KARAYOLLARI KÖPRÜ VE MENFEZ TASARIM DEBİLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

SİDAR AKSAKAL

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAYOLLARI KÖPRÜ VE MENFEZ TASARIM DEBİLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

SİDAR AKSAKAL

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA YÜKSEK LİSANS TEZİ OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

KARAYOLLARI KÖPRÜ VE MENFEZ TASARIM DEBİLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Sidar AKSAKAL tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Hidrolik ve Su Kaynakları Anabilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ _____
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Doç. Dr. Necati KAYAALP _____
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN **(*)** _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis Eren Üniversitesi

Doç. Dr. Necati KAYAALP **(**)** _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Recep ÇELİK _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 20 / 06 / 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Sidar AKSAKAL

İmza: …….……

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Doç. Dr. Necati Kayaalp'e çalışmanın daha fikir aşamasından, örnekleme, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim. Aynı zamanda Karayolları Genel Müdürlüğü'nde görev yapmakta olan Sayın Ahmet Aytun'a da sağladığı katkılardan ötürü teşekkür ederim. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında beni araştırma hevesiyle coşturdukları ve destekledikleri için biricik aileme ve zor zamanlarımda beni yalnız bırakmayan başta Hakki Aksakal'a ve diğer kıymetli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ x
EKLER LİSTESİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR xii
ÖZET xiv
ABSTRACT xv
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ 3
2.1 Hidrolojik Analiz ve Tasarımda Kullanılan Bazı Bilgisayar Programları 4
2.1.1 QGIS 4
2.1.2 HEC-HMS 5
2.1.3 PyQgis ve Python 12
2.1.4 HY-8 12
2.2 Önceki Çalışmalar 13
3. MATERYAL VE METOT 15
3.1 Materyal 15
3.2 Yöntem 15
3.2.1 Teorik yöntem 15
3.2.2 Programatik Yöntem 21
3.2.3 QSCS 28
3.2.4 Çalışma Alanları 40

3.2.5 Çalışma Alanlarının QSCS Modeli 47
3.2.6 HEC-HMS Modeli 49
3.2.7 HY-8 Modeli 50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 52
4.1 W1 Havzası 52
4.2 W2 Havzası 53
4.3 W1 ve W2 Havzalarının Hidrograflarının Detaylı İncelenmesi 53
4.4 W1 Havzasının Menfezi 55
5. SONUÇLAR 57
KAYNAKLAR 58
EKLER 64
ÖZGEÇMİŞ 69

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Tipik bir kutu menfezin en ve boy kesitleri 3
Şekil 2.2 QGIS'in genel görünümü. 4
Şekil 2.3 HY-8 programının genel görünüşü. 13
Şekil 3.1 DEM verisinin görselleştirilmiş hali (Lice) 22
Şekil 3.2 DEM verisinin 3 Boyutlu gösterimi 23
Şekil 3.3 Fill Sinks algoritmasının DEM üzerindeki etkisi 24
Şekil 3.4 Flow Direction Algoritmasının dört temel adımı 25
Şekil 3.5 Akış Biriktirme algoritmasının basitleştirilmiş adımları. 26
Şekil 3.6 Bir akarsu ağının Strahler düzeni 27
Şekil 3.7 Upslope algoritmasının DEM üzerindeki etkisi 28
Şekil 3.8 QSCS'te DEM verisinin seçimi 31
Şekil 3.9 QSCS'te Boşluk Doldurma Algoritmasının uygulanması 32
Şekil 3.10 QSCS'te Strahler düzeninin elde edilmesi 32
Şekil 3.11 QSC'te eşik değerinin seçilmesi 33
Şekil 3.12 QSCS'te çıkış noktasının seçilmesi. 34
Şekil 3.13 QSCS'te havza tasvirinin yapılması 35
Şekil 3.14 QSCS'te performans artırma işlemleri 35
Şekil 3.15 QSCS'te althavzaların elde edilmesi 36
Şekil 3.16 QSCS'te gerekli paramatrelerin hesaplanması 37
Şekil 3.17 QSCS'te alan limitlerinin gösterilmesi 37
Şekil 3.18 QSCS'te NRCS yöntemi parametrelerinin tespiti 38
Şekil 3.19 QSCS'te eğri numaralarının belirlenmesi 39
Şekil 3.20 QSCS'te HECHMS şablonunun oluşturulması 39
Şekil 3.21 W1 ve W2 havzalarının haritadaki konumları 40
Şekil 3.22 W1 ve W2 havzalarının arazi kullanım harita verileri 41
Şekil 3.23 W1 ve W2 havzalarının hidrolojik toprak grupları 42
Şekil 3.24 Çalışma alanının topoğrafik haritası 43
Şekil 3.25 W1 ve W2 havzalarının en uzun akış yolu profilleri 44

Şekil 3.26 Çalışma alanının eğri numaralarını gösteren raster verisi.....45
Şekil 3.27 Diyarbakır ili için 10 yıllık yağış-süre-tekerrür eğrisi 46
Şekil 3.28 Diyarbakır ili için SCS Type II kümülatif yağış eğrisi 47
Şekil 3.29 W1 ve W2 havzalarının 5 eşik değerine göre althavzaları 49
Şekil 3.30 HY-8 programında menfez kesiti belirlenen pencerenin görüntüsü 51
Şekil 4.1 W1 havzası çıkışında gözlemlenen akış hidrografı 52
Şekil 4.2 W2 havzası çıkışında gözlemlenen akış hidrografı 53
Şekil 4.3 W1 ve W2 havzalarının debileri 54
Şekil 4.4 3x3 boyutlarında tasarlanan menfezde su yükseklikleri 56

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 HMS'deki matematiksel modellerin kategorize edilmiş hali 6
Tablo 2.2 HMS'de sık kullanılan yağış metotları 7
Tablo 2.3 HMS'deki sızma modellerinden en sık kullanılanları 8
Tablo 2.4 HMS'deki dönüştürme modellerinden en sık kullanılanları.....9
Tablo 2.5 HMS'deki yönlendirme metotlarından en sık kullanılanları 10
Tablo 2.6 HMS'deki en sık kullanılan elementler 11
Tablo 3.1 Havzada bulunan gölet ve bataklık alanları için Ayarlama Faktörü.....18
Tablo 3.2 Yağış Dağılımı ve Ia/P oranına dayalı katsayılar. 19
Tablo 3.3 Örnek için seçilen havzanın karakteristikleri.....20
Tablo 3.4 SCS-TYPE II'ye göre Denklem 3.12'deki katsayıların değeri.....21
Tablo 3.5 W1 ve W2 havzalarının topoğrafik özellikleri 42
Tablo 3.6 10 yıllık IDF eğrisi verilerine göre varsayımsal yağış yükseklikleri.....46
Tablo 3.7 W1 ve W2 havzalarının QSCS'ten elde edilmiş karakteristikleri 48
Tablo 4.1 3x3 boyutlarında tasarlanan menfezde akım özellikleri 56

EKLER LİSTESİ

EK 1: 1.5 x 1.5 boyutlarındaki menfezin ön analizleri 65
EK 2: 2.0 x 2.0 boyutlarındaki menfezin ön analizleri 66
EK 3: 2.5 x 2.5 boyutlarındaki menfezin ön analizleri 67
EK 4: 3.0 x 3.0 boyutlarındaki menfezin ön analizleri 68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklama
P'	Toplam Yağış
I_0	Başlangıç Kaybı
F'	Toplam Sızma
Q'	Doğrudan Akış
F	Mevcut Alıkoyma
S	Potansiyel Maksimum Alıkoyma
Q	Mevcut Akış
P	Mevcut Yağış
I_a	Mevcut Başlangıç Kaybı
q_p	Pik Debi
q_u	Birim Pik Debi
A_m	Drenaj Alanı
F_p	Ayarlama Faktörü
C_0, C_1, C_2	Katsayılar
L	Gecikme Süresi
l	Akış Uzunluğu
Y	Ortalama Havza Eğimi
T_c	Konsantrasyon Süresi

Kısaltma	Açıklama
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
QGIS	Quantum GIS
HEC-HMS	Hidrolojik Mühendislik Merkezi - Hidrolojik Modelleme Sistemi

SAGA	Otomatik Jeolojik Analizler Sistemi
DEM	Dijital Yükseklik Modeli
HSG	Hidrolojik Toprak Sınıfları
ARC	Önceki Akış Durumu
IDF	Yağış-Süre-Tekerrür Eğrileri
CN	Eğri Numarası

ÖZET

KARAYOLLARI KÖPRÜ VE MENFEZ TASARIM DEBİLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Aksakal, Sidar
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Danışman: Doç. Dr. Necati Kayaalp
Haziran 2022, 85 sayfa

Günümüzde coğrafi bilgi sistemleri (CBS), hidrolojik havza modellemesinin ayrılmaz bir parçasıdır. Havzanın drenaj alanı ve drenaj ağı, toprak yapısı ve bitki örtüsü, ortalama eğim, konsantrasyon süresi vb. hidrolojik parametreler CBS programları kullanılarak daha hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebilir. Bu hidrolojik parametreler daha sonra mühendislik yapılarının tasarımında kullanılacak olan pik tasarım debilerini elde etmek için hidrolojik modelleme programlarında girdi olarak kullanılırlar. Bu çalışmada, Python programlama dili kullanılarak, herhangi bir havzanın hidrolojik özelliklerinin otomatik olarak belirlenmesini sağlayan açık kaynaklı bir CBS yazılımı olan QGIS için QSCS adlı bir eklenti geliştirilmiştir. Temelde girdi olarak seçilen eğri numarası veri seti ve yükselti rasterleriyle birlikte kullanıcıdan alınan koordinatları belli bir çıkış noktasına göre havza tasviri yapan QSCS, birtakım algoritmaların çalışmasından sonra HEC-HMS adlı hidrolojik simülasyon programı için bir şablon hazırlamaktadır. Bu çalışmada QSCS eklentisi kullanılarak 0.15 ve 0.36 biçim faktörlerine sahip iki farklı havzanın özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu özellikler HEC-HMS programına aktarılmış ve her iki havza çıkışında gözlenen pik debiler sırasıyla 20.1 ve 38.2 m^3/s olarak tahmin edilmiştir. Aynı zamanda tez çalışmasına uygulanabilirlik katması açısından havzalardan birinin çıkışında bir menfez yapılması planlanmıştır. Bu kapsamda HY-8 bilgisayar programında tasarım yapılmış olup 3x3 boyutlarında bir menfez seçilmesine karar verilmiştir. Çalışma sonucunda, pik tasarım debilerinin doğru tahmininde havzaların uygun şekilde alt havzalara bölünmesinin son derece önemli olduğu görülmüştür. Çok küçük boyutlarda seçilen alt havzaların pik debiyi yaklaşık iki kat daha yanlış tahmin ettiği görülmüştür. Ancak havza alanının çok büyük seçilmesinin hesaplama süresini pratik olmayan bir şekilde artırdığı görülmüştür. Aynı zamanda birçok althavzalara bölünen bir havzada çoğunlukla daha önceki gözlemlere dayanarak parametreleri seçilen bir akış yönlendirme metodunun seçilmesi ve doğru bir şekilde uygulanması gerektiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: QGIS, QSCS, havza modelleme, NRCS yöntemi, menfezlerin tasarımı, pik tasarım debisi.

ABSTRACT

DETERMINATION OF PEAK DESIGN FLOWS OF HIGHWAY BRIDGES AND CULVERTS WITH GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

Aksakal, Sidar
Master of Science in Department of Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Necati Kayaalp
June 2022, 85 page

Today, geographic information systems (GIS) are an integral part of hydrological basin modeling. Hydrological parameters such as the drainage area and drainage network of the basin, soil structure and vegetation, average slope, concentration time, etc. can be determined more quickly and accurately using GIS programs. These hydrological parameters are then used as inputs in hydrological modeling programs to obtain peak flow rates used in the design of engineering structures. In this study, by using the Python programming language, a plug-in called QSCS was developed for an open-source GIS software QGIS, which allows the automatic determination of the hydrological characteristics of any basin. QSCS, which basically delineates the basin according to a certain outlet point with the curve number data set and elevation raster selected as input, prepares a template for the hydrological simulation program called HEC-HMS after running some algorithms. Using this plugin, the characteristics of two different basins with form factors of 0.15 and 0.36 were determined. These determined features were transferred to the HEC-HMS program and the peak flow rates observed at both basin outlets were estimated as 20.1 and 38.2 m3/s, respectively. In addition, a culvert were planned at the exit of one of the basins in order to give a practical aspect to the thesis study. In this context, a design was made with the HY-8 computer program and it was decided to choose a box culvert with 3x3 dimensions. As a result of the study, it was seen that it is extremely important to divide the basins into sub-basins appropriately in the correct estimation of the peak flow rates. It was observed that the sub-basins selected in very small sizes predicted the peak flow approximately twice as wrong. However, it was seen that choosing the basin area too large increased the calculation time in an impractical way. In addition, in a basin that is divided into many sub-catchments, it has been seen that a flow routing method whose parameters are chosen mostly based on previous observations should be selected and applied correctly.

Keywords: QGIS, QSCS, catchment modelling, NRCS method, design of culverts, peak design flow.

