsayan kare biçiminde olup, bulundukları koordinatın yükseklik bilgisini içermekte ve grid haritası oluşmaktadır. Böylece yüksekliklerin yatay ve düşey yönde eşit aralıklı matris noktaları şeklinde eld edilebildiği bir model oluşmaktadır (Venkatachalam ve diğer., 2001).

Coğrafi Bilgi Sistemi ile bir havzanın morfolojik özellikleri belirlenirken, SRTM, ASTER gibi uydu görüntülerinden elde edilen SYM kullanılarak havzanın alanı belirlenebilir (Güreşçi ve diğer., 2012)



Şekil 3.8 Bir havza alanının 3 boyutlu SYM verisi

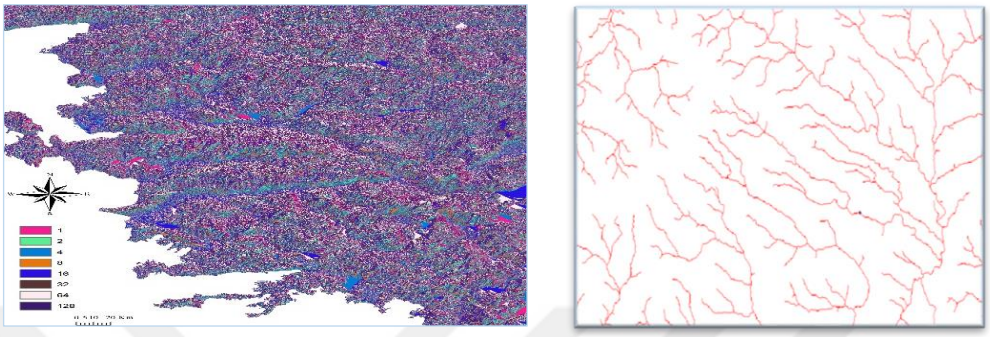
Yükselti hücrelerinden havza sınırları ve akarsu ağı şu şekilde belirlenebilmektedir; (Smemoe, 1997) Sayısal Yükseklik Modeli'ne bağlı olarak hidrolojide su yolları ve sediment taşınım hareketleri hesaplanırken akış yönleri kullanılır (Tarboton, 1997). SYM üzerinde her bir grid hücresi bir yükseklik değerine karşılık gelmektedir. Bir hücredeki akış yükseklik değeri düşük olan komşu hücrelerden sadece birine doğru gerçekleşir.



Şekil 3.9 Hücre yükseltileri ve akış yönünün gösterimi

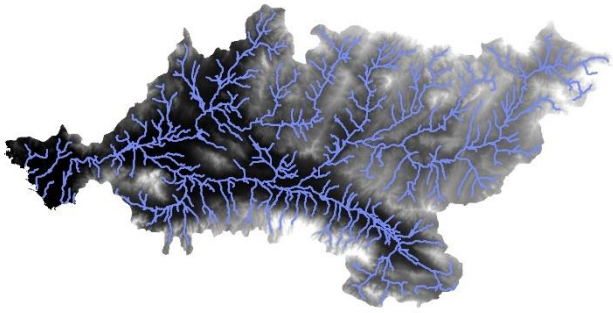
Belirli bir kot değerindeki yükselti hücresi (Şekil 3.9- a), çevresindeki komşu hücrelerin kotlarına bağlı olarak akış yönünü belirlemektedir (Şekil 3.9- b). Yükselti hücresi akış yönü, her hücre için Şekil 3.9 (b)'deki 8 yönden birisidir. Her hücrenin akış yönü çevresindeki 8 komşu hücrenin kotlarına bakılarak, Şekil 3.9 (d)'de verilen örnek akış yönü dağılımları meydana gelmektedir (Santini ve diğer., 2006).

Akış toplanma hücreleri, akış yönü hücrelerinin akışın olduğu yönde kümülatif toplanmasıyla oluşmaktadır. Akış toplama hücreleri, bir hücreyi beslemekte bu hücreyle bağlantılı diğer hücreleri de kapsamakta ve havzanın en yoğun akım ağını temsil etmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Akış toplanma hücrelerinin belirlenmesi

Akarsu ağı elde edilirken, minimum akış toplama hücresinin yeri ile çıkış noktası yerinin belirlenmesiyle havzanın akarsu ağı elde edilebilmektedir. Minimum akış toplama hücresi, kanal akışının başladığını ifade etmektedir. Bu nokta ile havza çıkış noktası arası akarsu ağını oluşturmaktadır. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11 Akarsu ağının belirlenmesi (ArcGIS 10.1)

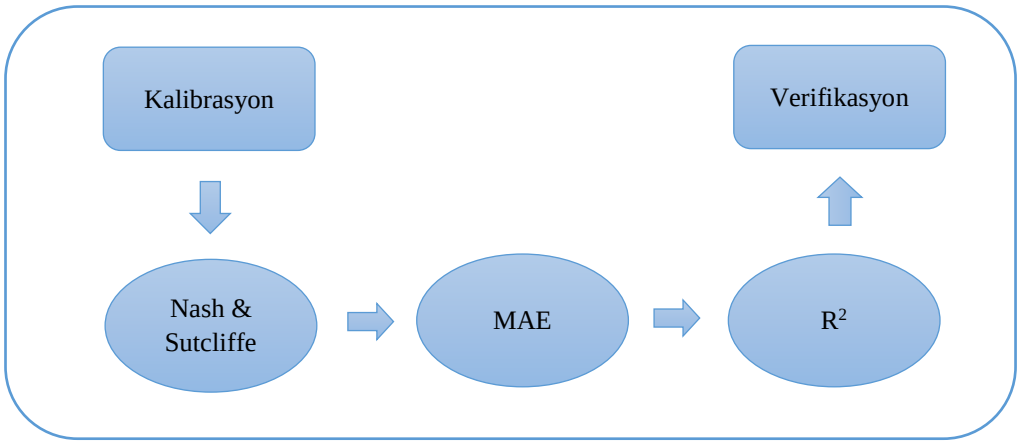
Havzanın büyüklüğü suyun toplanma zamanını etkileyen bir parametredir. Havzanın alanı ne kadar büyük ise, su toplanma zamanı da o kadar uzamaktadır. Havzanın su toplama alanı ve alt havzalar belirlendikten sonra hücresel (raster) havza alanı tamamlanmış olmaktadır.

Havzayı, hücresel (raster) bilgileri vektör (çizgisel) formata dönüştürerek havza sınırlarından ve akarsu akım hücrelerinden yararlanarak, poligonlarla da tanımlamak mümkündür.

3.5 Modelin Kalibrasyon ve Verifikasyonu

Kavramsal hidrolojik modellerin, model parametrelerinin başarısının sayısal olarak doğru bir şekilde değerlendirilmesinde (kalibrasyon), model sonuçları ile gözlemler arasındaki hataları minimum yapan model parametrelerini tespit etmek gerekir. Hataları minimum yapan kalibrasyon kriterleri için literatürde çeşitli önermeler bulunmaktadır Bu kapsamda, determinasyon katsayısı (R^2), Nash & Sutcliffe (NS) katsayısı, hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE), standart sapma, ortalama mutlak hata değeri (MAE) bu önermeler içerisinde yer almaktadır (Moriassi ve diğer., 2007).

Sunulan tez kapsamında incelenen 5 parametreli aylık yağış-akış modeli Nash & Sutcliffe kalibrasyon kriteri esas alınarak kalibre edilmiştir (Nash & Sutcliffe, 1970). Denklem 3.3'te verilen bu kriteri maksimum yapan model parametreleri deneme-yanılma yöntemiyle aranmış ve en uygun model parametreleri kendi içlerinde de tutarlı kalacak şekilde belirlenmiştir. Örneğin, α yüzeysel akış parametresi belirlenirken arazi kullanım dağılımındaki yüzey örtüsü geçirimliden geçirimsize doğru sıralanmış ve α parametrelerine değerler atanırken de bu sıralama göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.12 Model kalibrasyonu akış diyagramı

Nash & Sutcliffe kalibrasyon eşitliği (Nash & Sutcliffe, 1970) kullanılmıştır (Denklem 3.12).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}[Q_{gözlem}(t) - Q_{model}(t)]^2}{\sum_{i=1}^{N}[Q_{gözlem}(t) - \bar{Q}_{gözlem}(t)]^2} \quad (3.12)$$

Burada;

NS : Nash & Sutcliffe kriteri

N : Veri sayısı

$Q_{gözlem}(t)$: Gözlenmiş akımlar (mm/ay)

$Q_{model}(t)$: Model akımları (mm/ay)

$\bar{Q}_{gözlem}(t)$: Gözlenmiş akımların ortalaması (mm/ay)

Model kalibrasyonunda Nash & Sutcliffe kriterine ek olarak model sonuçlarıyla gözlenmiş veriler arasındaki determinasyon katsayısı (R^2) ve ortalama mutlak hata değerleri de (MAE) sınanmıştır (Şekil 3.12).

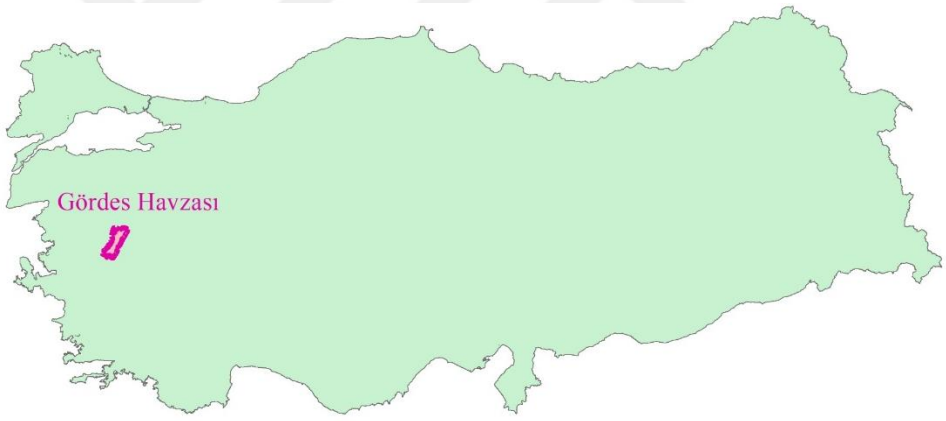
Deneme-yanılma yöntemiyle belirlenen model parametrelerinin uygunluklarının sınanması amacıyla (verifikasyon) model, kalibrasyondan farklı bir döneme ait verilerle tekrar çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiş ve bu döneme ait kalibrasyon kriterleri tekrar hesaplanarak parametrelerin uygunluğu kontrol edilmiştir.

BÖLÜM DÖRT

BEŞ PARAMETRELİ KAVRAMSAL AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİNİN UYGULAMASI

4.1 Uygulama Havzasının Tanıtımı

Geliştirilmiş 5 parametreli kavramsal aylık yağış-akış modeli, Türkiye'nin batısında, Ege Denizi'ne dökülen 276 km uzunluğundaki Gediz Nehri'nin bir alt kolu olan Gördes Havzasında uygulanmıştır. Gördes havzası; Manisa ilinde yer alan, Gördes Çayı'nı besleyen ve 1059 km^2 bir alandan oluşmaktadır. Havzanın ortalama debisi yaklaşık 5.7 m^3/sn'dir. Gördes Havzası ve Türkiye üzerindeki konumu Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Gördes Havzası ve Türkiye üzerindeki konumu

4.1.1 Akış Verileri

Gördes Havzası akımları, DSİ tarafından işletilmekte olan 305 m kotundaki Hacıhıdır (5-28) istasyonu ile gözlenmektedir. Hacıhıdır akım gözlem istasyonu 1962 yılı Ekim ayında gözlemlere başlamış ve 1992 yılına kadar rasatlara devam etmiştir. İstasyonun 1962-1992 yıllık ortalama akımı 173.3 mm/yıl mertebesindedir.

4.1.2 Yağış Verileri

Havza çevresindeki Gördes, Gölmarmara, Demirci ve Köprübaşı meteoroloji istasyonlarının yağış ve sıcaklık kayıtları model girdisi olarak kullanılmıştır. İstayonlara ait temel bilgiler Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1 Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları

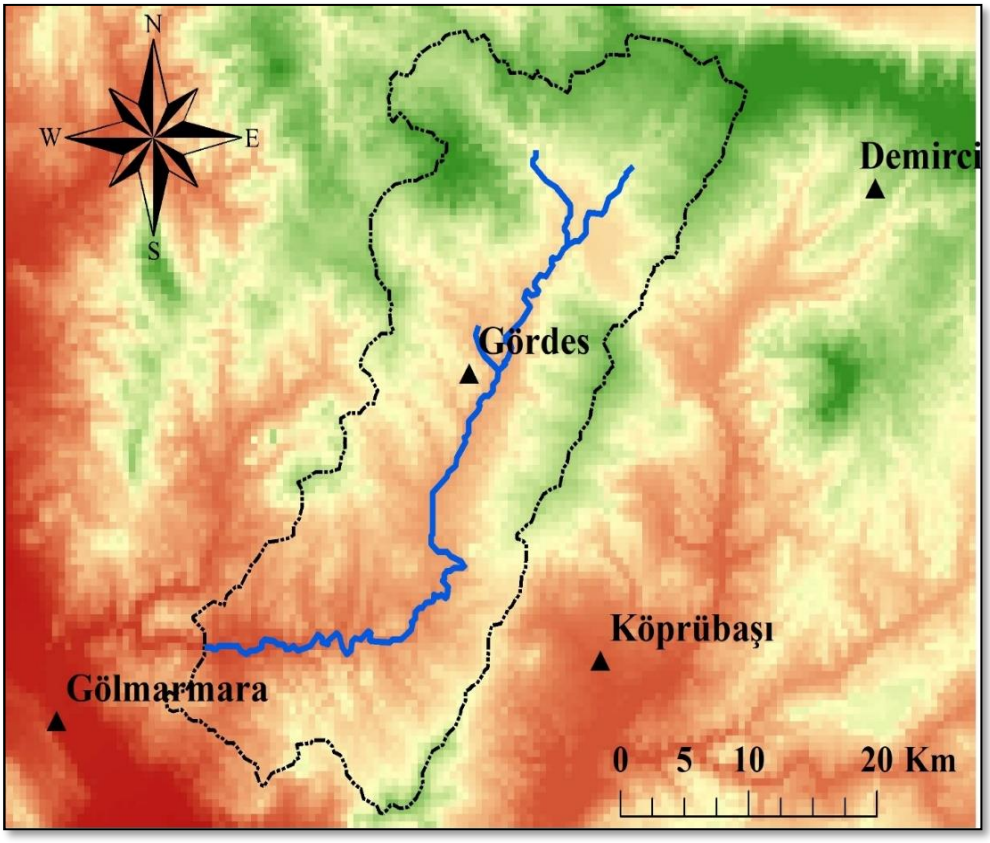
İstasyon Adı	**İstasyon No**	**Kotu(m)**	**Gözlem Aralığı**
Gördes	4930	550	1962-Bugün (Eksikli)
Gölmarmara	5273	150	1961-1991 (Eksikli)
Demirci	17746	750	1960-Bugün (Eksikli)
Köprübaşı	5278	250	1968-Bugün (Eksikli)

Akım gözlemlerinin 1962-1992 yılları arasında bulunması nedeniyle meteoroloji istasyonlarının 1962-1992 yılları arasındaki kayıtları esas alınmış, eksik verilerin bulunduğu aylara ait gözlemler istasyonlar arası korelasyon ve regresyon analizleri ile tamamlanmıştır.

4.2 Coğrafi Verilerin ve Haritaların Hazırlanması

4.2.1 Havzanın Sayısal Yükselti Modeli

Raster formatta çalışan kavramsal model, Gediz Havzası'nın Gördes alt havzasında uygulanmıştır. Gördes Havzasını da kapsayan bölgenin 1/25000 ölçekli sayısal kontur haritası kullanılarak, çalışma alanının 500m x 500m çözünürlüklü sayısal yükselti modeli elde edilmiştir (Şekil 4.2). Söz konusu sayısal yükselti modelinden her bir hücredeki hakim akış yönü (flow direction) ve buna bağlı bölgenin kümülatif akım değerleri (flow accumulation) elde edilerek akarsu ağı belirlenmiştir. Akım ölçüm istasyonunun konumu dikkate alınarak havzanın drenaj sınırları elde edilmiştir. Böylece CBS'nin hidrolojik analizleri sayesinde bölgenin sayısal yükselti modeline dayanan hidromorfolojik (havza sınırı, akarsu ağı) sayısal altlıkları elde edilmiştir.

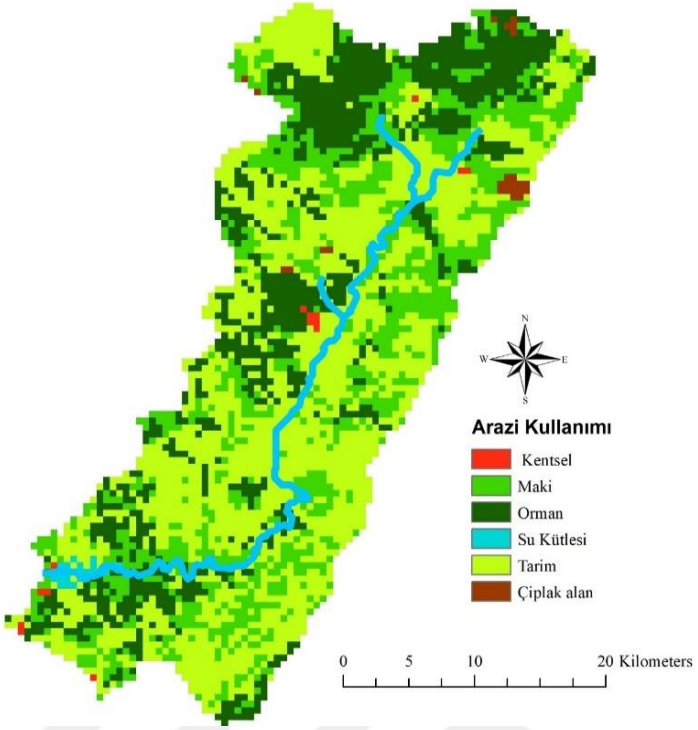


Şekil 4.2 Gördes havzası 500mx500m çözünürlüklü sayısal yükselti modeli

4.2.2 Havzanın Arazi Kullanımı Dağılımı

Modeldeki (α) parametresi havzanın arazi kullanımına bağlı bir parametredir. Bu nedenle, havza arazi kullanımına ait bilgiler CORINE veri tabanından derlenmiştir (CORINE, 2012).

Şekil 4.3'te CORINE veritabanından elde edilen Gördes Havzası'na ait arazi kullanımı dağılımı verilmektedir.

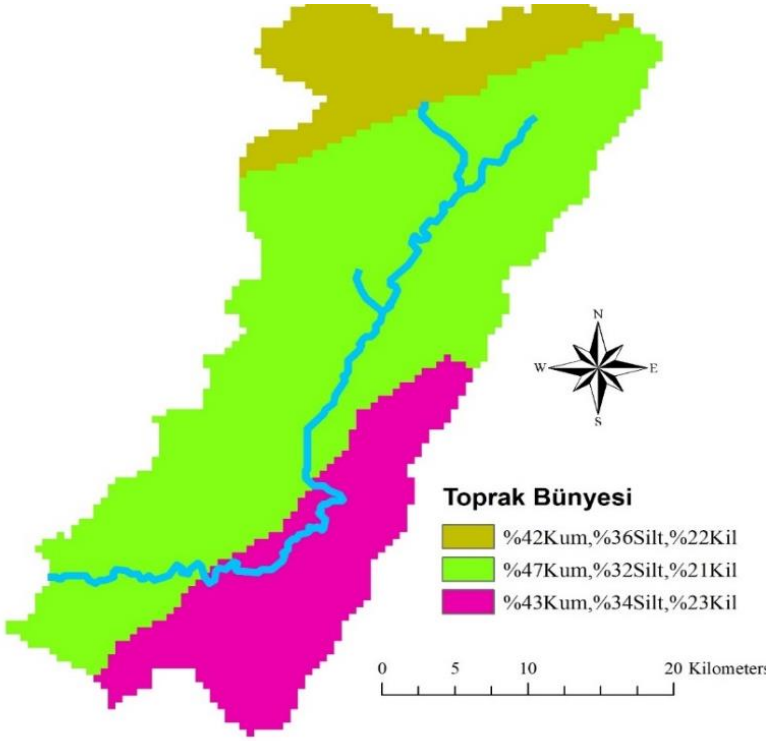


Şekil 4.3 Gördes havzası CORINE arazi sınıfları

4.2.3 Havzanın Toprak Özellikleri

Modeldeki (β) parametresi, havzanın toprak özelliklerine bağlı bir parametredir. Ülkemizde toprak özelliklerine ait bir sayısal veritabanı bulunmadığı için, çalışma alanının toprak özellikleri GSD (Global Soil Database)'den temin edilmiştir (FAO, 1992).

Şekil 4.4'te GSD'den elde edilen toprak özellikleri dağılım haritası yer almaktadır.