1. GİRİŞ

Su temelde bir hidrojen ve iki oksijen atomundan oluşan ve moleküler yapıya sahip bir kimyasal bileşiktir. Geçmişten günümüze kadar bütün canlılar için hayati önemde olan su doğada katı, sıvı ve gaz halinde bulanabilmektedir. Su molekülleri, hidrolojik çevrim veya su döngüsü olarak adlandırılan bir hidrolojik süreç ile bu üç faz arasında sürekli yer değiştirebilmektedir. Buna göre okyanus ve göllerden buharlaşan su molekülleri bulutları oluşturup daha sonra soğuyarak yağmur, kar gibi bir yağış şekliyle gökyüzünden yeryüzüne iner. Yeryüzüne inen katı veya sıvı haldeki su molekülleri gerek sızma yaparak yeraltı sularını gerekse akışa geçip akarsu ve nehirleri oluşturur. Bu şekilde tekrardan okyanus veya göllere dönen su molekülleri bir döngü oluşturmuş olur.

İnsanoğlu suyun içerisinde bulunduğu hidrolojik çevrim ile uyumlu yaşayabilmek için birtakım önlemler almak zorundadır. Buna göre şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde yağış sonucu oluşan akış suyunu uygun sistemler ile bir deşarj noktasına ulaştırmak bu önlemlere birer örnek olarak gösterilebilir. Buna ek olarak akarsu yatakları ile kesişim halinde olan karayolları için yapılan köprü ve menfezler yine alınan önlemlerden bir diğeridir. Bu kapsamda ortaya çıkabilecek birtakım problemleri önlemek için hazırlanan sistemler hem mühendislik açıdan yeterli ve kaliteli hem de ekonomik ve sürdürülebilirlik açıdan uygun tasarlanması gerekmektedir.

Su kontrol yapıları olarak ta geçen köprü ve menfezler, üzerine yapılan sanat yapılarına zarar vermemek ve doğal yatağında akış halinde olan su kütlesini bir noktadan diğer bir noktaya taşımak için yapılır. Bu kapsamda köprü, menfez gibi su kontrol yapıları inşa edilmeden önce üzerine yapılacak akarsuyun birtakım fiziksel özelliklerine göre hidrolik bir tasarım yapmak esastır.

Akarsuların sahip olduğu fiziksel özelliklerin doğru tespit edilebilmesi, hidrolik tasarım için oldukça önemlidir. Bu bağlamda kullanılacak olan tasarım metodu ve kriterine göre dizayn yapabilmek için çeşitli parametrelerin belirlenmesi gerekli olacaktır. Bu parametrelerin tespitinde ise gerek doğa şartlarından gerekse insan kaynaklı hatalardan ötürü yanlış ölçümlerin yapılması muhtemeldir (Robbins vd., 1996). Bu hataları kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutmak ve daha hızlı, pratik ve doğru bir tasarım yapabilmek için bilgisayar destekli çözümler geliştirilmiştir.

Özellikle doğru parametre seçebilmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin kullanılması ve hızlı işlem yapabilmek için bilgisayar yazılımlarının kullanılması bu çözümlerin başında gelmektedir. Örneğin daha sonraki bölümlerde bahsedilecek olan en uzun akış uzunluğu gibi bir parametrenin seçilmesinde CBS verileri ve işlem yapan kod parçaları sayesinde hem daha doğru hem de daha hızlı çözümler yapılabilmektedir.

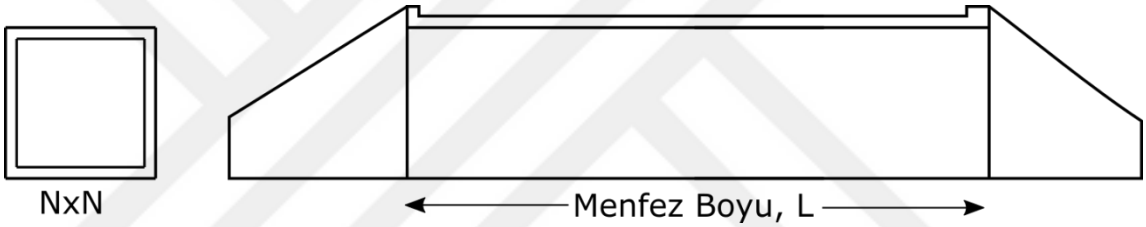
Genel olarak coğrafik verilerin yönetilmesinde, analiz edilmesinde, istenilen şart ve duruma uygun olarak manipüle edilmesinde kullanılan bir sistem şeklinde tanımlanan CBS, hidrolik mühendisliğinde havza sınırlarının belirlenmesi, akarsu yataklarının yörüngesi, havza eğimi gibi parametrelerin tespitinde sıklıkla kullanılır (Chang, 2017). Dolaysıyla bir tasarım aracından ziyade kaynak ve veri sağlayıcı olarak çalışır.

Köprü ve menfezlerin tasarımında kullanılacak parametrelerin CBS yardımıyla belirlenmesi doğru ve hızlı bir tasarım için yeterli değildir. Buna göre CBS' ye ek olarak köprü ve menfezlerin tasarımında kullanılan bilgisayar yazılımlarından birinin tercih edilmesi ve tüm tasarımın bilgisayar ortamında yapılması hem daha sağlıklı hem de daha pratik olacaktır. Bu kapsamda geliştirilen CBS verilerinin manipülasyonu için QGIS, pik debi tahmini için HEC-HMS, köprü tasarımı için HEC-RAS ve menfez tasarımı için HY-8 adlı bilgisayar yazılımları örnek gösterilebilir.

Bu tez çalışmasının ana amacı köprü, menfez gibi karayolu sanat yapılarının dizaynı için gerekli *pik tasarım debisini* GIS teknolojisini kullanarak elde etmektir. Aynı zamanda tez çalışmasına pratik bir yön katmak amacıyla menfezlerin bilgisayar ortamında dizayn edilmesi bir diğer hedeftir. Dolayısıyla bu çalışma sayesinde dünya üzerindeki herhangi bir bölgede yapılacak olan köprü, menfez gibi sanat yapılarının tasarımında yerinde gözlem ve ölçüm yapmaya gerek kalmadan ön tasarım yapılabilir. Bununla birlikte yerinde gözlem yapıp havza kimliğini belirlemek tasarım için oldukça önemli olduğu unutulmamalıdır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Köprü ve menfezler karayolları sanat yapılarından ikisidir. Temel amaçları karayolunun işlevselliğini bozan açıklıklarda sürekliliği sağlamaktır. Buna göre yolun akışını bozan akarsu, nehir gibi su kütlesi taşıyan kanalları geçmek için sıklıkla yapılır. Köprüler genellikle uzun açıklıkların geçilmesinde kullanılırken menfezler nispeten kısa açıklıkları geçmek için kullanılır. İkisi arasındaki belirgin bir diğer özellik ise menfezlerin kontrol yapısı olarak kullanılabilmesidir. Öyle ki menfezin boyutlarına göre akım rejimi, akım hızı gibi karakteristikler değiştirilebilir (Gupta, 2017). Şekil 1.1'de tipik bir kutu menfezin en ve boy kesitleri verilmiştir.



Şekil 2.1 Tipik bir kutu menfezin en ve boy kesitleri

Menfezler şekillerine, yapıldıkları malzemeye göre çeşitlilik gösterirler. Çoğunlukla kutu tipinde olan menfezlerin kemerli, dairesel tipleri de mevcuttur. En sık kullanılan yapım malzemeleri beton, alüminyum ve çeliktir (Fhwa, 2012).

Gerek köprüler için gerekse menfezler için yapılacak bir tasarımda hem hidrolik mühendisliği hem de yapı mühendisliği bilgilerine ihtiyaç vardır. Buna göre öncelikle üzerine sanat yapısı yapılacak olan akarsuyun yıl içerisinde taşıyacağı maksimum debi tahmin edilir ve sanat yapısının tipi belirlenir. Ardından sanat yapısının genişliği, yüksekliği, açıklığı gibi fiziksel büyüklükler, arazi yapısı göz önünde bulundurularak bir mühendislik yaklaşımıyla ön tasarım yapılır. Yapılan ön tasarımın yeterli olup olmadığı çeşitli bilgisayar yazılımları ile kontrol edilir. Ön tasarım yeterli düzeye ulaşırsa kesin tasarım yapılır ve sanat yapısının hidrolik tasarımı bitirilir. Bundan sonraki aşamada ise bu tez çalışmasının kapsamı dışında kalan statik hesaplar yapılıp tasarım neticelendirilir.

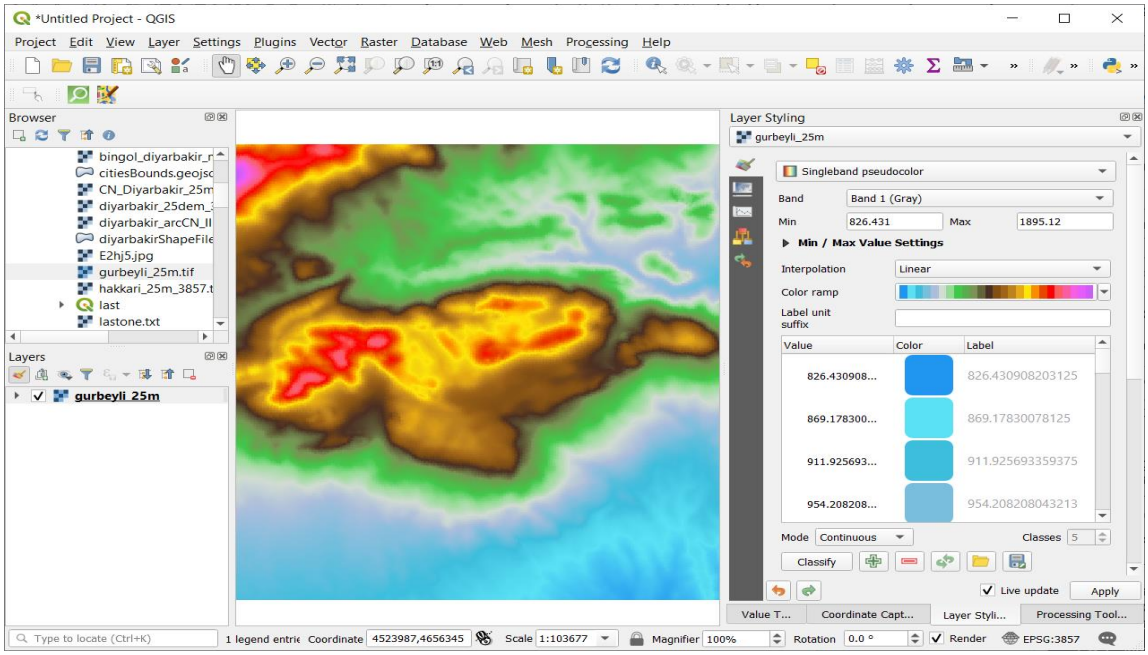
Bu tez çalışmasında GIS, çoğunlukla arazi yapısının incelenmesinde, havza karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Hidrolojik tasarım kendi içerisinde 3 kısımdan oluştuğu söylenebilir; arazi özelliklerini belirlemek, seçilen tahmin modeliyle debiyi belirlemek ve debiye göre tasarım yapmak. Bu tezin ana hedefini oluşturan tüm tasarımın bilgisayar ortamında yapılması amacı yukarıda belirtilen üç kısım için de çözümlerin getirilmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda farklı bilgisayar programları tezin amacı doğrultusunda kullanılmıştır.

2.1 Hidrolojik Analiz ve Tasarımda Kullanılan Bazı Bilgisayar Programları

2.1.1 QGIS

QGIS açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir GIS yazılımıdır (Anamelechi, 2021). Büyük verilerin işlenmesinde, veri görselleştirilmesinde oldukça kullanışlı olup Python programlama dili sayesinde kullanıcılara geliştirme ortamı sunmaktadır. Özellikle içerdiği eklentilerin çokluğu ve Python ile geliştirilebilmesinden ötürü araştırma enstitüleri tarafından öğretilir (Ellsäßer vd., 2020). Şekil 2.1'de QGIS programının genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.2 QGIS'in genel görünümü.

QGIS açık kaynak kodlu ve geliştirilmeye uygun bir platform olduğu için zamanla içerisinde GIS ile ilişkili bilimlere ait algoritmalar geliştirilmiştir. Bu bilimlerden biri de Hidroloji'dir. Algoritmalar çoğunlukla 2007 yılında Göttingen Üniversitesi'ndeki araştırmacılar tarafından oluşturulan SAGA projesi altında bulunur.

Türkçe karşılığı Otomatik Jeolojik Analizler Sistemi olan SAGA kendi içerisinde Geomorfoloji, Hidroloji gibi bilimler için algoritmalar içermesinin yanında Raster verilerinin düzenlenmesi, vektör-poligon gibi nesnelerin geometrik işlenmesi konularında da detaylı algoritmalar barındırır. Hidroloji bilimi açısından Fill Sinks (Boşluk Doldurma), Strahler Order (Strahler Sıralaması), Flow Accumulation (Akış Toplamı), Flow Direction (Akış Yönü), Upslope (Yukarı-eğim) gibi algoritmalar bir havzanın tasviri için en önemli algoritmalardır. Bu algoritmalar Materyal ve Yöntem başlığı altında detaylı olarak incelenmiştir.