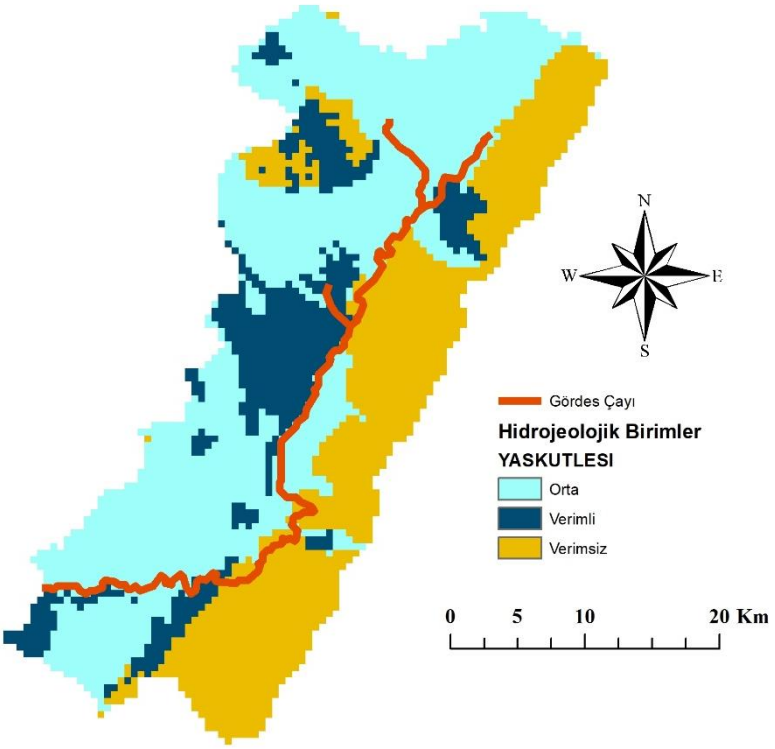


Şekil 4.4 Gördes havzası GSD toprak bünyesi dağılımı

4.2.4 Havzanın Jeolojik Formasyon Dağılımı

Modelin yeraltı suyu depolamasının boşalımını ifade eden γ parametresi ise, havzanın jeolojik formasyonları dikkate alınarak tanımlanmıştır. Çalışma alanına ait jeolojik birimler yer altı suyu açısından incelenmiş ve MTA'nın jeoloji haritası akifer özelliklerine göre yeniden sınıflandırılarak hidrojeolojik formasyonların dağılımları elde edilmiştir (MTA, 1988).

Şekil 4.5'te çalışma alanında yer alan hidrojeolojik birimlerin dağılımı verilmektedir.



Şekil 4.5 Gördes havzası hidrojeolojik birimlerin dağılımı

4.3 Aylık Yağış-Akış Modelinin Kurulması, Kalibrasyon ve Verifikasyon

4.3.1 Modelin Çalıştırılması

Model CBS ile entegre edilmeden önce, model girdisi olan ve istasyon bazlı hesaplanan yağış ve evapotranspirasyon değerleri Thiessen poligonları yöntemi ile alana yayılmıştır. Böylece model girdileri, matris formda zaman serileri halinde saklanmaktadır.

Havzada alansal dağılım gösteren model parametreleri (α, β, γ, S_{min} ve S_{max}) ilgili CBS katmanlarından (arazi kullanımı, toprak yapısı özellikleri ve jeolojik formasyonu) derlenerek hücresel (raster) veri yapısındaki parametre katmanları oluşturulmuştur. α parametresi aylık yağışı yüzeysel akışa dönüştüren parametre olduğu için bu parametre havzanın arazi kullanımı ile ilişkilendirilmiştir.

β, S_{min} ve S_{max} parametreleri ise zemin nemi bölgesine ait parametreler olduğundan havzanın toprak bünyesini ifade eden toprak özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Modelin yer altı suyu depolamasının boşalımını ifade eden γ parametresi ise havzanın jeolojik formasyonları dikkate alınarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak, havzanın arazi kullanımı, toprak yapısı ve hidrojeolojik özellikleri, model parametrelerinin alansal dağılımları belirlenirken ana katmanlar olarak seçilmiş ve model parametreleri bu katmanlara bağlı olarak dikkate alınmıştır. Matris formda tasarlanan model girdileri ve model parametreleri, detayları önceki bölümde verilen Matlab programı ile çalıştırılarak modelin yine matris formdaki hidrolojik süreçleri hesaplaması sağlanmıştır.

4.3.2 Modelin Kalibrasyon ve Verifikasyonu

Kavramsal hidrolojik modellerin kullanımında yaşanan en büyük güçlük, modelin uygulama havzası için doğru model parametrelerinin belirlenmesidir. Model parametrelerinin kalibrasyonu, model çıktı akım değerlerinin gözlenmiş akım değerlerine yeterli derecede yakınlık sağlayan model parametrelerinin bulunması işlemidir. Buradaki önemli olan kısım, model sonuçlarının gözlenmiş akım sonuçlarına yakınlığının ifade ediliş şeklidir. Buna göre çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve hata değerinin minimum hâle getirilmesi için farklı kriterler belirlenmiştir.

Model 1962-1977 yılları arasında önce kalibre edilmiş, bu dönem için belirlenen model parametrelerinin uygunluğu ise 1978-1992 yılları arasındaki gözlemlerle sınanmıştır (verifikasyon). Model kalibrasyonu için havzada kullanılabilecek sadece tek bir akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bu nedenle alansal modelin otomatik kalibrasyonu mümkün değildir. Bu nedenle model, önce havzanın tek bir hücreden oluştuğu düşünülerek kalibre edilmiş (ortalanmış model) ve model parametrelerinin alansal ortalama değerleri hesaplanmıştır. Ardından 500mx500m çözünürlüklü alansal dağılımlı parametreler ise, alansal ortalama değer sabit kalacak şekilde manuel olarak değiştirilen parametre değerleri ile deneme-yanılma yöntemiyle belirlenmiştir.

Birçok denemeden sonra elde edilen en iyi model parametreleri Tablo 4.2'de özetlenmektedir.

Model kalibrasyonunda Nash&Sutcliffe kriterini (Denklem 3.3) maksimum yapan parametre kümeleri esas alınmıştır (Nash & Sutcliffe, 1970).

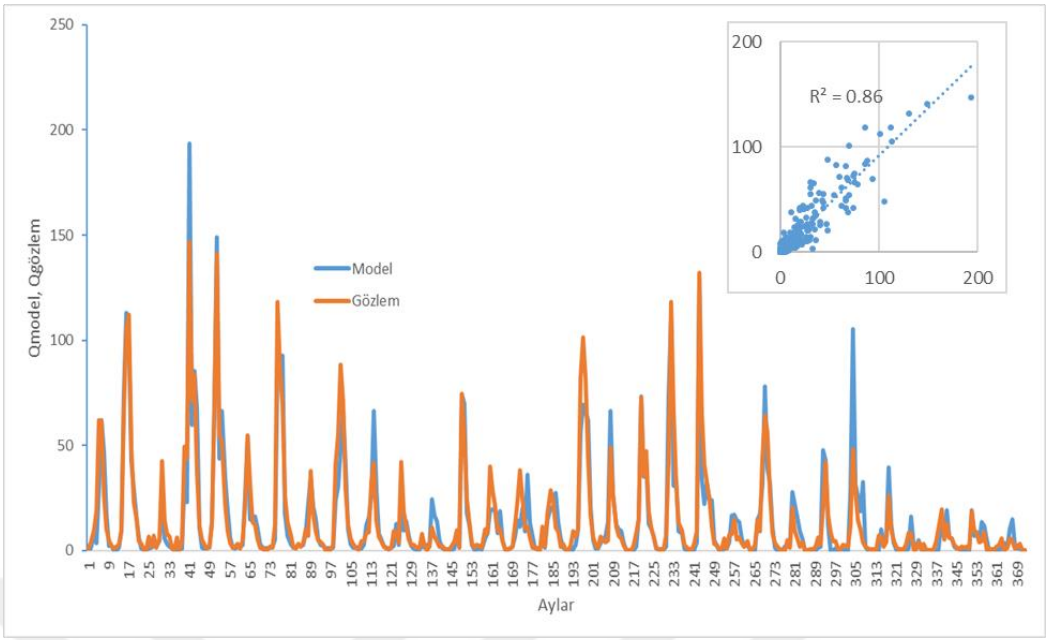
Tablo 4.2 Manuel kalibrasyon ile belirlenen model parametre değerleri

Arazi Kullanımı			**Toprak Bünyesi**			**Jeolojik Formlar**	
α	***Açıklama***		***β / Smin / Smax***	***Açıklama***		***γ***	***Açıklama***
0,38	Kentsel		0,80 / 0,0 / 180	% 42 Kum % 36 Silt % 22 Kil		0,65	Verimli
0,06	Maki		0,55 / 5 / 150	% 47 Kum % 32 Silt % 21 Kil		0,60	Orta
0,05	Orman		0,44 / 15 / 160	% 43 Kum % 34 Silt % 23 Kil		0,42	Verimsiz
0,11	Tarım						
0,15	Çıplak arazi						

Tablo 4.2'de verilen model parametreleri ile çalıştırılan modelin 1962-1992 yılları arasında ürettiği model sonuçlarına ait temel istatistikler Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.3 Temel istatistikler

Dönem	**İstatistikler**	**Gözlem**	**Model**
Kalibrasyon N=186 ay	Ortalama (mm/ay)	16,9	17,5
	Std. Sapma (mm/ay)	27,8	26,8
	NS	**0,88**	
	MAE (mm/ay)	5,51	
	R^2	0,88	
Verifikasyon N=186 ay	Ortalama (mm/ay)	12,0	11,7
	Std. Sapma (mm/ay)	21,0	20,9
	NS	**0,83**	
	MAE (mm/ay)	4,56	
	R^2	0,83	



Şekil 4.6 Gözlenmiş ve modellenmiş akımların gidiş ve saçılım grafikleri (1962-1992)

Tablo 4.1 ve Şekil 4.6'da verilen model sonuçları irdelendiğinde alansal dağılımlı hidrolojik modelin gözlenmiş akımları başarıyla modellediği görülmektedir. Nash & Sutcliffe parametresinin pratik olarak 0,7'den büyük çıkması, ortalama mutlak hatanın (MAE) 4-5 mm civarında olması model sonuçlarının istatistiksel açıdan yeterli doğruluğa ulaştığını göstermektedir (Legates ve McCabe, 1999).