2.1.2 HEC-HMS

Türkçe karşılığı Hidrolojik Modelleme Sistemi olan HMS, Amerika Ordusu Mühendisler Birliği tarafından oluşturulmuş bir yazılımdır. Programın ana amacı dendritik havza sistemleri üzerinde komple hidrolojik analizlerle simülasyon yapmaktır (Scharffenberg vd., 2018). Bu hidrolojik işlemler içerisinde sızma, buharlaşma, yağış-akış modellemesi gibi birçok hidrolojik analiz bulunmaktadır.

HMS, tıpkı diğer bilgisayar yazılımları gibi doğadaki gerçek madde ve kavramları sanal ortamda temsil etmek için birtakım objeler geliştirmiştir. Bunlar arasında *subbasin, reach, junction, sink* gibi elementler sayılabilir.

Hidroloji doğadaki olayları matematiksel bir temel üzerinde deneysel çalışmalar ile açıklar. Bunu yaparken metotlar üzerinde çoğunlukla sınırlar ve limitler koyar. Bu nedenle bir olayın açıklanması için literatürde birçok metot ve yöntemin bulunması şaşırtıcı değildir. Buna örnek olarak yağış sonucu sızma kaybının tahmin edilmesi verilebilir. Öyle ki sızma kaybı modellemesinde Green Ampt, Horton, SCS-CN, Deficit ve Constant gibi literatürde var olan birçok model örnek verilebilir.

HMS'de yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü birbirinden farklı bütün hidrolojik süreçlerin simülasyonunda kullanılmak üzere birçok metot bulunmaktadır.

Programda sızma kayıpları için SCS Curve Number, Green and Ampt, Initial Constant, Smith Parlange gibi metotlar bulunur. Aynı şekilde akış metotları içerisinde birim hidrograf metotlarından SCS, Clark, Snyder ve modifiyeli diğer metotlar bulunmaktadır. Bunlar dışında HMS içerisinde bulunan metotlar hidrolojik sınıflardan ayrı olarak birtakım özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Tablo 2.1'de bu tür sınıflandırmalar belirtilmiştir.

Tablo 2.1 HMS'deki matematiksel modellerin kategorize edilmiş hali (Hydrologic Engineering Center, 2000)

Kategori	Tanım
Olay Bazlı veya Sürekli	Tek bir yağışa göre veya uzun süreli yağışlar altında havzanın tepkisi belirlenir. HMS'de çoğunlukla tek bir olaya göre simülasyon yapılır.
Toplu veya Dağınık	Coğrafik parametrelerin açıkça belirtildiği sistemler dağınık sistemler altında incelenir. Öyle ki bir havzanın ızgara şeklinde simülasyona tabii tutulması dağınık sistemlere örnek verilebilir. Toplu sistemlerde ise havza bir bütün halinde homojen kabul edilir.
Ampirik veya Kavramsal	Kavramsal metotlarda giriş çıkış parametreleri fiziksel, kimyasal veya biyolojik bilgilere göre hareket edilirken ampirik metotlarda giriş çıkış parametreleri arasında deneysel yollarla elde edilen katsayılar kullanılarak hareket edilir.
Deterministik veya Stokastik	Giriş parametreleri, işlem metotları açık bir şekilde kesin olarak verilen sistemler deterministik iken rastgele varyasyonların içerisinde dahil olan sistemler stokastik sistemler olarak tanımlanır. HMS'de tüm modeller deterministiktir.
Ölçülü veya Uydurulmuş Parametre	Parametrelerin ölçülerek modele girilmesi durumunda ölçülmüş olarak nitelendirilir. Giriş veya model parametrelerin giriş çıkış verilerine veya kalibrasyona göre uydurulması durumunda ise uydurulmuş parametre olarak nitelendirilir.

HMS'de Yağış Tanımlaması

Yağış hidrolojik bir sürecin temelini oluşturur. Öyle ki bir havzanın hidrolojik tepkisi üzerine düşen yağışın ve buharlaşmanın etkisine bağlıdır (Hydrologic Engineering Center, 2000). HMS'de yağış temel olarak doğrudan ölçülmüş yağış verilerine göre veya tekerrür bazlı varsayımsal yağış şeklinde simülasyona tabii tutulabilir. Bu iki gruba göre farklı analizler için geliştirilmiş yağış metotlarından en sık kullanılanları Tablo 2.2'de görülebilir.

Tablo 2.2 HMS'de sık kullanılan yağış metotları (Hydrologic Engineering Center, 2018)

Yağış metodu	Tanım
Frequency storm (tekerrür yağışı)	Bu yöntem, bir yağış olayı içinde çeşitli süreler için yağış derinliklerinin tutarlı bir aşılma olasılığına göre bir yağış olayı geliştirmek için kullanılır.
Gage weights (ölçüm kabı)	Bu yöntem, kullanıcı tanımlı yağış ölçerlere kullanıcı tarafından belirlenen katsayıları uygular.
Hypothetical storm (varsayımsal yağış)	Bu metot 24 saatlik scs yağış dağılımlarına göre uygulanır.
Specified hyetograph (belirli hiyetograf)	Bu metot kullanıcı tarafından belirtilen hiyetografı belirli bir althavza üzerine uygular.

HMS'de Sızma Kaybı Metotları

Yağış-akış ilişkisinde önemli bir yer tutan sızma kayıpları HMS'de birçok metot ile modellenebilmektedir. Her modelin kendine göre avantajları olmasına rağmen parametrelerin mevcut olup olmaması, seçilen sızma modelinin diğer süreçler için seçilen metotlar ile uyumluluğu gibi etmenlerden ötürü kullanıcı doğru sızma metodunu seçmelidir. HMS'de var olan sızma metotlarından en sık kullanılanları Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3 HMS'deki sızma modellerinden en sık kullanılanları

Model	Tanım
The Intial And Constant-Rate Loss Model (Başlangıç Ve Sabit Oranlı Kayıp Modeli)	İlk kayıp, yüzey akışı başlamadan önce havzaya sızacak veya depolanacak yağış miktarını belirtirken sabit oran, ilk kayıp karşılandıktan sonra oluşacak sızma oranını belirler. Olay bazlı simülasyonda kullanılmalıdır.
Scs Curve Number Loss (Scs Eğri Numarası Kaybı Modeli)	Havzanın toprak yapısı, arazi özelliklerine göre belirlenmiş bir eğri numarasına göre yağış kaybını belirler.
Deficit And Constant Loss (Eşik Ve Sabit Oranlı Kayıp Modeli)	Havzanın simülasyon başlangıcında belli bir miktar su ihtiva ettiği ve yağışla beraber bir maksimum eşik değerine kadar su tutup ardından sabit bir oranda sızmaya devam edilen sızma modelidir. Sürekli simülasyonlarda kullanılmalıdır.
Green And Ampt Loss Model (Green-Ampt Kayıp Modeli)	Toprağın üniform bir şekilde doymuş ve sonsuz derin olduğu varsayımı yapılarak richard denkleminin kullanımıyla sızma kaybını tahmin eder.

HMS'de Dönüştürme Metotları

Havza üzerine düşen yağışın sızma ve buharlaşma kaybından sonra akışa dönüştürülmesi ve havza çıkışına ötelenmesi gerekmektedir. HMS bu dönüştürmeyi yapmak için kullanıcıya toplamda dokuz tane model sunmuştur. Tablo 2.4'te bu modellerden en sık kullanılanları gösterilmiştir.

Tablo 2.4 HMS'deki dönüştürme modellerinden en sık kullanılanları

Model	Tanım
Clark Birim Hidrograf Modeli	Havza için hesaplanmış konsantrasyon süresi ve buna bağlı olarak bir ampirik regresyon denklemiyle hesaplanan depolama kapasitesi sayesinde birim hidrograf tahmin edilir.
SCS Birim Hidrograf Modeli	Üçgen birim hidrografın eğrisel birim hidrograf içerisine konulması ve düşen yağışın ağırlık merkezi ile pik debinin oluştuğu nokta arasındaki zamanı belirten gecikme süresi ile oluşturulur.
Snyder Birim Hidrograf Modeli	Kullanıcı tarafından belirlenen tepe katsayısı ve gecikme süresi Snyder'in belirlediği denklemlerin yardımıyla hazırlanır.
Kullanıcı Tanımlı Birim Hidrograf Modeli	Bir havzada birden çok yağış sonucu oluşan akışların gözlemlenmesi ile oluşturulur. Oluşturulan birim hidrografın süresi ile artık yağış süresinin aynı olmasını gerektirmektedir.

HMS'de Yönlendirme Modelleri

HMS'de kanal, akarsu, nehir gibi doğal oluşumları temsil etmek için Reach elementi kullanılır. Reach elementi kendi içerisinde birçok metot bulundurur. Bu metotlar genellikle temsil edilen su yolunun eğimi, kanal kesiti, uzunluğu gibi fiziksel özelliklerine göre seçilir. HMS'deki yönlendirme metotlarından en sık kullanılanları Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5 HMS'deki yönlendirme metotlarından en sık kullanılanları

Metot	Tanım
Kinematik Dalga Metodu	Kinematik dalga yönlendirme yöntemi, atalet ve basınç kuvvetlerini göz ardı ederek tam kararsız akış denklemlerini özetler. Ayrıca enerji eğiminin yatak eğimine eşit olduğu varsayılır. Sonuç olarak, bu yöntem en çok oldukça dik akarsular için uygundur. Doğal kanalların düzenli şekil ve eğimlere sahip olacak şekilde değiştirildiği kentsel alanlarda sıklıkla kullanılır.
Lag (Gecikme) Metodu	Lag yönlendirme yöntemi yalnızca taşkın dalgalarının ötelemesini temsil eder. Alıkoyma veya difüzyon süreçlerinin herhangi bir temsilini içermez. Sonuç olarak, akış derinliğinin zamanla değişmediği kısa kanal bölümleri için en uygun olan yöntemdir.
Muskingum Metodu	Muskingum yönlendirme yöntemi, akışı kanal boyunca yönlendirmek için basit bir kütle korunumu yaklaşımını kullanır. Ancak su yüzeyinin düz olduğunu varsaymaz. Doğrusal, ancak düz olmayan bir su yüzeyi varsayılarak, bir taşkın dalgasının yükselen tarafında artan depolamayı ve düşen taraf sırasında azalan depolamayı hesaba katar.
Muskingum-Cunge Metodu	Muskingum-Cunge yönlendirme yöntemi, kütlenin korunumu ile momentumun korunumunun birleşimine dayanmaktadır. Yönlendirme parametreleri, kanal özelliklerine ve akış derinliğine dayalı olarak her zaman adımında yeniden hesaplandığından, bazen değişken katsayı yöntemi olarak anılır. Taşkın dalgalarının zayıflamasını ve alıkoymayı temsil edip tatlı eğimli su yollarında kullanılabilir.

HMS'de Nesne Elementlerinin Tanımlaması

Yukarıda bahsedildiği üzere HMS'de doğal oluşumları temsil etmek için birtakım elementler kullanılır. Bu elementlerden tez dahilinde sadece Subbasin ve Sink elementleri kullanılmıştır. Tablo 2.6'da ise HMS içerisinde en sık kullanılan elementler bulunmaktadır.

Tablo 2.6 HMS'deki en sık kullanılan elementler

Element	Tanım
Subbasin (Althavza)	Althavza elemanı, fiziksel havzayı temsil etmek için kullanılır. Yağış verildiğinde, akışa geçecek su kütlesi, sızma-terleme gibi yağış kayıplarının çıkarılması ve taban akışının eklenmesiyle hesaplanır.
Reach (Ulaştırma)	Erişim elemanı, havza modelinde su kütlesini bir sonraki elemente ulaştırmak için kullanılır. Erişim elemanına gelen akış, bir veya daha fazla hidrolojik elementten gelebilir. Erişimden çıkan debi ise giriş hidrografının seçilen metoda göre ötelenmesiyle hesaplanır.
Junction (Düğüm)	Düğüm elemanı, kendisine gelen akışları birleştirmek için kullanılır. Bağlantı elemanına akış, bir veya daha fazla elementten gelebilir. Düğüm elemanı, gelen tüm akışı toplayarak ve bağlantıda depolama olmadığı varsayılarak basitçe bir sonraki elemente aktarır.
Source (Kaynak)	Kaynak elemanı, herhangi bir kaynaktan gelen akışı havza modeline dahil etmek için kullanılır. Kaynak elementine herhangi bir akış girişi söz konusu değildir.
Sink (Çıkış)	Çıkış elemanı, fiziksel su havzasının çıkışını temsil etmek için kullanılır. Çıkış elemanına gelen akış, bir veya daha fazla hidrolojik elemandan gelebilir. Çıkış elemanına gelen akış için bir çıkış yoktur. Dolayısıyla simülasyonun bittiği elementtir.

Tablo 2.6 (Devam)

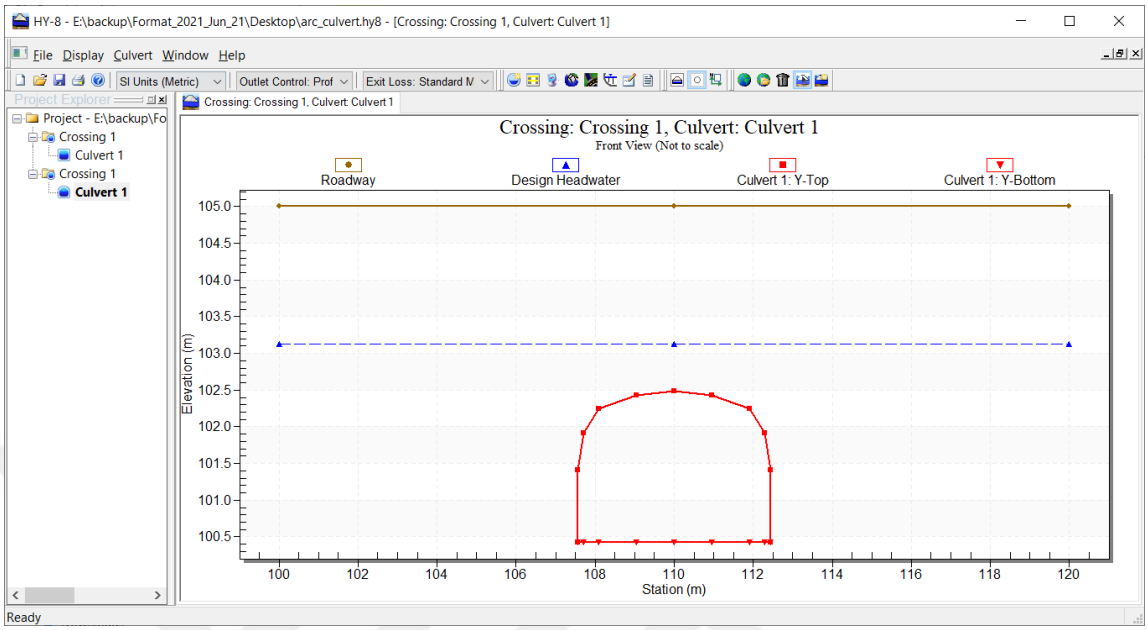
Reservoir (Rezervuar)	Rezervuar elemanı, gelen akışın bir rezervuar veya tutma havuzu nedeniyle tutulmasını ve enerjisinin kırılmasını modellemek için kullanılır. Rezervuar elemanına gelen akış, bir veya daha fazla hidrolojik elemandan gelebilir. Rezervuar elemanından çıkan akışın temsil edilmesi için üç farklı yöntem bulunu: depolama-çıkış, yükseklik-depolama-çıkış veya yükseklik-alan-çıkış.
Diversion (Ayırma)	Yönlendirme elemanı, ana kanaldan ayrılan su kütlesini akışını modellemek için kullanılır. Yönlendirme elemanına akış, bir veya daha fazla hidrolojik elemandan gelebilir.

2.1.3 PyQgis ve Python

Python genel amaçlı yüksek seviyeli bir programlama dilidir. Genel amaçlı ve kolay kod yazımından ötürü son yıllarda geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmıştır. PyQgis ise QGIS içerisinde Python kullanımını mümkün kılmak için oluşturulmuş bir ortamdır. Açık kaynak kodlu oluşu ve sahip oluğu geniş dökümanları sayesinde kullanımı yaygınlaşmış olup eklenti oluşturmak için kullanılır.

2.1.4 HY-8

HY-8 Amerikan Federal Karayolu İdaresi tarafından kullanılan karayolu menfez yapılarının hidrolik hesaplarını yapmak için oluşturulmuş kullanımı nispeten basit bir bilgisayar programıdır (HY-8 User Manual, 2021). Program menfezlerin performanslarını analiz etmede, birden çok göze sahip menfezlerin analizinde ve yol şeriti üzerinde taşma olup olmayacağı konusunda başarılıdır. Basit oluşu, geniş görselliği, detaylı analiz çıktıları sayesinde menfezlerin tasarımında rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil 2.3 HY-8 programının genel görünüşü.

2.2 Önceki Çalışmalar

GIS teknolojisi coğrafik verilerin görselleştirilmesini, analiz edilmesini, elde edilmesini ve farklı uygulamalar için uygun hale getirilmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan Hidroloji ise çoğunlukla uzaysal verilere ihtiyaç duyan metot ve modellere sahiptir. Dolayısıyla GIS ve Hidroloji Bilimi'nin entegrasyonu tamamen doğal bir sonuçtur (Singh vd., 1996).

GIS ve Hidroloji hakkında çıkarılan makaleler 1990 yılından önce yılda ortalama 10 tane iken 2015-2016 yılında yıllık 180'den fazla makaleye ulaşmıştır (Korres ve Schneider, 2017). Bunun nedenleri arasında GIS ve DEM (Dijital Yükseklik Modeli)'nin son yıllarda önemli ölçüde gelişmesi ile yeni araştırma tekniklerinin ve bu iki teknolojinin yeni uygulama alanlarının ortaya çıkması söylenebilir (Bruins vd., 2019).

Hidroloji kendi içerisinde birçok disiplinden oluşan geniş bir bilim olduğu için GIS'in farklı amaçlarla kullanılması olağandır. Öyle ki; (Ames vd., 2009) Idaho'daki akarsu yataklarının geometrilerini GIS'ten elde edilen havza özelliklerini kullanarak elde etmeleri, (Strager vd., 2010) GIS kullanarak Havza Karakterizasyon ve Modelleme Sistemi (WCMS)'ni oluşturmaları, (Jain vd., 2001) bir Himalaya havzasının toprak erozyonunu GIS ile tahmin etmesi örnek verilebilir.

Bu tez çalışmasının ana temelini oluşturan GIS ile debi tahmini yapılması üzerine ise; (Kumar vd., 2021) Sind nehir havzasının SCS-CN ve GIS teknikleri kullanılarak yüzey akışını tahmin etmesi, (Ezz, 2018) Assiut havzasının yüzey akışını modellemek için GIS ve HEC-RAS'ı entegre etmesi, (Munna vd., 2021) ARC-GIS ve HEC-RAS kullanarak SCS-CN yöntemiyle Surma havzasının akış tahminini yapması gibi çalışmalar örnek teşkil etmektedir. Aynı zamanda tez dahilinde kullanılan HEC-HMS için şu çalışmalar gösterilebilir: (Ramly vd., 2016) HEC-GeoHMS ve HEC-HMS'nin Taşkın Simülasyonu için Yağış-Akış Modeli Olarak Uygulanması, (Panigrahi vd., 2014) Balijore Nala havzası için HEC-HMS modeli kullanılarak yağış-akış sürecinin simülasyonu.

Bir diğer program olan QGIS ise bir hidroloji uygulamasından öte bir GIS programı olduğu için debi tahmini yapması beklenemez. Bunun yerine havza özelliklerinin tespit edilmesi, akarsu ağının ortaya çıkarılması, havza tasviri gibi konularda kullanılır. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan (Zamfir ve Simulescu, 2011) DEM verisi kullanılarak Oltet havzasının otomatik tasviri, (Pella ve Ose, 2018) QGIS ile akarsu ağı analizi ve yönlendirme örnek verilebilir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu başlık altında tezin genel amacı olan tasarım debisinin GIS ile tahmin edilmesi üzerine kullanılan materyaller ve metotlar anlatılmıştır. Ayrıca tezin amacı doğrultusunda seçilen çalışma alanlarının özelliklerinden bahsedilmiştir. Bunun haricinde elde edilen debi ile bir menfezin hidrolik hesapları yapılmıştır.

3.1 Materyal

Bu tez çalışmasında başlıca QGIS, QSCS, HEC-HMS, HY-8 adlı bilgisayar programları kullanılmıştır. Bunun yanında Excel, HEC-DSSVue programlarından da yararlanılmıştır.

3.2 Yöntem

Bu tezde bir havza üzerine düşen yağış sonucu oluşacak akışın tahmin edilmesinde programatik yöntem kullanılıp işlemler bilgisayar ortamında yapılmıştır. Yapılan işlemlerin arka planını oluşturan teorik bilgilerin iyice anlaşılması programatik yöntemin daha iyi kullanılması açısından önemli olduğu için ayrıca teorik yöntem bu başlık altında incelenmiştir.

3.2.1 Teorik yöntem

Bir dere veya akarsu gibi su yolunun üzerine yapılacak sanat yapısının tasarımı için debi gerekmektedir. Debiyi elde etmek için ise öncelikle su kanalını besleyen havzanın tespit edilmesine ihtiyaç vardır. Havza tasviri GIS'ten önce topoğrafik haritalarla yaklaşık bir çizim ile tespit edilirdi. Günümüzde ise GIS teknolojisini kullanan ArcGIS, QGIS gibi programlar sayesinde belirlenmektedir.

Havza tasviri debi elde etmek için atılan ilk adım olduğu söylenebilir. Sonraki adımda ise havza üzerine yağış düşürülmesi ve oluşacak akışın tahmin edilmesi gerekmektedir.

Yağışın akışa dönüştürülmesi gözlemsel verilere dayanan matematiksel metotlar ile mümkündür. Bu bağlamda literatürde birçok yağış-akış metodu bulunmaktadır. Bunlardan basitliğinden ve esnekliğinden ötürü dünya çapında sıkça kullanılan NRCS(Natural Resources Conservation Service) yöntemi bu tez çalışmasında seçilen ve uygulanan yöntemdir (Thakuriah ve Saikia, 2014).

NRCS Yöntemi

Eski adıyla SCS-CN yöntemi olan NRCS yöntemi 1969 yılında Amerika Toprak Koruma Servisi tarafından toplam yağıştan toplam akışı tahmin etmek için geliştirilmiştir. Metodun amacı akım ölçüm istasyonu olmayan ama yağış verileri ve havza karakteristikleri kolaylıkla belirlenebilen küçük tarım havzalarında yağış sonucu oluşacak doğrudan akışı tahmin etmektir (USDA, 2004). Metot yağış-akış ilişkisinin incelendiği alanlarda dünya üzerinde birçok ülke tarafından sıklıkla kullanılmaktadır (Mishra ve Singh, 2003).

NRCS metodu belirli bir zaman aralığı için kütlenin korumuna dayanır (Thakuriah ve Saikia, 2014). Buna göre;

$$P' = I_0 + F' + Q' \tag{3.1}$$

Burada;

"P'" toplam yağışı; "I_0" başlangıçtaki kayıbı; "F'" toplam sızmayı ve "Q'" doğrudan akışı temsil etmektedir.

NRCS metodu konsept olarak Mockus tarafından toplam yağış – toplam akış eğrilerini incelemesi üzerine ortaya çıkardığı ve I_0 = 0 kabul edildiği şu ilişkiye dayanır (Mockus, 1949):

$$\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{S}} = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{P}} \tag{3.2}$$

Burada;

tümü *mm* cinsinden olmak üzere "F" akış başladıktan sonraki mevcut su tutulmasını; "S" akış başladıktan sonraki potansiyel maksimum alıkoymayı(su tutulmasını); "Q" mevcut akışı ve "P" mevcut yağışı temsil etmektedir.

Denklem 3.1'i F cinsinden yazıp başlangıç kaybını *0* kabul edersek *Denklem 3.1* şu hale gelmektedir:

$$F = P - Q \tag{3.3}$$

ve bu denklemi 3.2'de yerine yazarsak;

$$\frac{P - Q}{S} = \frac{Q}{P} \tag{3.4}$$

elde ederiz. Denklem 3.4'ü Q cinsinden ifade edersek;

$$\frac{P^2}{P+S} = Q \tag{3.5}$$

Elde edilen *Denklem 3.5* başlangıç kaybı olmayan yağış-akış ilişkisini gösterir. Başlangıç kaybı *0* olmadığında akışa geçecek yağış *P* yerine *(P-I_a)* olmaktadır. Bu durumda *Denklem 3.2* de P yerine *(P-I_a)* ve *F* yerine *Denklem 3.1*'deki karşılığı yazılırsa *Denklem 3.2* şu hale gelmektedir:

$$\frac{P - I_a - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \tag{3.6}$$

Denklem 3.6'yı *Q* için çözersek şu denklemi elde ederiz:

$$\frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} = Q \tag{3.7}$$

Elde edilen bu denklem başlangıç kaybını içeren ve yağış-akış ilişkisini gösteren denklemdir. Bu denklem *Q* için çözülmeye çalışıldığında *P*, I_a ve *S*'in bilinmesi gerekmektedir. *P* yağışı temsil ettiği için IDF(Intensity-Duration-Frequency) eğrilerinden elde edilen 24 saatlik vasayımsal yağış yüksekliklerinden tahmin edilebilir.

S maksimum potansiye alıkoymayı temsil etmektedir ve eğri numarasına bağlı bir parametredir. Genel olarak sızmanın, toprak kullanımının, toprak neminin ve depresyon depolamasının bir fonksiyonudur. *S* için *CN*'ye bağlı şöyle bir denklem geliştirilmiştir:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{3.8}$$

Burada;

S, mm cinsinden yazılmıştır. *S* ve *P* biliniyorken Denklem 3.7'yi çözebilmek için I_a' nın değerinin bilinmesi gerekmektedir.

Başlangıç kaybı veya başlangıçtaki alıkoyma olarak ifade edilen I_a, bir havzada akış başlamadan önce buharlaşma, sızma, bitki örtüsü kanopisi tarafından meydana gelen alıkoyma, yüzeydeki su birikmesi gibi bütün kayıpları içerir (Gribbin, 2012). Dolayısıyla bir akış olabilmesi için yağışın başlangıç kaybından fazla olması gerekir.