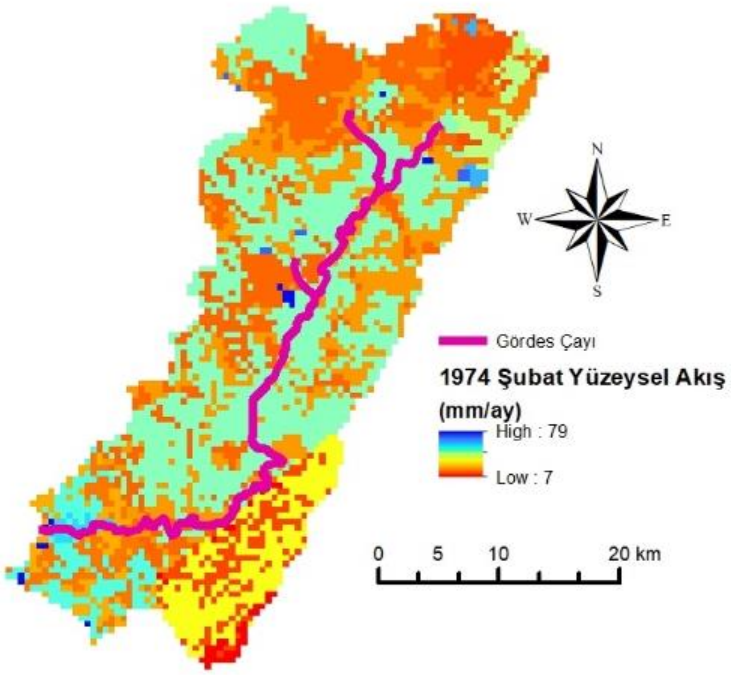
BÖLÜM BEŞ
BULGULAR

5.1 Hidrolojik Süreçlerin Alansal Dağılımları

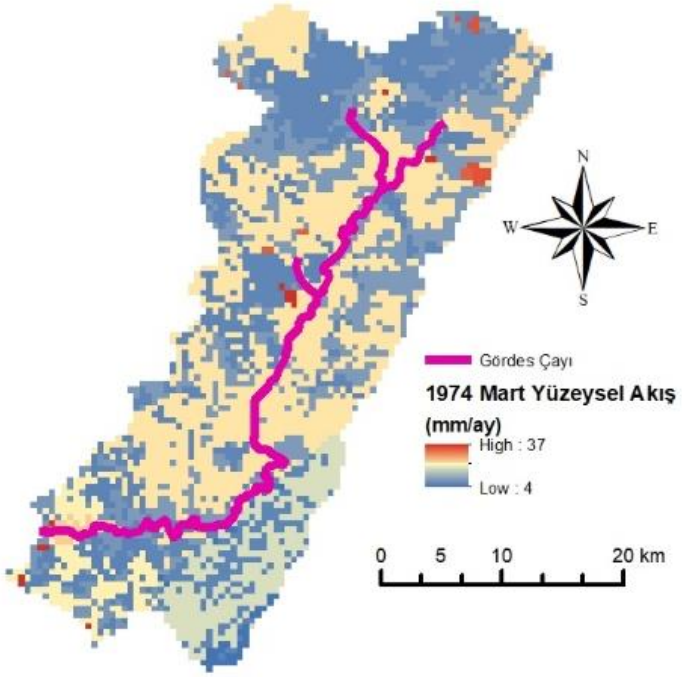
Geliştirilen CBS tabanlı kavramsal aylık yağış-akış modeli, sızma katsayısı (α), derine sızma katsayısı (β), yüzey altı akış katsayısı (γ), maksimum biriktirme katsayısı (S_{max}) ve minimum biriktirme katsayısı (S_{min}) olmak üzere 5 farklı parametreli ortalanmış bir yağış-akış modelidir. İzmir kentinin önemli bir içme suyu kaynağı olan Gördes Çayı üzerinde kurulan Gördes Baraj akımlarının modellenmesinde kullanılmıştır. Model CBS tabanlı hâle dönüştürüldüğünde Gördes Havzası'na ilişkin hidrolojik süreçlerin alansal dağılımları zaman boyutuyla elde edilebilmektedir. Modelde hem model girdileri hem de model parametreleri hücresel (raster) katmanlar halinde tanımlanmış ve model her bir hücre için çalıştırılarak sonuçların raster formatta elde edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen modelde yüzeysel akış, yüzey altı ve yer altı akış bileşenlerini herhangi bir ay için elde etmek mümkün olabildiği gibi 1962-1992 yılları arasında gerçekleştirilen uzun döneme ait ortalama sonuçların da alınması mümkündür.

Şekil 5.1'de Gördes Havzası'nda 1974 yılının Şubat ayında gözlenmiş yağış değerleri altında oluşan yüzeysel akış dağılımı haritası verilmektedir. Haritada kentsel bölgelerde yüzeysel akışın tarımsal alanlara kıyasla çok daha yüksek değerlerde seyrettiği, güney bölgedeki yağışların fazlalığı nedeniyle bu bölgelerdeki tarım alanlarındaki yüzeysel akışın orta bölgedeki tarımsal alanlarda gerçekleşen yüzeysel akışa kıyasla çok daha yüksek değerlerde seyrettiği görülmektedir.

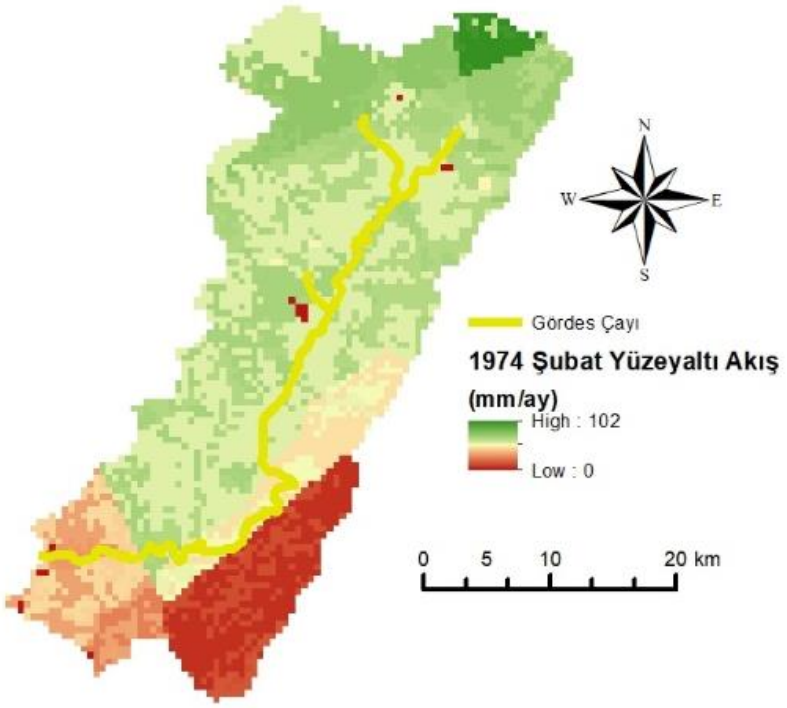
Benzer şekilde, havzanın Mart 1974 yüzeysel akış dağılımına bakılacak olursa (Şekil 5.2) havzanın güneyi orta ve kuzey kesimlere kıyasla daha düşük yağışa sahip olduğu için, bu bölgelerdeki yüzeysel akış bileşeninin bir önceki ayın aksine, orta kesimden daha düşük aylık yüzeysel akış bileşenlerine sahip olduğu görülmektedir.



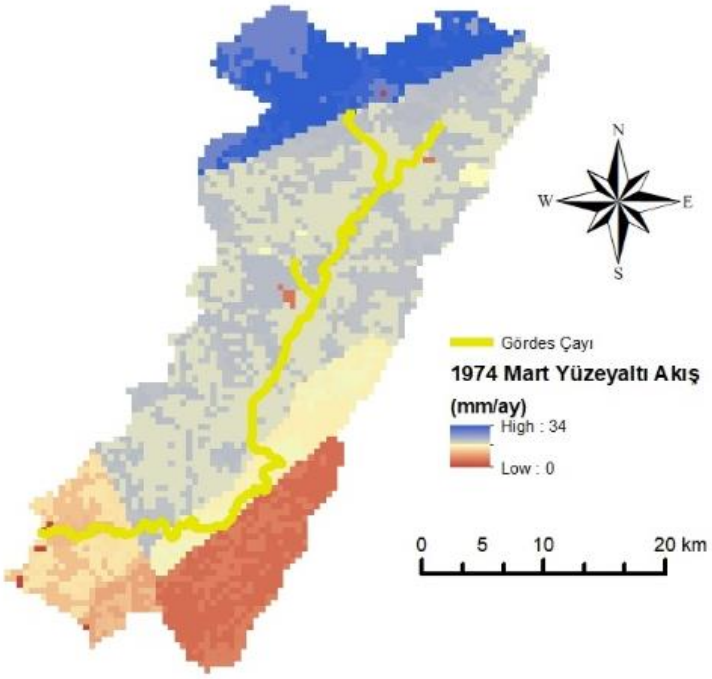
Şekil 5.1 Şubat, 1974 yüzeysel akış dağılımı



Şekil 5.2 Mart, 1974 yüzeysel akış dağılımı



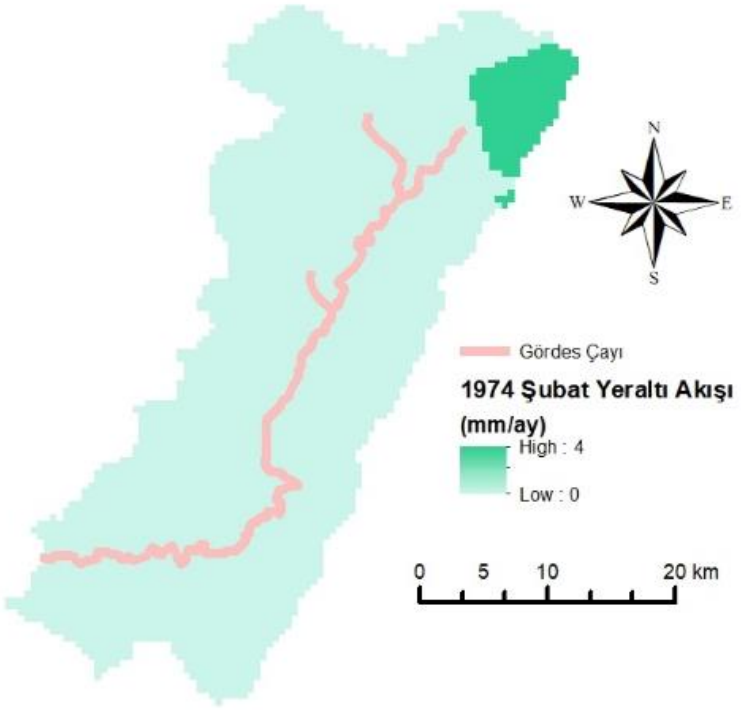
Şekil 5.3 Şubat, 1974 yüzey altı akış dağılımı



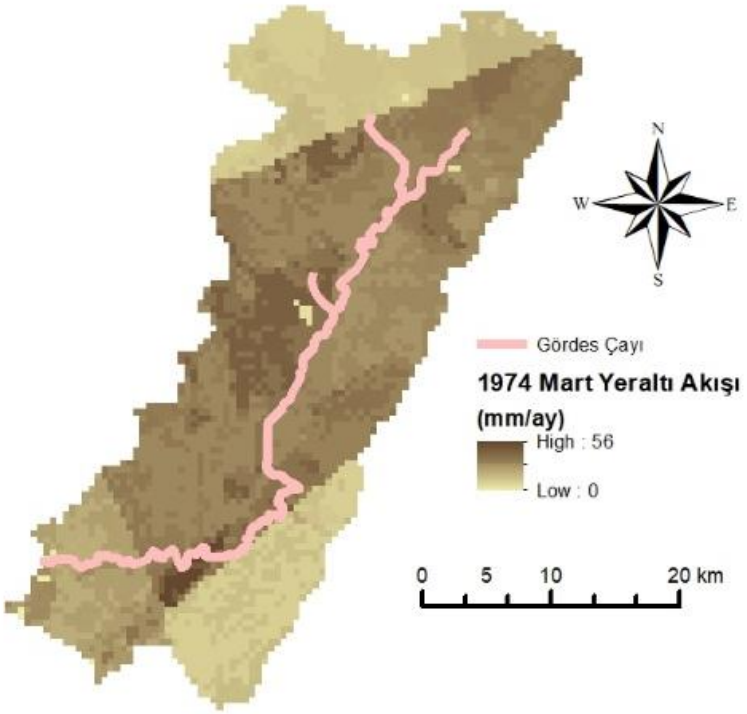
Şekil 5.4 Mart, 1974 yüzey altı akış dağılımı

Havzanın aynı aylara ait yüzey altı akış bileşenleri incelendiğinde, havzadaki zemin paterninin yüzey altı akışlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, arazi kullanımına bağlı ortaya çıkan sızma değerlerinin de yüzey altı akış değerleri üzerinde etkili olduğu, aylık yağış dağılımının da yüzey altı akışını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir (Şekil 5.3 ve 5.4). Her iki şekilde de kum yüzdesi yüksek olan bölgelerde yüzey altı akışının, killi ve siltli bölgelere kıyasla yüksek olduğu görülmektedir.