Başlangıç kaybının tahmin edilmesi kolay değildir. Bu yüzden *S* ile I_a arasında deneysel bir bağıntı geliştirilmiştir:

$$I_a = 0.2S \tag{3.9}$$

Denklem 3.7'deki başlangıç kaybı yerine Denklem 3.9'daki ifade yazılırsa Denklem 3.7 şu hale gelmektedir:

$$\frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} = Q \tag{3.10}$$

Denklem 3.10 belirli bir zaman aralığında havzaya düşen yağıştan akış hacmini tahmin eder. Elde edilen akışa geçecek toplam su hacmi olduğu için doğrudan pik debiyi vermez. Pik debiyi hesaplamak için Grafiksel Pik Debi Metodu kullanılılır (McCuen, 1998). Buna göre;

$$q_p = q_u A_m Q F_p \tag{3.11}$$

Burada;

"q_p" pik debi (m^3/s); "q_u" birim pik debi ($m^3/s/km^2/mm$); "A_m" drenaj alanı (km^2); "Q" doğrudan akış (mm) ve "F_p" ayarlama faktörünü temsil etmektedir.

A_m, bir havza için GIS veya topoğrafik haritalar kullanılarak tahmin edilebilir. Q, CN ve yağış derinliğine göre Denklem 3.10 kullanılarak belirlenir. F_p, havza içerisinde bulunan gölet ve bataklık alanlarının konsantrasyon süresinin hesabına dahil edilmediği durumda Tablo.3'e göre belirlenir. q_u, yağış dağılımı ve I_a/P oranına bağlı olarak şu denklem ile belirlenir:

$$\log q_u = C_0 + C_1 \log t_c + C_2 (\log t_c)^2 - 3.3552 \tag{3.12}$$

Burada;

C_0, C_1 ve C_2 katsayılar olup Tablo.4'ten bulunabilir. t_c ise konsantrasyon süresini göstermektedir.

Tablo 3.1 Havzada bulunan gölet ve bataklık alanları için Ayarlama Faktörü (USDA, 1986)

Gölet ve bataklık alanlarının yüzdesi	**F_p**
0	1.00
0.2	0.97
1.0	0.87
3.0	0.75
5.0	0.72

Tablo 3.2 Yağış Dağılımı ve Ia/P oranına dayalı katsayılar.

Yağış Tipi	I_a/P	C_0	C_1	C_2
SCS - TYPE II	0.1	2.553	-0.615	-0.164
	0.3	2.465	-0.623	-0.117
	0.35	2.419	-0.616	-0.088
	0.4	2.360	-0.599	-0.056
	0.45	2.292	-0.570	-0.023
	0.5	2.203	-0.516	-0.013

Denklem 3.12'de yer alan t_c, konsantrasyon süresi, bir havzada hidrolik açıdan en uzak noktadan başlayan akışın havza çıkış noktasına varmasına kadar geçen süredir. Konsantrasyon süresi için çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bunlardan Havza Gecikme Metodu Mockus tarafından 1961'de geliştirilmiştir. Farklı karakteristiklere sahip havzalarda kullanılabilen bu metot şu denkleme dayanmaktadır:

$$L = \frac{l^{0.8}(S + 25.4)^{0.7}}{7068.33 * Y^{0.5}} \tag{3.13}$$

Burada;

"L" gecikme süresi (sa); "l" akış uzunluğu (m); "S" maksimum potansiyel alıkoyma (mm); "Y" ortalama havza eğimini (%) göstermektedir.

Denklem 3.13 konsantrasyon süresi yerine gecikme süresini elde etmektedir. Konsantrasyon süresi için yapılan araştırmalar sonucunda ortalama havza koşullarına sahip bir havzada gecikme süresi ve konsantrasyon süresi arasında şöyle bilr ilişki geliştirilmiştir:

$$L = 0.6T_c \tag{3.14}$$

Burada;

"L" gecikme süresini (sa) ve "T_c" konsantrasyon süresini (sa) göstermektedir.

3.14 bağıntısı Denklem 3.13'te yerine konulursa şu formül elde edilir:

$$T_c = \frac{l^{0.8}(S + 25.4)^{0.7}}{4241 * Y^{0.5}} \tag{3.15}$$

Mockus, Havza Gecikme Metotunu çoğunluğu 8 km^2' lik alana sahip havzaları inceleyerek elde etmiştir. Bununla birlikte Folmar ve Miller 49 km^2' lik alana sahip havzalarda kullanılabileceğini göstermiştir (Folmar vd., 2007).

Teorik yöntemin daha iyi anlaşılması için aşağıda bir örnek verilmiştir. Örnekte Diyarbakır'ın Lice ilçesinde 8.27 km^2 alana sahip bir havzanın pik debisi elde edilmiştir. Havzaya ait karakteristikler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Örnek için seçilen havzanın karakteristikleri

Parametre	Değer
Alan (km^2)	8.27
Eğri Numarası	75.6
Konsantrasyon Süresi (saat)	1.77
24 Saatlik Yağış (mm)	52.8

Örnek

Öncelikle Tablo 3.1'de verilen değerler SI birim sisteminde olduğu için NRCS denklemlerinde bir dönüştürmeye ihtiyaç yoktur. Buna göre;

Havza alanı (A_m) 8.27 km^2, 24 saatlik yağış (P) 52.8 mm'dir.

Pik debiyi hesaplamak için öncelikle S (*maksimum potansiyel alıkoyma*)'yı hesaplamak gerekir. Bunun için Denklem 3.8 kullanılabilir. Buna göre;

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = \frac{25400}{75{,}6} - 254 = 82\ (mm)$$

bulunur. P biliniyorken ve S bulunduktan sonra Denklem 3.10 kullanılarak Q (akış derinliği) bulunabilir. Buna göre;

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} = \frac{(52.8 - 0.2 * 82)^2}{52.8 + 0.8 * 82} = 11.19(mm)$$

bulunur. Pik debiyi hesaplayabilmek için q_u (birim pik debi)'yi bulmak gerekir. Bunun için konsantrasyon süresi bilinmek kaydıyla Denklem 3.12 kullanılabilir. Denklem 3.12'de bulunan katsayıların hesaplanması için I_a/P oranının tespit edilmesi gerekmektedir. Buna göre;

$$\frac{I_a}{\mathrm{P}} = \frac{0.2 * S}{52.8} = \frac{0.65}{52.8} = 0.31$$

bulunur. I_a/P oranı bilindiğine göre enterplasyon yöntemiyle Denklem 3.12'deki katsayılar hesaplanabilir. Bu değerler Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4 SCS-TYPE II'ye göre Denklem 3.12'deki katsayıların değeri

Yağış Tipi	I_a/P	C_0	C_1	C_2
SCS - TYPE II	0.31	2.4558	-0.6216	-0.1112

Katsayılar belirlendikten sonra Denklem 3.12 kullanılabilir. Buna göre;

$\log q_u = 2.46 - 0.62 \log 1.77 - 0.11(\log 1.77)^2 - 3.3552 = -1.0652$

$q_u = 0.086$

bulunur. Tüm değişkenler bilindiğine göre Denklem 3.11 kullanılabilir. Buna göre;

$q_p = q_u A_m Q F_p = 0.086 * 8.27 * 11.19 * 1 = 7.96\ (m^3/s)$

bulunur. Bulunan pik debinin SI sistemindeki karşılığı ise *7.96 m^3/s* olarak tespit edilir.

3.2.2 Programatik Yöntem

Programatik yöntem olarak isimlendirilen bu başlık altında esas olarak teorik yöntemin bilgisayar yazılımlarıyla desteklenip tüm çalışmanın daha hızlı, daha doğru ve daha rahat yapılması hedeflenmiştir. Teorik yöntemde örnek olarak verilen havzanın karakteristikleri aslında topoğrafik gerçek haritalardan değilde bilgisayar ortamında hazırlanmış verilerin yardımıyla belirlenmiştir. Programatik yöntemde ise verilerin nasıl alındığı, hangi algoritmaların kullanıldığı, işlemlerin ne sırayla yapıldığı gibi konular işlenmiş ve tez çalışması kapsamında iki havza detaylı simülasyonlar altında hidrolojik olarak modellenmiştir. Ayrıca bir havzanın çıkışına yapılacak menfez tipi sanat yapısının hidrolik hesapları yine bu başlık kapsamında hazırlanmıştır.

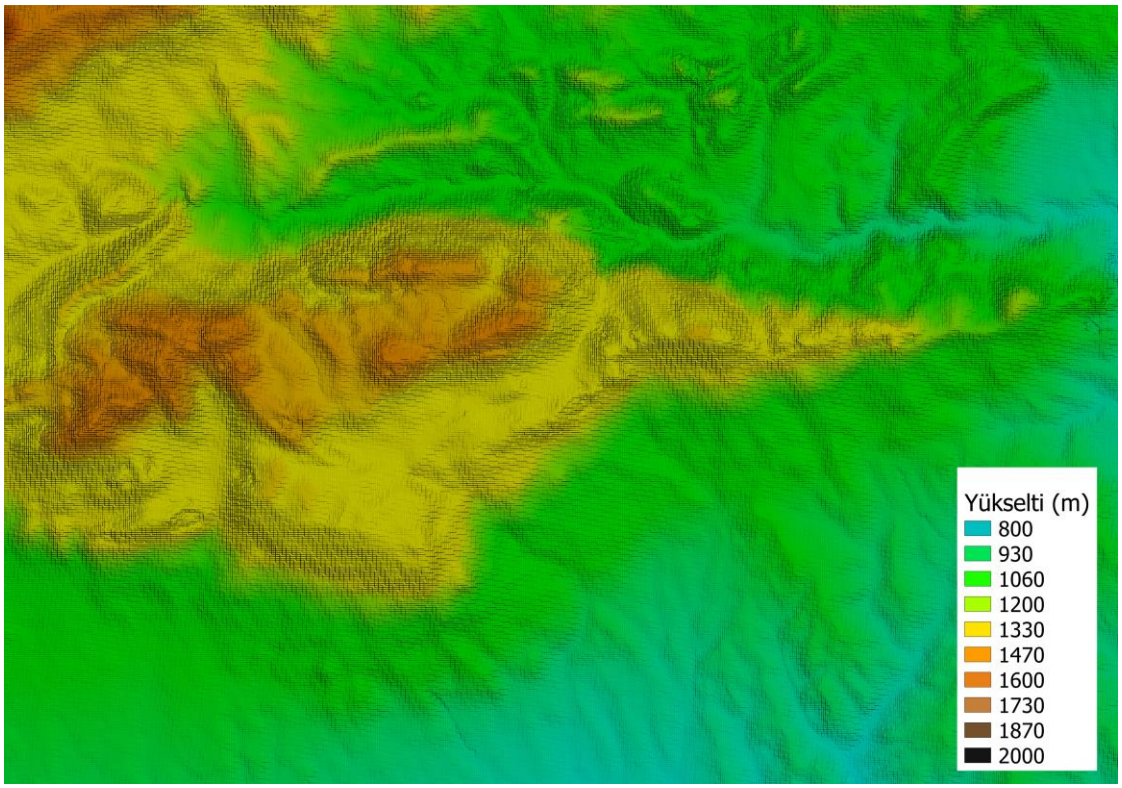
3.2.2.1 Algoritmalar

Bu başlık altında pik tasarım debisini elde etmek için uygulanacak olan Programatik yöntemde, kullanılan algoritmalar incelenmiştir. Algoritmaların detaylı anlatılması programatik yöntemin limitlerinin ve uygulama alanlarının anlaşılması için gerekli görülmüştür.

DEM – Dijital Yükseklik Modeli

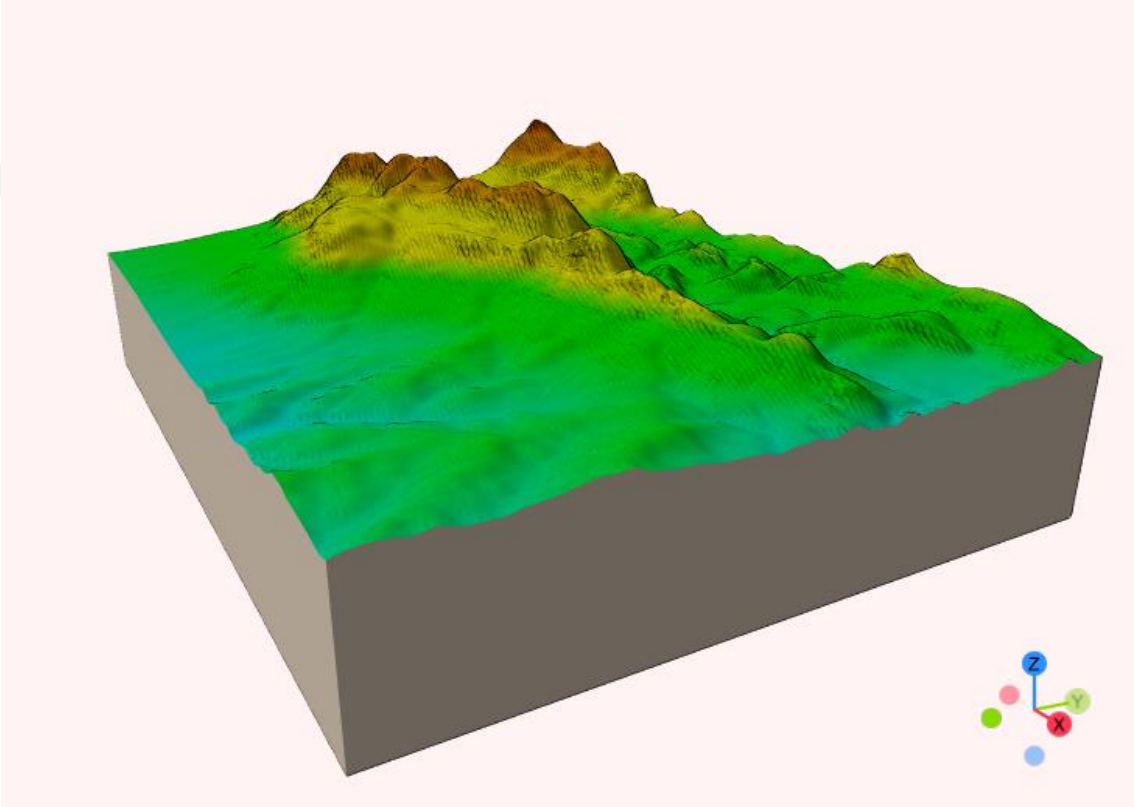
Dijital Yüksekli Modeli (DEM) kısaca topoğrafik haritaların dijital ortamdaki temsilcileri olarak tanımlanır (Garbrecht ve Martz, 2000). Sıkça kullanılan DEM tiplerinden biri de raster tipi DEM'dir. Raster'lar genel olarak bir bölgeyi "hücreler" veya "pikseller" adı verilen dikdörtgenlere bölen ve bu hücrelerin her biri için bir veya daha fazla veriyi depolayabilen uzaysal bir veri yapısı olarak tanımlanır (Hijmans, 2016). DEM'lerdeki rasterlarda ise her hücreye, üzerinde bulunduğu kara (veya su) yüzeyinin yükseklik değeri verilir (Shingare ve Kale, 2013). DEM rasterlarının hücreleri hemen hemen her boyutta olabilir ancak en sık olarak 5 ile 30 metre aralığında kullanılırlar.

DEM'ler kendileri üzerinde uygulanan matematiksel algoritmalar ile hidrolojik modelleme için veri sağladıklarından ötürü programatik yöntemin en önemli elemanlarıdır. Bununla beraber doğrudan modellemede kullanılamayıp üzerinde işlemler yapılmasına ihtiyaç duymaktadırlar. Şekil 3.1'de bir DEM verisinin görselleştirilmiş hali verilmiştir.



Şekil 3.1 Lice için DEM verisinin görselleştirilmiş hali

DEM verisi koordinat düzleminde apsis ve ordinatı gösteren hücrelerle beraber bir yükselti verisi içerdiğinden ötürü 3 boyutlu oldukları söylenebilir. Şekil 3.1'de verilen DEM verisinin 3 boyutlu gösterimi QGIS'te Qgis2threejs eklentisi ile hazırlanmış olup Şekil 3.2'de verilmiştir.

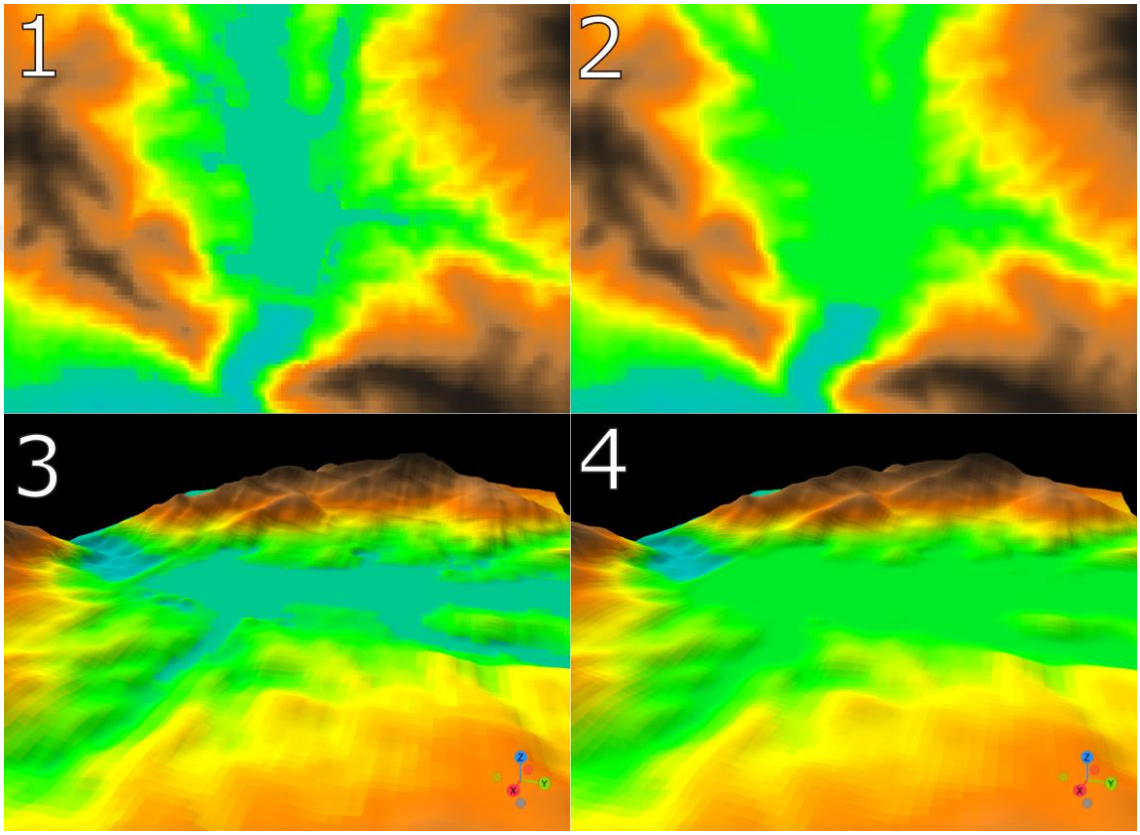


Şekil 3.2 DEM verisinin 3 Boyutlu gösterimi

Boşluk doldurma algoritması (Fill sink)

DEM verileri hidrolojik modelleme için doğrudan kullanılacak durumda değillerdir. Buna elverişli hale getirmek için birtakım işlemlerden geçirmek gerekmektedir. Bu işlemlerden ilki Fill Sinks Algoritması denilen DEM verisindeki çukurları, su tutabilen rezervuar haline gelmiş göçükleri modellemeye uygun hale getiren algoritmadır (Baye, 2018). Bu tür çukurlar daha sonra anlatılacak olan su yolu ağlarının elde edilmesinde ciddi problemler oluşturmaktadır. Öyleki havza üzerine düşen yağış akışa geçtiğinde bu çukurlarda birikip çıkış hidrografını etkilemektedirler.

Şekil 3.3'te bir barajın rezervuarı ve kret kotu arasındaki yükseklik farkından ötürü oluşan bir çöküntünün Fill Sinks algoritmasının gerçekleştirilmesinden önceki ve sonraki durumlarını göstermektedir.



Şekil 3.3 1 numaralı görsel Fill Sinks algoritmasından önceki DEM verisini gösterirken 2 numaralı görsel algoritmanın uygulanmasından sonraki DEM verisini göstermektedir. 3 ve 4 nolu görseller ise 1 ve 2 numaralı DEM verilerinin sırasıyla üç boyutlu gösterimlerini içermektedir

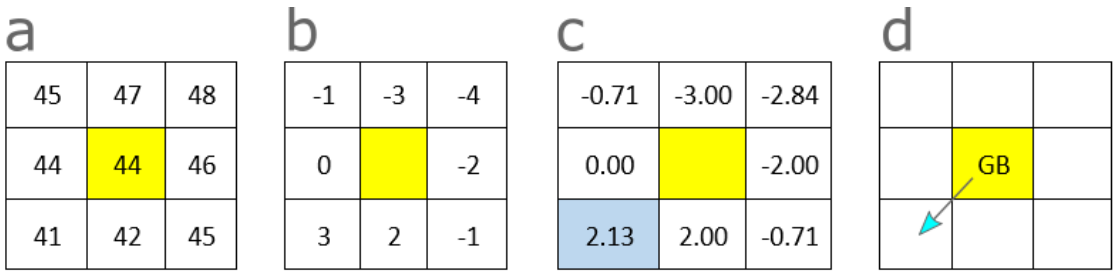
Fill Sinks Algoritması genel olarak çevresindeki hücrelere göre yükseltisi az olan hücrelerin, çevresindeki hücrelerle eş yükseltiye sahip olmasını sağlamaktadır (Al-Abadi vd., 2016). Bu işlem çevresine göre düşük kotta buluan tek bir hücre için rahatlıkla yapılabilirken birden çok hücrelerin bir gölet şeklinde oluşturdukları çukurlar için faklı bir yol seçilmesi gerekmektedir. Bunun gibi çoklu hücresel çöküntülerde öncelikle çöküntüyü oluşturan hücreler kendilerinden daha düşük bir yükseltiye sahip bir çıkış hücresine kadar iterasyonla belirlenir.

Daha sonra çıkış noktasına komşu ve aynı zamanda çöküntüyü oluşturan hücrelerden biri olmak kaydıyla bir hücre seçilir. Seçilen hücrenin yükseltisi kaydedilir ve çukuru oluşturan diğer hücrelerin yükseltilerine atanır.

Akış yönü algoritması (Flow direction)

Su yerçekiminden ötürü yüksek kottan düşük kota doğru bir yörünge izler. Dolayısıyla bu algoritmada akış yönünü belirlemek için her hücrenin komşu hücrelerle arasındaki yükseklik farkı ölçülür. Daha sonra her hücrenin komşu hücresiyle eğimi hesaplanır. İki komşu hücre arasındaki en yüksek eğime göre akış yönü belirlenir (Karami vd., 2021). Aynı zamanda akış yönü hesaplanmadan önce DEM verisindeki çöküntülerin doldurulması dolayısıyla Fill Sinks algoritmasının çalıştırılması gerektiği unutulmamalıdır. Şekil 3.4'te algoritmanın işlem adımları gösterilmiştir.

Algoritma öncelikle DEM verisinden 3x3'ten oluşan bir veri bloğunu alır (Şekil 3.4.a). Daha sonra bloğun merkezinde bulunan hücre ile komşu hücreleri arasındaki kot farkları hesaplanır (Şekil 3.4.b). Kot farkları, sırasıyla merkez hücre ile komşu hücreler arasındaki fiziksel uzaklıklara bölünerek eğimler bulunur (Şekli 3.4.c). Hesaplanan en yüksek eğim akış yönünü gösterir (Şekil 3.4.d). Eksi işaretli eğimler akış yukarı yönler olduğu için akış yönünü temsil edemezler.



Şekil 3.4 Flow Direction Algoritmasının dört temel adımı(GB, güneybatı yönünü temsil eder)

Akış biriktirme algoritması (Flow accumulation)

Akış biriktirme algoritması akış doğrultusundaki bir hücreye su taşıyan-katkı sağlayan bütün hücrelerin belirlenmesi gerçekleştirir (Marques da Silva ve Silva, 2008). Bunu yaparken DEM verisi içerisindeki her hücreye bir birimlik temsili akış miktarı verir. Ardından akış miktarları Flow Direction algoritması ile elde edilen akış yörüngesi doğrultusunda sürekli toplanırlar. Bu sayede bir akış ağı oluşturulmuş olur.

a

*	*	*	*	*	*	*	*
*	GD	D	G	GD	GD	G	*
*	G	GD	GD	G	G	G	*
*	GD	D	D	D	D	D	*
*	D	D	KD	KD	KD	K	*
*	D	D	KD	K	K	K	*
*	KD	KD	K	K	KB	K	*
*	*	*	*	*	*	*	*

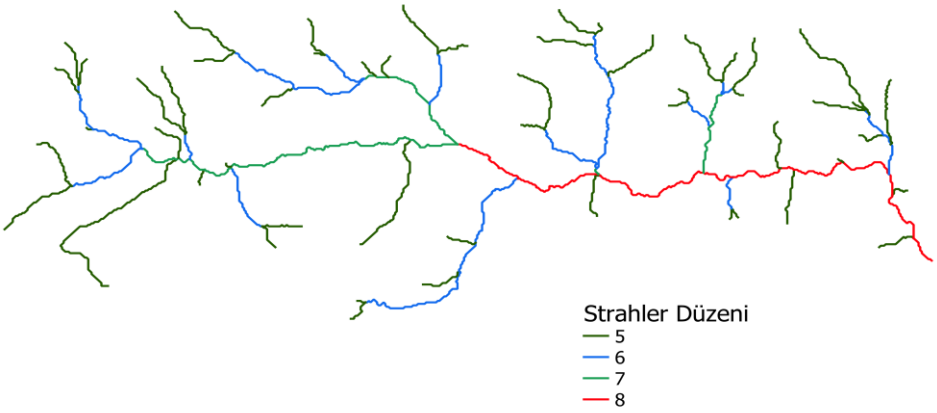
b

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	1	1	1	1
1	1	2	3	1	2	3	1
1	2	1	4	14	27	36	1
1	1	4	5	10	2	3	1
1	1	3	6	3	1	2	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Şekil 3.5 Akış Biriktirme algoritmasının basitleştirilmiş adımları. Şekil a) akış yönleri, Şekli b) akış aşağı yönde akış miktarlarının toplamları.

Strahler düzeni algoritması (Strahler order)

Bir akarsu düzeni sistemi olan Strahler düzeni günümüzde en sık kullanılan sistemlerden biridir (Gleyzer vd., 2004). Strahler düzeninde akarsular birinci dereceden başlatılarak sınıflandırılırlar. Derecesi aynı olan iki akarsu kolunun birleşim yaptığı ve devam ettiği akarsu kısmında derece bir artırılır. Böylece farklı derecelere sahip bir akarsu ağı oluşturulmuş olur. Şekil 3.6'da bir akarsu ağının Strahler dereceleri verilmiştir.