Havzada yer altı akışı, bölgenin jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 5.5 ve 5.6'da verilen 1974 yılının Şubat ve Mart aylarına ilişkin yer altı akış dağılımları incelendiğinde, Şubat ayındaki perkolasyonun Gördes, Gölmarmara ve Köprübaşı istasyon bölgelerindeki yer altı akiferini henüz besleyemediği görülmektedir. Bu nedenle, bu bölgelerde yer altı akış bileşeni yok denecek kadar azdır. Ancak, Demirci bölgesindeki perkolasyon yer altı akiferini yeterince beslediği için yer altı akış bileşeninin oluştuğu görülmektedir.



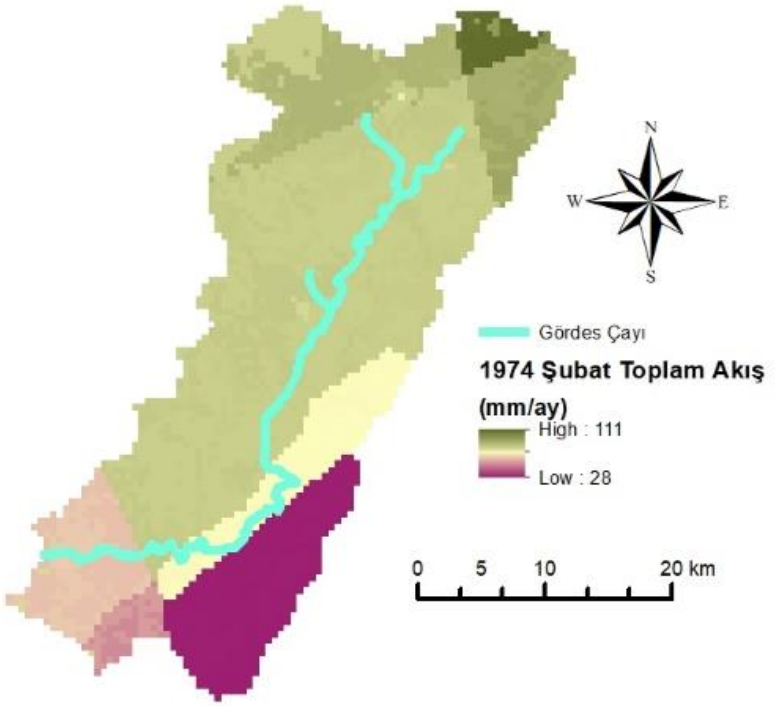
Şekil 5.5 Şubat, 1974 yer altı akış dağılımı



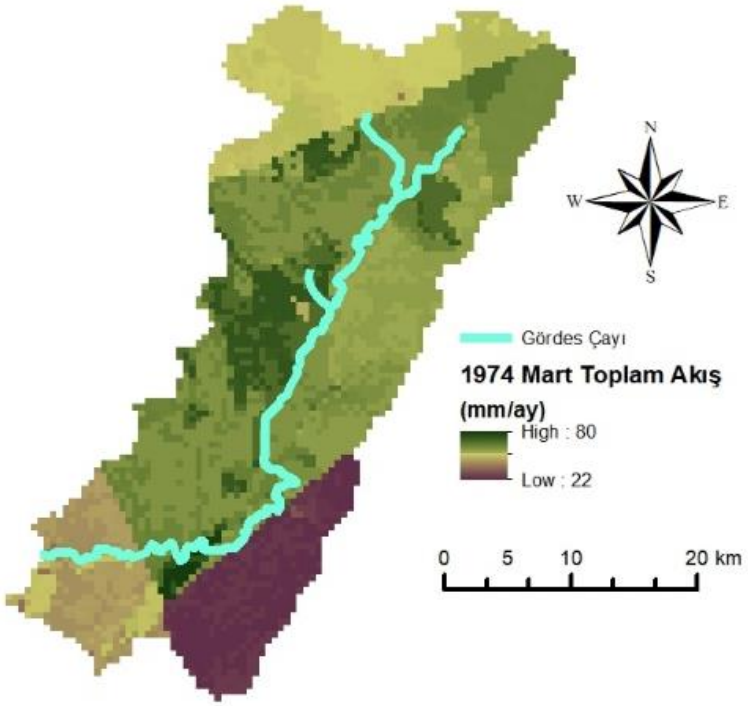
Şekil 5.6 Mart, 1974 yer altı akış dağılımı

1974 yılının Mart ayındaki yeraltı akışı dağılım haritasına bakıldığında ise, Gördes, Gölmarmara, Demirci ve Köprübaşı meteoroloji istasyonlarında gözlenen Şubat yağışlarının perkole olarak yer altı akiferlerini beslediği ve bunun sonucunda Mart ayında yeraltı akışında gözle görülür bir artışın olduğu görülmektedir.

Yüzeysel, yüzey altı ve yer altı akış bileşenleri toplamı olan toplam akış dağılım haritaları incelendiğinde (Şekil 5.7 ve 5.8) 1974 yılının Şubat ayının toplam akış dağılımının havzanın toprak özelliklerine ve yağış dağılımına bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. 1974 yılının Mart ayı toplam akımlarında ise, toprak özelliklerinin etkisinin yanında özellikle orta kesimdeki arazi kullanımlarının toplam akış üzerinde etkili olduğu izlenmektedir.



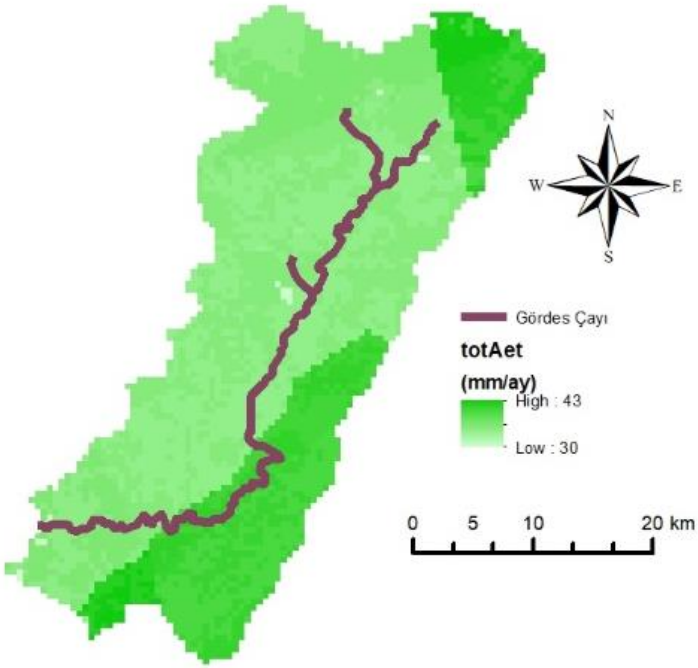
Şekil 5.7 Şubat, 1974 toplam akış dağılımı



Şekil 5.8 Mart, 1974 toplam akış dağılımı

Gördes Havzası'nda 1962-1992 yılları uzun dönemi için işletilen aylık yağış-akış modelinin sonuçları gerçek evapotranspirasyon ve sızma değerleri açısından incelenecek olursa (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10) potansiyel evapotranspirasyonun düşük olduğu havzanın orta kesimlerinde gerçek evapotranspirasyonun da düşük seyrettiği, nispeten yağışların düşük olduğu güney ve kuzey bölgelerde yüksek potansiyel evapotranpirasyon değerlerinden ötürü gerçek evapotranspirasyonların yüksek seyrettiği görülmektedir.

Gerçek evapotranspirasyon değerlerini arazi kullanımlarına göre tablolaştırarak incelemek gerekirse (Tablo 5.1), havzada gerçekleşen toplam evapotranpirasyon hacminin %47'sinin tarım alanlarından, %25'inin ormanlık alanlardan, %27'sinin makilik alanlardan gerçekleştiği görülmektedir. Bir başka ifade ile, gerçek evapotranpirasyonun havzanın arazi kullanım yüzdeleri ile uyumlu olarak gerçekleştiği görülmektedir.

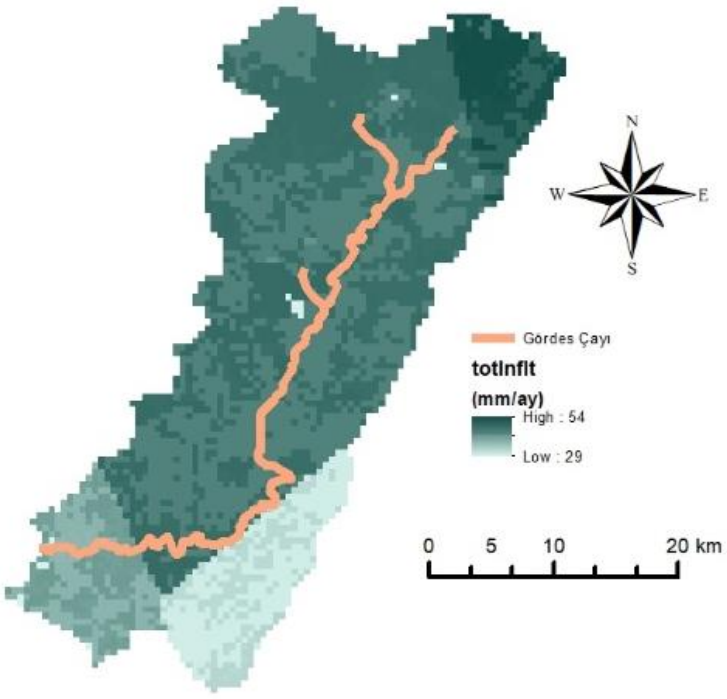


Şekil 5.9 Toplam aylık evapotranspirasyon dağılımı

Tablo 5.1 Arazi örtüsü sınıflandırmalarına göre aylık evapotranspirasyon hacimleri

Arazi Örtüsü Sınıfları	Alan (km^2)	Arazi Örtüsü Yüzdesi (%)	Hacim (hm^3/ay)	Aet Hacim Yüzdesi (%)
Kentsel	4,00	0,003	0,13	0,003
Tarım	506,50	0,478	19,3	0,473
Orman	258,25	0,244	10,0	0,246
Maki	277,25	0,262	10,8	0,265
Çıplak alan	6,25	0,006	0,24	0,005
Su kütlesi	6,75	0,006	0,25	0,006
Toplam	**1059**	**1,000**	**40,83**	**1,000**

Uzun dönemde havzada gerçekleşen sızma değerleri incelendiğinde, arazi örtüsünün sızma paternini etkilediği, ayrıca yüksek yağış alan bölgelerde sızma yüksekliklerinin diğer bölgelere göre kıyasla yüksek seyrettiği görülmektedir. Benzer şekilde, uzun yıllar ortalamasına ait sızma yükseklikleri arazi kullanımlarına göre incelendiğinde (Tablo 5.2), sızma yüksekliklerinin arazi kullanım yüzdelerine bağlı olarak dağıldığı görülmektedir. En yüksek sızma hacimleri sırasıyla tarımsal alanlar, makilik alanlar ve ormanlık alanlarda gözlenmiştir.