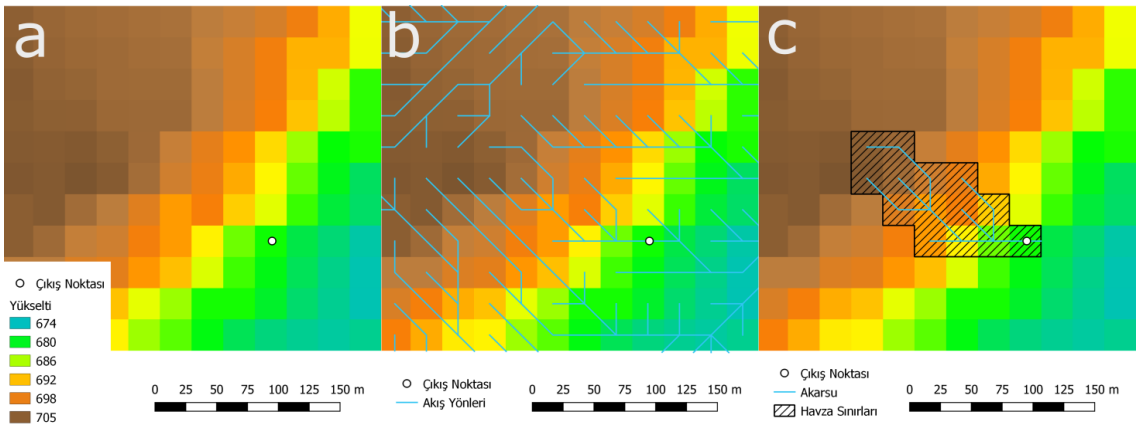


Şekil 3.6 Bir akarsu ağının Strahler düzeni

Yukarı eğim algoritması (Upslope)

Bir DEM raster verisi üzerinde seçilen bir noktaya yağış sonucu oluşan akış katkısını belirler (Erskine vd., 2006). Daha açık bir ifadeyle havza sınırlarını belirleyip havza tasviri tamamlar.

Yukarı eğim algoritması havza tasviri için öncelikle çıkış nodunun koordinatlarına ihtiyaç duyar. Bununla birlikte DEM verisi üzerinde gerçekleştirilmiş Akış yönü ve Strahler Düzeni algoritmalarının çıktıları gerekmektedir. Yukarı eğim algoritması önceden elde ettiği akış yönlerini kullanarak çıkış noduna akış katkısında bulunan diğer hücreleri belirler. Elde edilen hücrelerin bütünü bir althavza oluşturur ve böylelikle havza tasviri yapılmış olur. Daha özet bir ifadeyle Strahler Düzeni sonucu oluşan akarsu kollarından çıkış noktasından geçen kol belirlenir ve elde edilen kol ile bağlantılı akış yukarı kısmında bulunan diğer kollar iterasyon ile bulunur. Yapılan işlemleri özet hali Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Upslope algoritmasının DEM üzerindeki etkisi. a) bir DEM raster verisi, b) akış yönlerinin DEM verisi üzerinde gösterimi, c) çıkış noktasına katkıda bulunan bütün akarsu kollarının belirlenmesi ve havzanın sınırlarının gösterimi.

3.2.3 QSCS

Programatik yöntem yukarıda anlatıldığı gibi birçok algoritmanın karmaşık uygulamlarını içeren bir işlemler bütününden oluşmaktadır. Bu durum programatik yöntemin kullanılmasının bir amacı olan "daha kolay" ifadesi ile ters düşmektedir. Dolayısıyla yukarıda anlatılan algoritmaların bir bütün dahilinde bir bilgisayar yazılımı ile yapılması ihtiyacı doğmuştur.

QSCS, yukarıda anlatılan nedenlerden ötürü bu tez çalışması kapsamında yazılmış bir QGIS eklentisidir. Eklentinin amacı havza karakteristiklerini belirleyip HEC-HMS için bir şablon oluşturmaktır. QGIS ortamında PyQGIS kütüphanesi ve Python programlama dili ile geliştirilmiştir. Çoğunlukla QGIS dahilinde bulunan algoritmaları kullanmakla beraber NRCS yöntemi dahilinde bulunan parametrelerin tespitinde kendi algoritmalarını kullanır.

3.2.3.1 QSCS'in Genel Çalışma Sistemi

QSCS, yukarıda söylendiği gibi arazi yükselti ve arazi eğri numaralarını gösteren iki farklı raster dosyasını girdi olarak alıp birtakım işlemlerden sonra HEC-HMS şablonunu çıktı olarak veren bir eklentidir. Bu amaçla QSCS, ilk olarak arazi yükselti raster datasını alır ve arazide var olan lokal depresyonları yok etmek için Boşluk Doldurma(Fill Sinks) algoritmasını çalıştırır.

Lokal çöküntüler, bir sonraki adım olan Strahler akış düzeni için ciddi problem teşkil ettiği için raster üzerinde uygulanması gereklidir. Boşluk doldurma (Fill Sinks) işleminden sonra arazide doğal su yollarının tespit edilebilmesi için Strahler Düzeni algoritması çalıştırılır ve elde edilen her bir kanala Strahler dereceleri verilir. Strahler sayılarının, su kanallarının su taşıma kapasiteleri ile doğru orantılı olduğu unutulmamalıdır. Sonraki aşamada, elde edilen strahler sayılarına göre kullanıcıdan bir eşik (threshold) değeri girilmesi istenir. Bu değere göre ana havza alt havzalara ayrılacaktır ve bu değerin seçilmesi, üzerinde çalışılan akarsuyun büyüklüğüne bağlı olduğu unutulmamalıdır. Küçük dereler için tipik değerler 5 ve 6 iken büyük dereler ve akarsular için 7 ve 8 değeri, nehirler için 9 ve 10 değerleri tercih edilebilir. Daha sonra kullanıcıya su kanalları görsel olarak gösterilir ve bir deşarj noktasının seçilmesi istenir. Bu sayede çıkış nodunun koordinatları elde edilmiş olur. Bu işlemden sonra çıkış nodundan akış yukarı yönüne doğru havza tasviri yapılır. QSCS bu işlem için QGIS'te bulunan Yukarı eğim (Upslope) algoritmasını kullanır ve bu algoritma akış yukarı yönde her bir raster pikselinin komşu pikseldeki değerleri ile aralarındaki eğimi hesaplayarak havza sınırlarını belirler. Sonraki adımda, elde edilen havza üzerinde daha sonraki işlemlerde performans artırmak amacıyla bazı işlemler uygulanır ve ana havza her biri bir akarsuyu içerecek şekilde alt havzalara bölünür. Bu sayede havza, NRCS yönteminde bulunan alan kısıtlamasını aşmadan birçok parçalara bölünmüş olur.

QSCS, daha sonra NRCS metodunda bulunan havza eğimi, konsantrasyon süresi gibi parametrelerin tahminini yapar ve eğri numaralarının hesaplanması için bir sonraki işleme geçer. Son işlem olan bu adımda, QSCS elde edilen havzaları ve NRCS parametrelerini HEC-HMS'ye aktarmak için bir şablon oluşturur ve bu şablonu kullanıcıya çıktı olarak verir.

QSCS python dili ile yazılırken doğru çıktılar verebilmek ve bir standartı takip edebilmek için kullanıcıya bazı kısıtlamalar uygulayıp birtakım öneriler sunmuştur. Bunların ilki CRS sistemi ile ilgilidir. Dünyanın şeklinden kaynaklı sıkıntıları giderebilmek için yıllardan beri birçok koordinat sistemi geliştirilmiştir. Bunlardan WMS servisleri tarafından sıkça kullanılan EPSG:4326, genellikle raster datalarının da CRS sistemi olarak kullanılmaktadır. QSCS, EPSG:4326 yerine ücretsiz ve açık veritabanı lisansına sahip olan Open Street Map servisinin kullandığı EPSG:3857 CRS sistemini kullanmaktadır.

Dolayısıyla QSCS başlatılmadan önce kullanılacak rasterin CRS sistemi EPSG:3857'ye dönüştürülmelidir. Bununla birlikte kullanılacak DEM verilerinin 25m veya 30m çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir.

QSCS'in daha çok dere ve akarsu olarak nitelendirilen su yataklarının debi tahmininde kullanılması tavsiye edilir. Bunlardan daha büyük olan nehirlerin debi tahmininde raster dataları büyüyeceği için hem işlem süresi hem de doğruluk değeri açısından problemler oluşabilmektedir. Bir diğer önemli husus ise ana havza alanının 49 km^2 den az olması durumunda ana havzanın alt bölümlere bölünmeden tek bir havza şeklinde seçilmesi kullanıcılara tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni NRCS yönteminin 49 km^2'den küçük havzalarda rahatlıkla kullanılabilmesidir. Alt havzalara bölünmesi durumunda alt havzalar arasında bağlantıyı sağlayan su kanallarının yönlendirme metodu ve parametreleri HEC-HMS'de kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir.

3.2.3.2 QSCS'te Bir Havzanın Modellenmesi

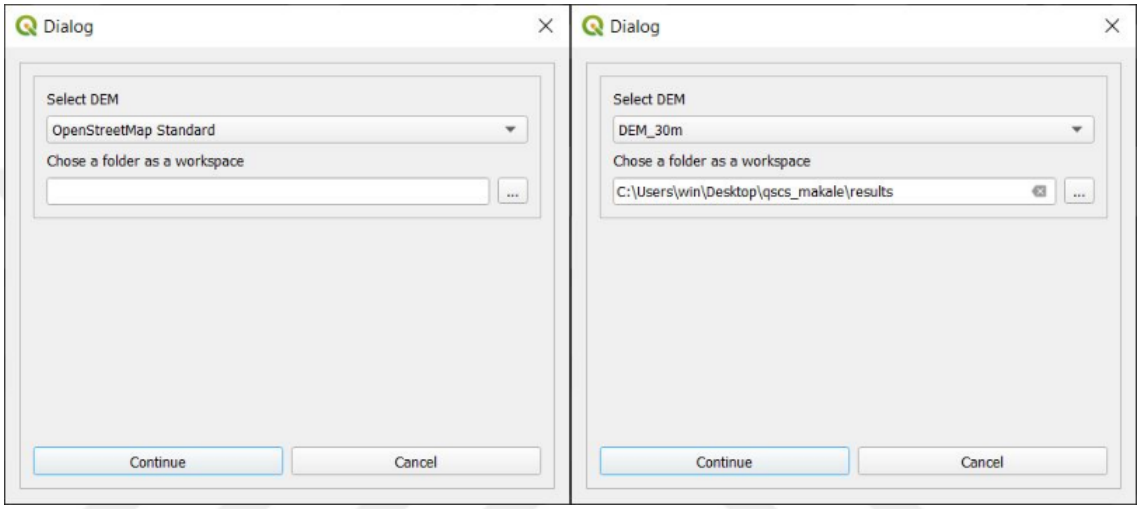
QSCS'in genel çalışmasında belirtilen işlemlerin bir havza üzerinde uygulanması eklentinin anlaşılması için önemlidir. Bu nedenle bu başlık altında bir havza QSCS'te modellenip işlem adımları sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

Adım 1 – DEM verisinin seçimi

Modellemeye başlamadan önce modellenecek havzanın raster verilerinin GeoTiff formatında ve EPSG:3857 Crs sisteminde olması gerekmektedir. Bununla birlikte yükselti raster çözünürlüğü 25 veya 30 m olması tavsiye edilmektedir.

İlk adım olarak QSCS kullanıcıdan iki raster verisi istemektedir; yükselti DEM rasteri ve Global eğri numarası rasteri. Yükselti rasteri genellikle 25m-30m çözünürlüğe sahip olup internet üzerinden herhangi bir servisten indirilebilir. Global eğri numarası rasteri ise Jaafar vd. (Jaafar vd., 2019) tarafından hazırlanan çalışma neticesinde açık erişim ile elde edilebilir. Global eğri numarası 250 m çözünürlüğe sahip olup EPSG:4326 Crs sistemine sahiptir. EPSG:4326 Crs sistemi QSCS'e uyumlu olmadığı için QGIS'te bulunan *Raster/Projections/Warp* seçenekleriyle 3857 sistemine dönüştürülmelidir.