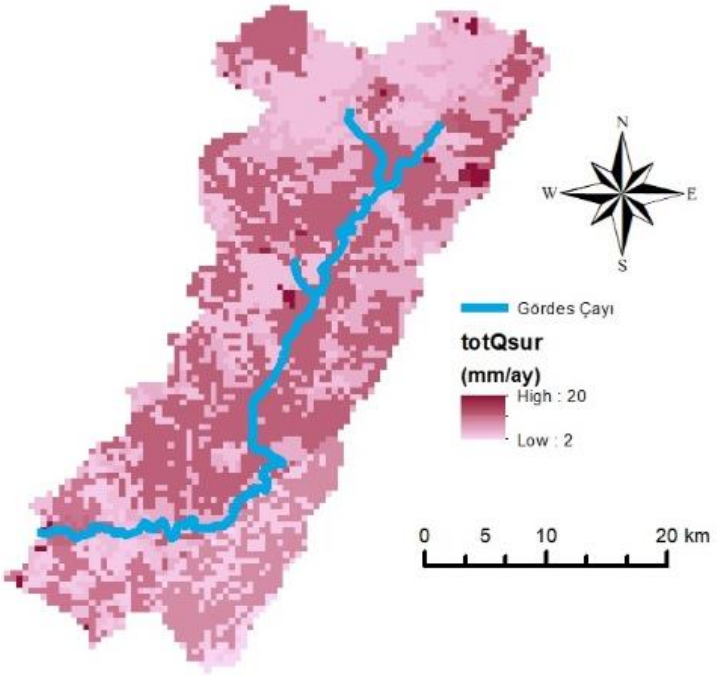
Şekil 5.10 Toplam aylık infiltrasyon dağılımı

Tablo 5.2 Arazi örtüsü sınıflandırmalarına göre aylık infiltrasyon hacimleri

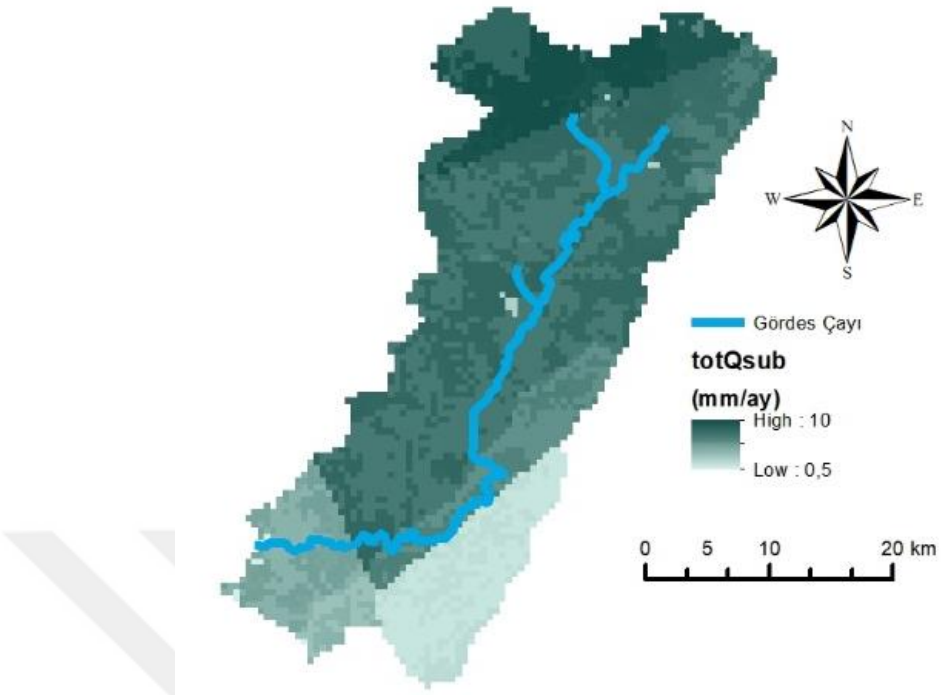
Arazi Örtüsü Sınıfları	Alan (km^2)	Arazi Örtüsü Yüzdesi (%)	Hacim (hm^3/ay)	Sızma Hacim Yüzdesi (%)
Kentsel	4,00	0,003	0,12	0,002
Tarım	506,50	0,478	22,80	0,459
Orman	258,25	0,244	12,80	0,258
Maki	277,25	0,262	13,30	0,267
Çıplak alan	6,25	0,006	0,30	0,005
Su kütlesi	6,75	0,006	0,27	0,005
Toplam	**1059**	**1,000**	**49,60**	**1,000**

5.2 Arazi Kullanımlarına Bağlı Yüzeysel ve Yüzey altı Akış Hacimleri

Modelleme çalışması neticesinde elde edilen yüzeysel akış ve yüzey altı akış bileşenlerinin 1962-1992 uzun dönem ortalamaları arazi kullanımlarına bağlı olarak incelendiğinde (Şekil 5.11 ve 5.12) kentsel ve çıplak alanlarda en yüksek değerlere ulaşan yüzeysel akış değerleri havzanın orta kesimlerinde, güney kesimlere göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11 Toplam aylık yüzeysel akış dağılımı



Şekil 5.12 Toplam aylık yüzey altı akışların dağılımı

Uzun dönem yüzeysel akış ortalamaları arazi kullanımlarına göre incelenecek olursa (Tablo 5.3) tarımsal arazi kullanımı havzanın %47'sini kapsamasına rağmen yüzeysel akışın hacim olarak % 62'si tarımsal bölgeden kaynaklanmaktadır. Tarımdan kaynaklı yayılı kirlilik yüklerinin, diğer arazi kullanımlarından kaynaklanan yüklere kıyasla toplam akış içindeki payını ön plana çıkarması açısından elde edilen bu sonuç dikkat çekmektedir.

Tablo 5.3 Arazi örtüsü sınıflandırmalarına göre aylık yüzeysel akış hacimleri

Arazi Örtüsü Sınıfları	Alan (km^2)	Arazi Örtüsü Yüzdesi (%)	Hacim (hm^3/ay)	Yüzeysel Akış Hacmi Yüzdesi(%)
Kentsel	4,00	0,004	0,76	0,017
Tarım	506,50	0,480	2,81	0,625
Orman	258,25	0,243	0,67	0,149
Maki	277,25	0,261	0,85	0,188
Çıplak alan	6,25	0,006	0,05	0,011
Su kütlesi	6,75	0,006	0,04	0,008
Toplam	**1059**	**1,00**	**4,50**	**1,00**

Benzer bir durum uzun dönem yüzey altı akışlarda da ortaya çıkmaktadır.

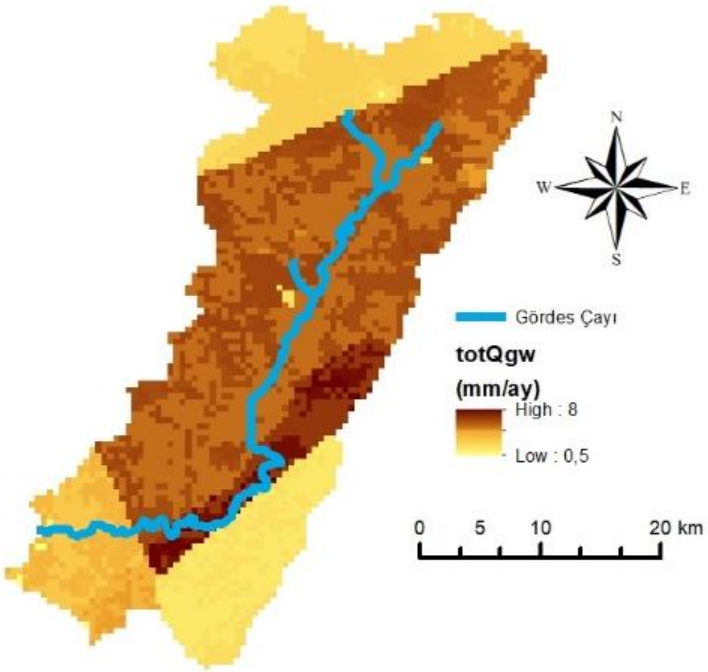
Tablo 5.4 Arazi örtüsü sınıflandırmalarına göre aylık yüzey altı akış hacimleri

Arazi Örtüsü Sınıfları	Alan (km^2)	Arazi Örtüsü Yüzdesi (%)	Hacim (hm^3/ay)	Yüzey altı Akış Hacmi Yüzdesi (%)
Kentsel	4,00	0,003	0,01	0,001
Tarım	506,50	0,478	2,88	0,421
Orman	258,25	0,243	2,03	0,296
Maki	277,25	0,261	1,87	0,274
Çıplak alan	6,25	0,005	0,38	0,005
Su kütlesi	6,75	0,006	0,23	0,003
Toplam	**1059**	**1,00**	**6,86**	**1,00**

Tablo 5.4'te verilen sonuçlar incelendiğinde, havzadaki yüzey altı akışın % 42'si tarımsal alanlardan kaynaklanmaktadır. Bunu sırasıyla ormanlık ve makilik alanlar takip etmektedir. Ormanlık alanların alansal yüzdesi %24 olmasına karşın, yüzey altı akışının % 30'u bu alanlardan gelmektedir.

5.3 Hidrojeolojik Birimlere Bağlı Yer altı Akış Hacimleri

Gördes Havzası'ndaki yer altı akış bileşeninin havzanın jeolojik birimlere göre incelenmesi durumunda, en yüksek yer altı akış katkısının havzanın orta alt bölgesinden kaynaklandığı, bunu sırasıyla havzanın orta kesimlerinin izlediği, havzanın kuzey ve güney uçlarının diğer kesimlere kıyasla çok daha küçük değerlerde yer altı akış bileşenine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.13 Aylık toplam yer altı akışların dağılımı

Havzanın uzun dönemdeki yer altı katkısı, akifer özelliklerine göre incelenecek olursa (Tablo 5.5) yer altı katkısının havzanın orta verimli yer altı su kütlelerinden kaynaklandığı görülmektedir. Verimli bölgelerden kaynaklanan yer altı akış hacimleri ise toplam yer altı akışı içinde yaklaşık olarak % 18'lik bir paya sahiptir.

Tablo 5.5 Hidrojeolojik birimlere göre aylık yer altı akış hacimleri

Jeo. Form Sınıfları	Alan (km^2)	Jeo. Form. Yüzdesi (%)	Hacim (hm^3/ay)	Yer altı Akış Hacmi Yüzdesi (%)
Orta	528,5	0,50	2,56	0,50
Verimli	169,5	0,16	0,93	0,18
Verimsiz	361,0	0,34	1,66	0,32
Toplam	**1059**	**1,00**	**5,15**	**1,00**

BÖLÜM ALTI
SONUÇLAR

Tez kapsamında CBS ile entegre edilerek alansal bazda hidrolojik süreçlerin elde edilmesine imkân tanıyacak şekilde alansal hâle dönüştürülen 5 parametreli hidrolojik model, havzaların arazi kullanımı, toprak yapısı özellikleri ve jeolojik formasyon özellikleri açısından değerlendirilerek akışın yüzeysel, yüzey altı ve yer altı bileşenlerini hücre bazlı hesaplayabilmektedir.

CBS araçları ve Matlab yazılımı yardımıyla geliştirilen bu model, hem model girdileri açısından hem de model parametreleri açısından havzaların fiziksel özelliklerinin model içerisinde değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Ortalanmış model yaklaşımına kıyasla çok daha fazla bilgi sunan alansal yapıdaki bu model; havzadaki sızma, evapotranspirasyon, yüzeysel, yüzey altı ve yer altı akışı gibi tüm hidrolojik süreçleri alansal dağılımlarıyla birlikte hesaplayabildiği için havza planlama çalışmalarında önemli bir katkı sağlamaktadır.

Modelin Gördes Havzası özelinde 1962-1992 yılları arasında gerçekleştirilen uygulama sonuçları incelendiğinde, model aylık akımları istatistiki açıdan başarılı bir biçimde tahmin edebilmektedir. Elde edilen sonuçlar sayesinde, Gördes Havzası'nın aylık su üretiminin alansal dağılımlarıyla birlikte izlenmesi mümkün olmaktadır. İzmir kentinin önemli bir içme suyu kaynağı olan Gördes Baraj Havzası için geliştirilen bu model, yayılı kirlilik kaynaklarının taşınım modellemesinde planlamacılara akımların tahmini açısından büyük kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca havzadaki antropojenik ve/veya doğal baskıların yüzey ve yeraltı suları üzerindeki etkilerini irdelemek mümkün olabilmektedir.

KAYNAKLAR

Abbott, M.B. ve Refsgaard, J.C., (1996). Distributed hydrological modeling, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht.

Aküzüm, T., Çakmak, B., ve Gökalp, Z. (2010). Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 67-74.

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage* (56). Rome, Italy: United Nations.

American Society of Civil Engineers (ASCE) (1999), *GIS modules and distributed models of the watershed, reston,* VA 978-0-7844-0443-0 (ISBN-13) | 0-7844-0443-7 (ISBN-10), (8), 120

Aslan, A. Ş. T., Gündoğdu, K. S., Demir, A.O (2004). Sayısal yükseklik modelinden yararlanılarak bazı havza karakteristiklerinin belirlenmesi: Bursa Karacabey İnkaya Örneği, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18* (1), 167–180.

Atkins, J. T., Wiley, J. B., ve Paybins, K. S., (2005). *Calibration parameters used to simulate streamflow from application of the hydrologic simulation program-fortran model (hspf) to mountainous basins containing coal mines in west virginia.* https://pubs.usgs.gov/sir/2005/5099/#N19554.

Bayazıt, M. (1998). *Hidrolojik modeller* (1.Baskı). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.

Bayazıt, M. (2003). Hidroloji (1.Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi.

Benzeden, E., (1981) *Kısa süreli aylık akış dizileri ile kurulan matematik modellerin periyodik bileşen yapısının iyileştirilmesi,* Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., ve Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, *58*(3-4), 239-258.

Beven, K. J. (2012). *Rainfall-runoff modelling:* The Primer (2nd ed.): Wiley-Blackwell.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.

Corine Land Cover Raster Data, European Environment Agency, (2012). https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover.

Dawson, C. W., & Wilby, R. L. (2001). *Hydrological modelling using artificial neural networks.* Progress in Physical Geography, *25*(1), 80-108.

De Vries, J. J., Hromadka, T. V. ve Mays, L.W. (1993). *Computer models for surface water*. Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, ABD.

Devi, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). *A review on hydrological models. aquatic procedia*, 4, 1001-1007.

Dindaroğlu, T., Özgül, M., ve Canbolat, M. Y. (2012). Sayısal yükseklik modeli kullanılarak bazı havza karakteristiklerinin saptanması ve arazi kullanımı. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 197-205.

Dragan, A., SAVIC, Godfrey, A. W., JAMES, W. D. (1999*).* A genetic programming approach to rainfall-runoff modelling. *Water Resources Management*.13, 219–231.

EEA, (2008) CORINE Land Cover.European Environment Agency. Retrieved January 2008 from http://reports.eea.europa.eu/CORO-landcover/en.

FAO. (1992). *Global and National Soil and Terrain Database,* World Soil Resources Report 74, FAO, Rome. 8 Ağustos 2018, http://www.fao.org/uploads/media/glc-share-doc.pdf

Fıstıkoğlu, O., (1999), *Hidrolojik modeller.* Türkiye İnşaat Mühendisliği 15. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, 799-809.

Fıstıkoğlu, O., Harmancıoğlu, N., (2001), *Yukarı Gediz havzasında aylık su bütçesi modeli uygulaması,* 3. Ulusal Hidroloji Kongresi Kitabı. 269-278.

Fonstad, M. A., ve Marcus W. A., (2005). Remote sensing of stream depths with Hydraulically Assisted Bathymetry (HAB) Models. *Geomorphology, 72,* 320-339.

Fitzpatrick, C., Maguıre, D. J. (2000). GIS in schools: Infrastructure, Methodology and Role, *GIS,* 62.

Fortin, J. P., Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R., Fitzback, J., ve Villeneuve, J. P. (2001). Distributed watershed model compatible with remote sensing and gis data: description of model. *Journal of Hydrologic Engineering, 6* (2), 91-99.

Gosain, A. K., Mani, A. Dwivedi, C. (2009). *Climatewater hydrological modelling-literature review*, A Indo-Norwegian Institutional Cooperation Rapor, (1), Bioforsk, Norveç.

Gudmundsson, L., Wagener, T., Tallaksen, L. M., & Engeland, K. (2012). Evaluation of nine large-scale hydrological models with respect to the seasonal runoff climatology in Europe. *Water Resources Research, 48* (11), W11504.

Harding, R. J., Weedon, G. P., van Lanen, H. A. J., & Clark, D. B. (2014). The future for global water assessment. *Journal of Hydrology,* 518(Part B), 186–193.

Heerdegen, R. G., (1974). The unit hydrograph: a satisfactory model of watershed response? *Water Resource Bul., 10* (6), 1143-1161.

Fıstıkoğlu, O. (2009), *İklim değişikliğinin baraj haznelerinin arz güvenilirliklerine olan etkilerinin belirlenmesi.* Tübitak 108Y301 no.lu Araştırma Projesi.

Jajarmizadeh, M., Harun, S., Salarpour, M. (2012). A review on theoritical consideration and types of models in hydrology, *Journal ofEnvionmental Science and Technology*, 5, 249-261.

Kaypak, Ş. (2011). Küreselleşme sürecinde sürdürülebilir bir kalkınma için sürdürülebilir bir çevre. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 2011* (1), 19-33.

Kerkhoven, E., & Gan, T. Y. (2006). *A modified ISBA surface scheme for modeling the hydrology of Athabasca River basin with GCM-scale data*. Advances in Water Resources, 29, 808–826.

Kişi, Ö., Shiri, J., Tombul, M. (2013). Modeling rainfall-runoff process using soft computing techniques. *Computers & Geosciences*, 51, 108-117.

Knight, C. G., Chang, H., Staneva, M. P., & Kostov, D. (2001). A simplified basin model for simulating runoff: the Struma River GIS. *The Professional Geographer, 53* (4), 533-545.

Manoj K. Jain, Umesh C. Kothyari, Kittur G. Ranga Raju (2004). A GIS based distributed rainfall-runoff model, *Journal of Hydrology, 299* (2004) 107- 135.

Mas, J. F., (2004). Mapping land use/cover in a tropical costal area using satellite sensor data, GIS and Artificial Neural Networks. *Estuarine Coastal and Shelf Science, 59* (2004) 219-230.

MTA (1988). 1:100.000 *Türkiye Jeoloji Haritası*, 18 Temmuz 2018, http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/100bas.

Meriç., T. (2004), Su kaynakları yönetimi ve Türkiye. Hacettepe Üniversitesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, *28* (1).

Moriassi DN, Arnold JG, Van LiewMW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL., (2007), *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. Trans. ASABE, 50, 885–900.

Nalbantis, I., (2007). *Water resources management and protection*, NTUA.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., (1970). River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, *10* (3): 282–290.

Ogden, Fred L.; Garbrecht, Jurgen; DeBarry, Paul A.; and Johnson, Lynn E., (2001). *GIS and distributed watershed models. II.* Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. 461. http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/461. 23 Temmuz 2018.

Okkan, U. ve Mollamahmutoğlu, A., (2010). Yiğitler Çayı günlük akımlarının yapay sinir ağları ve regresyon analizi ile modellenmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 33-48.

Özçelik, C. (2002). *Kısa süreli aylık akış dizilerinin iyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Refsgaard, J. C., (1996). *Terminology, modeling protocol and classification of hydrological model codes*. Abbott, M.B. and J.C. Refsgaard (Ed.). Distributed hydrological modelling (17-39). Netherland: Kluver Academic Publihers.

Santini, M., Petroselli, A., Nardi, F., Vivoni, E.R., Grimaldi, S., (2006). *A review of DEM-based flow direction characterization methods for hydrogeomorphic applications.* American Geophysical Union, Fall Meeting 2006.

Shaw, S. L., Yu, H., & Bombom, L. S. (2008). A space-time GIS approach to exploring large individual-based spatiotemporal datasets. *Transactions in GIS, 12* (4), 425-441.

Shereif, H. Mahmoud, (2014*) Investigation of rainfall–runoff modeling for Egypt by using remote sensing and GIS integration*, CATENA, 120, 111-121.

Sofuoğlu S., C., Tayfur, G., Sofuoğlu, A., Birgili, S. (2003) *İzmir havasındaki toz derişimlerinin yapay sinir ağları modeli ile tahmini.* Yanma ve hava kirliliği kontrolü VI. Ulusal Sempozyumu 10-12 Eylül 2003, İzmir.

Şeker, D., (2004). *Cografi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Hidrolojide uygulama olanakları,* IV. Ulusal Hidroloji Kongresi ve Hidrolojide Yeni Yöntemler Semineri, 21-25 Haziran.

Tarboton, D.G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid Digital Elevation Models.*Water Resources Research, 33* (2): 309-319.

Todini, E. (1988). Rainfall-runoff modelling - past, present and future. *J. Hydrology* 100, 341–352.

Usul, N. (2008). *Mühendislik Hidrolojisi*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları ODTÜ Yayıncılık, Ankara.

Venkatachalam, P., Mohan, B.K., Kotwal, A., Mishra, V., Muthuramakrishnan, V., Pandya M., (2001). *Automatic delineation of watersheds for hydrological applications proc. acrs 2001 - 22nd Asian conference on remote sensing*, 5-9 November 2001, Singapore, 2, 1096-1101.

Verma, A. K., Jha, M. K., & Mahana, R. K. (2010). Evaluation of HEC-HMS and WEPP for simulating watershed runoff using remote sensing and geographical information system. *Paddy and Water Environment, 8* (2), 131-144.

Wong, C. L., Yusop, Z., Venneker, R., & Uhlenbrook, S. (2018). *Effects of topographic heterogeneity on coarse resolution grid-based runoff simulation—assessment for three river basins in peninsular Malaysia*. Environmental Modeling & Assessment, 1-12.

Xu C.-Y., & Singh, V.P. (1998). A review on monthly water balance models for water recources investigations. *Water Resources Management*, 12.

Yogesh N Saraf, Shruti N Pawar, Alok P Jadhav (2017), *Rainfall runoff calculator with matlab*. International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 5, 4.

Yüce, M. İ., ve Ercan, B. (2015). *Kızılırmak havzası yağış-akış ilişkisinin belirlenmes*i. Su Yapıları Sempozyumu, 19-21.

EKLER

EK-1: Kavramsal Aylık Yağış-Akış Modelinin Matlab Kodu

```
clc
clear all
%%Meteorolojik veriler okunuyor
P=xlsread('GordesVST','P');
PET=xlsread('GordesVST','PET');
Thiessen=xlsread('GordesVST','ISTASYON');
Arazi=xlsread('GordesVST','ARAZI');
Toprak=xlsread('GordesVST','TOPRAK');
Jeoloji=xlsread('GordesVST','JEOLOJI');
Qobs=xlsread('GordesVST','AKIM');
%number of time
ntm=length(P);

%GIS katmanları okunuyor
%Thiessen
[GisThi,NThi] = arcgridread ('thissen500_mtlb1.txt');
%figure
%mapshow(GisThi,NThi,'DisplayType','surface');
%Arazi
[GisArz,NArz] = arcgridread ('crn500_mtlb1.txt');
%figure
%mapshow(GisArz,NArz,'DisplayType','surface');
%Toprak
[GisTpr,NTpr] = arcgridread ('soil500_mtlb1.txt');
%figure
%mapshow(GisTpr,NTpr,'DisplayType','surface');
%Jeoloji
[GisJeo,NJeo] = arcgridread ('jeo500_mtlb1.txt');
%figure
%mapshow(GisJeo,NJeo,'DisplayType','surface');

%number of istasyon, arazi, toprak, jeoloji
[nist,nistc]=size(Thiessen);
[narz,narzc]=size(Arazi);
[ntpr,ntprc]=size(Toprak);
[njeo,njeoc]=size(Jeoloji);

GisSwini=GisTpr;
for i=1:ntpr;
GisSwini(GisTpr==i)=Toprak(i,5);
end

GisGwini=GisJeo;
for i=1:njeo;
GisGwini(GisJeo==i)=Jeoloji(i,3);
end

GisAlfa=GisArz;
for i=1:narz;
GisAlfa(GisArz==i)=Arazi(i,2);
end
```

```
GisBeta=GisTpr;
for i=1:ntpr;
GisBeta(GisTpr==i)=Toprak(i,2);
end

GisGama=GisJeo;
for i=1:njeo;
GisGama(GisJeo==i)=Jeoloji(i,2);
end

GisSmin=GisTpr;
for i=1:ntpr;
GisSmin(GisTpr==i)=Toprak(i,3);
end

GisSmax=GisTpr;
for i=1:ntpr
GisSmax(GisTpr==i)=Toprak(i,4);
end

totAet=zeros(size(GisSmax));
totInflt=zeros(size(GisSmax));
totPercol=zeros(size(GisSmax));
totQsur=zeros(size(GisSmax));
totQsub=zeros(size(GisSmax));
totQgw=zeros(size(GisSmax));

for j=1:ntm;
GisP=GisThi;
    for i=1:nist;
GisP(GisThi==i)=P(j,i);
    end


GisPET=GisThi;
for i=1:nist;
GisPET(GisThi==i)=PET(j,i);
end

%Model Hesaplar? Ba?l?yor
Qsur=GisAlfa.*GisP;
Inflt=(1-GisAlfa).*GisP;

SWat=GisSwini+Inflt-GisPET;

bmin=SWat<GisSmin;
bmax=SWat>GisSmax;
bnorm1=GisSmin<=SWat;
bnorm2=SWat<=GisSmax;
bnorm=bnorm1 & bnorm2;

SWat(bmin)=GisSmin(bmin);
[x y]=size(SWat);
Aet=zeros(x,y);
Aet(bmin)=GisSwini(bmin)+Inflt(bmin);
Qsub=NaN(x,y);
Qsub(bmin)=0;
```

```
Percol=NaN(x,y);
Percol(bmin)=0;

bir=ones(x,y);
Qsub(bmax)=GisBeta(bmax).*(SWat(bmax)-GisSmax(bmax));
Percol(bmax)=(bir(bmax)-GisBeta(bmax)).*(SWat(bmax)-GisSmax(bmax));
SWat(bmax)=GisSmax(bmax);
Aet(bmax)=GisPET(bmax);


SWat(bnorm)=SWat(bnorm);
Aet(bnorm)=GisPET(bnorm);
Qsub(bnorm)=0;
Percol(bnorm)=0;


Qgw=GisGama.*GisGwini;
GWat=GisGwini+Percol-Qgw;

GisGwini=GWat;
GisSwini=SWat;
Qmod=Qsur+Qsub+Qgw;


if j==149;
    Qsurout149=Qsur;
   figure('Name', 'Qsur149');
   image(Qsurout149);
   colorbar;
   Qsurout149(isnan(Qsurout149))=-9999;

   Qsubout149=Qsub;
   figure('Name', 'Qsub149');
   image(Qsubout149);
   colorbar;
   Qsubout149(isnan(Qsubout149))=-9999;

   Qgwout149=Qgw;
   figure('Name', 'Qgw149');
   image(Qgwout149);
   colorbar;
   Qgwout149(isnan(Qgwout149))=-9999;

   Qmodout149=Qmod;
   figure('Name', 'Qmod149');
   image(Qmodout149);
   colorbar;
   Qmodout149(isnan(Qmodout149))=-9999;

dlmwrite('Qsurmap149.txt',Qsurout149);
dlmwrite('Qsubmap149.txt',Qsubout149);
dlmwrite('Qgwmap149.txt',Qgwout149);
dlmwrite('Qmodmap149.txt',Qmodout149);
end
```

```
 if j==150;
    Qsurout150=Qsur;
   figure('Name', 'Qsur150');
   image(Qsurout150);
   colorbar;
   Qsurout150(isnan(Qsurout150))=-9999;

   Qsubout150=Qsub;
   figure('Name', 'Qsub150');
   image(Qsubout150);
   colorbar;
   Qsubout150(isnan(Qsubout150))=-9999;

   Qgwout150=Qgw;
   figure('Name', 'Qgw150');
   image(Qgwout150);
   colorbar;
   Qgwout150(isnan(Qgwout150))=-9999;

   Qmodout150=Qmod;
   figure('Name', 'Qmod150');
   image(Qmodout150);
   colorbar;
   Qmodout150(isnan(Qmodout150))=-9999;

dlmwrite('Qsurmap150.txt',Qsurout150);
dlmwrite('Qsubmap150.txt',Qsubout150);
dlmwrite('Qgwmap150.txt',Qgwout150);
dlmwrite('Qmodmap150.txt',Qmodout150);
end


HAet(j)=meanabs(Aet);
HInflt(j)=meanabs(Inflt);
HSWat(j)=meanabs(SWat);
HPercol(j)=meanabs(Percol);
HGWat(j)=meanabs(GWat);
HQsur(j)=meanabs(Qsur);
HQsub(j)=meanabs(Qsub);
HQgw(j)=meanabs(Qgw);
HQmod(j)=meanabs(Qmod);
Qobs=Qobs';



Aet(isnan(Aet))=0;
totAet=totAet+Aet;

Inflt(isnan(Inflt))=0;
totInflt=totInflt+Inflt;

Percol(isnan(Percol))=0;
totPercol=totPercol+Percol;

Qsur(isnan(Qsur))=0;
totQsur=totQsur+Qsur;
```

```
Qsub(isnan(Qsub))=0;
totQsub=totQsub+Qsub;

Qgw(isnan(Qgw))=0;
totQgw=totQgw+Qgw;


end
totAet=totAet./ntm;
totInflt=totInflt./ntm;
totPercol=totPercol./ntm;
totQsur=totQsur./ntm;
totQsub=totQsub./ntm;
totQgw=totQgw./ntm;

totP=totQsur+totQsub+totQgw+totAet;

dlmwrite('totAet.txt',totAet);
dlmwrite('totInflt.txt',totInflt);
dlmwrite('totQsub.txt',totQsub);
dlmwrite('totQsur.txt',totQsur);
dlmwrite('totQgw.txt',totQgw);




HAet=HAet';
HInflt=HInflt';
HSWat=HSWat';
HPercol=HPercol';
HGWat=HGWat';
HQsur=HQsur';
HQsub=HQsub';
HQgw=HQgw';
HQmod=HQmod';

figure
scatter(Qobs,HQmod);hold off;
figure
plot(Qobs,'DisplayName','Qobs');hold
on;plot(HQmod,'DisplayName','HQmod');hold off;

R2 = (corr(Qobs,HQmod))^2
rmsee=sqrt(mean((HQmod-Qobs).^2))

fitobject = fit(Qobs,HQmod,'poly1')
Outx=[HQsur HQsub HQgw Qobs HQmod];
xlswrite( 'GordesVSTout.xlsx',Outx);
```