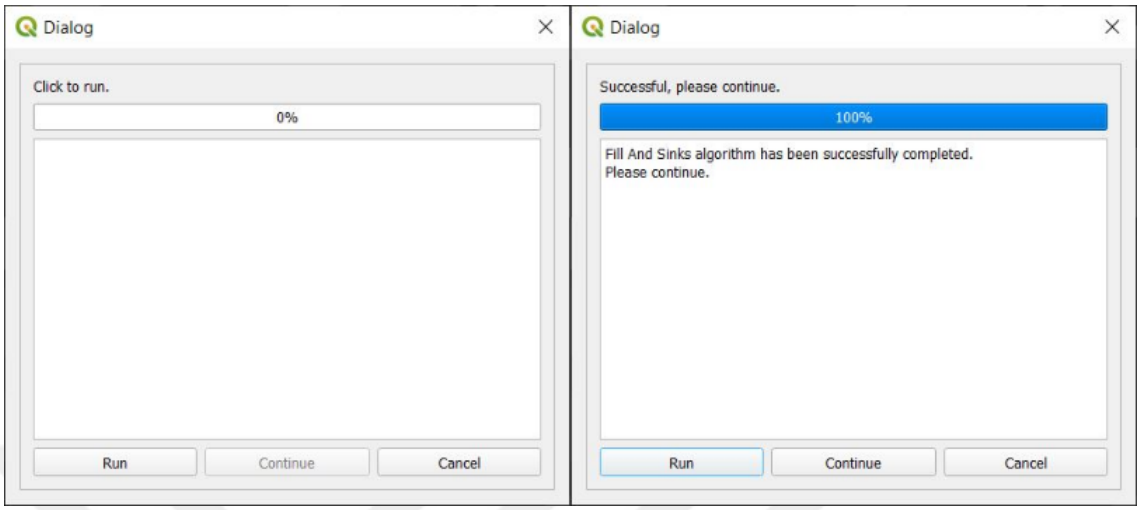
Modelleme yapılırken görsel olarak fayda sağlaması amacıyla Open Street Map(OSM) servisi kullanılabilir. Şekil 3.8'de ilk adım olarak QSCS ekran görüntüsü verilmiştir. Bu adımda kullanıcıdan DEM verisi ve bir çalışma dosyası konumu istenmektedir. Seçim yapıldıktan sonra *Continue* ile sonraki adıma geçilir.



Şekil 3.8 QSCS'te DEM verisinin seçimi

Adım 2 – Boşluk Doldurma Algoritmasının uygulanması

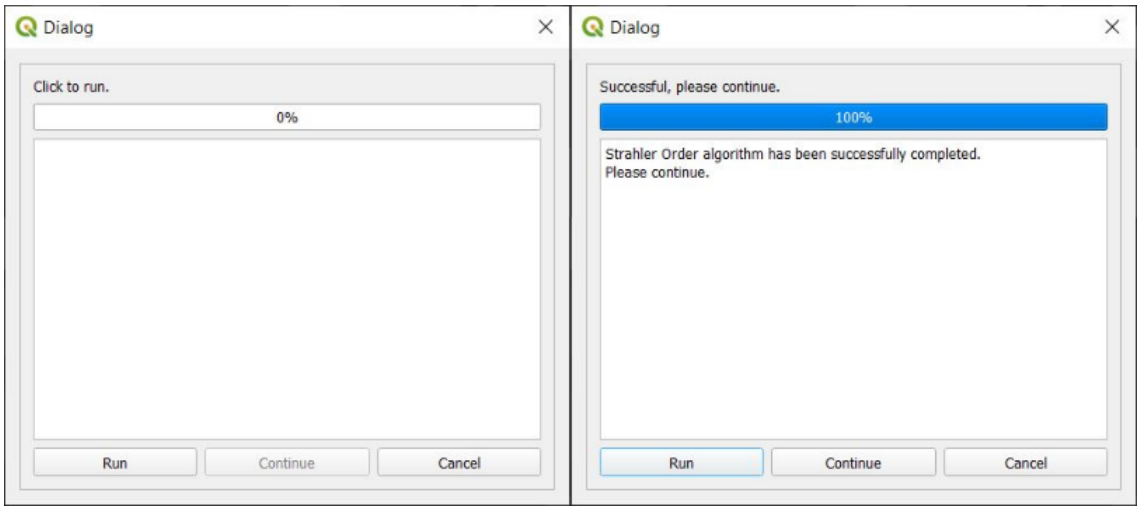
İkinci adımda yükselti raster verisi üzerinde Fill Sinks algoritması uygulanır. Bu sayede DEM verisindeki lokal depresyonlar düzleştirilir. *Run* tuşu ile işleme başlanır. İşlem bittikten sonra *Continue* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.9'da bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.9 QSCS'te Boşluk Doldurma Algoritmasının uygulanması

Adım 3 – Strahler düzeninin elde edilmesi

Bu adımda daha sonraki işlemlerde kullanılacak olan Strahler Order algoritması çalıştırılır. Bu sayede havzanın akarsu kolları bir raster verisi şeklinde elde edilmiş olur. *Run* tuşu ile işleme başlanır. İşlem bittikten sonra *Continue* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.10'da bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.

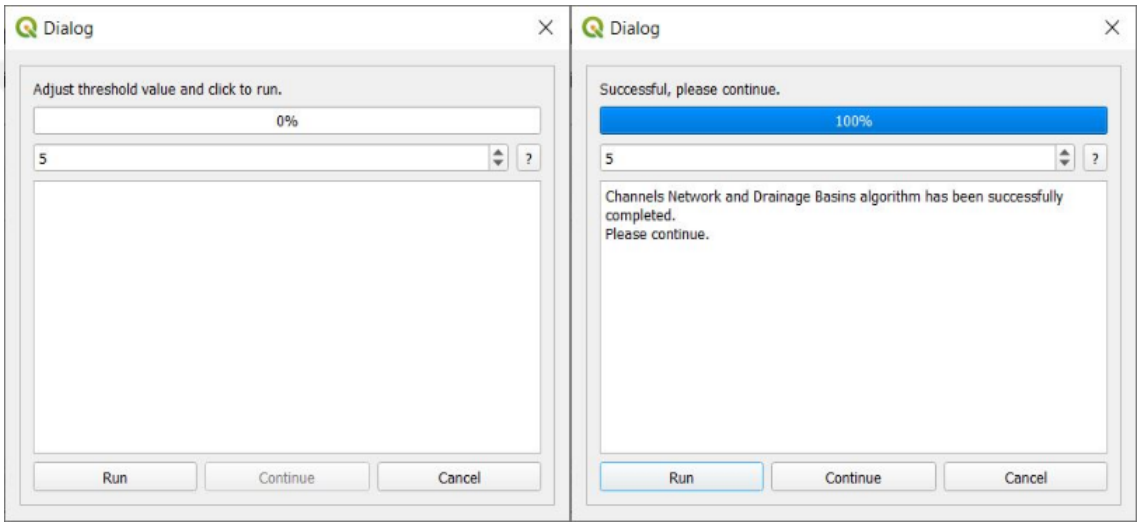


Şekil 3.10 QSCS'te Strahler düzeninin elde edilmesi

Adım 4 – Eşik değerinin seçilmesi

Bu adımda kullanıcıdan bir eşik değeri istenir. Bu eşik değeri aslında elde edilecek akarsu ağının başlangıç Strahler derecesini temsil etmektedir. Küçük bir havza modelleneceğinden ötürü *5* eşik değeri uygundur.

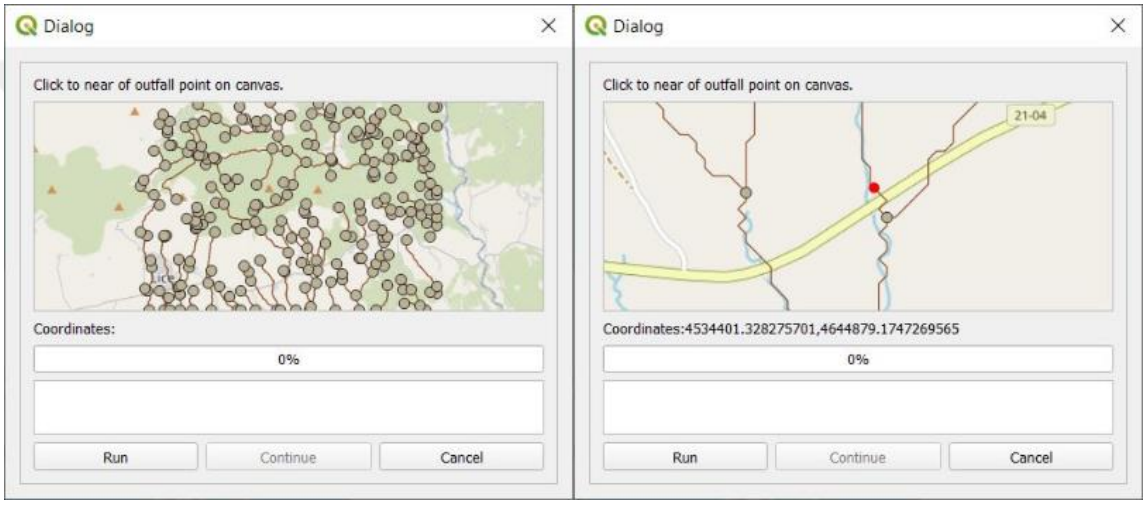
Eşik değeri seçildikten sonra *Run* tuşu ile işleme başlanır. İşlem bittikten sonra *Continue* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.11'de bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.11 QSCS'te eşik değerinin seçilmesi

Adım 5 – Çıkış noktasının seçilmesi

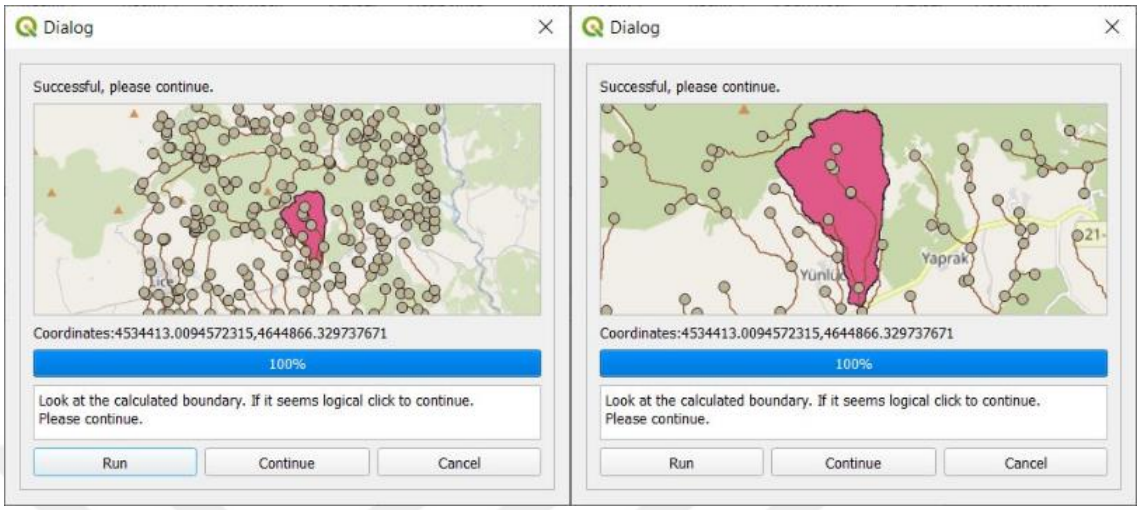
Bu adımda kullanıcıdan çıkış noktasını harita üzerinde işaretlemesi istenmektedir. Çıkış noktası Şekil 3.12'de kırmızı çizgi ile gösterilen akarsu üzerinde seçilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde sonraki adımlarda problemler çıkabilmektedir. Haritada nokta seçildikten sonra *Run* tuşu ile işleme başlanır. İşlem bittikten sonra *Continue* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.12'de bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.12 QSCS'te çıkış noktasının seçilmesi. İşaretlenen nokta sağ görselde kırmızı renk ile gösterilmiştir

Adım 6 – Havza tasvirinin yapılması

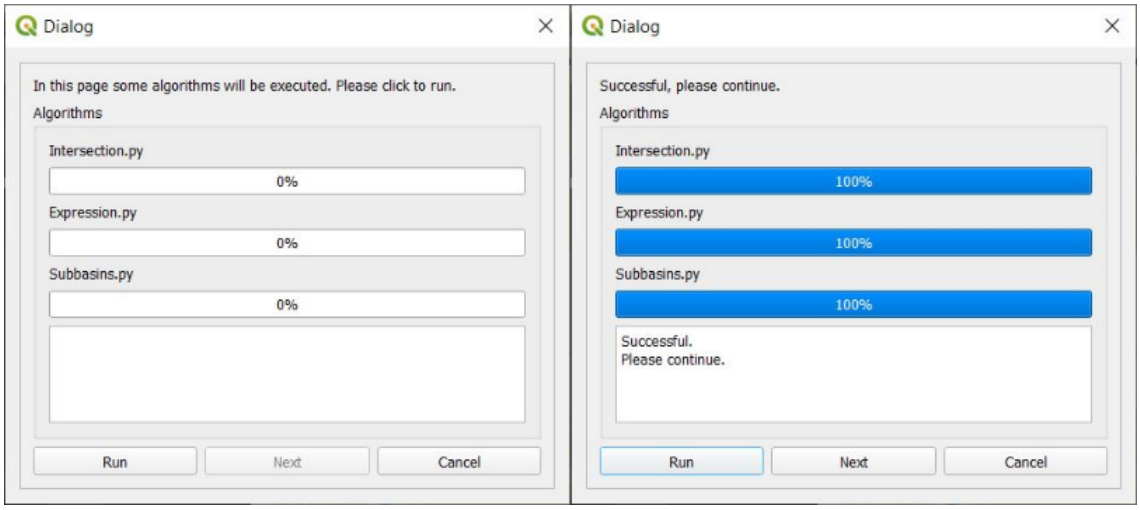
Bu adımda beşinci adımda seçilen noktaya göre havza tasvir edilir. Seçilmiş nokta beşinci adımda anlatıldığı gibi doğru alınmamış ise havza tasvirinde problem olabilmektedir. Dolayısıyla bu adımda kullanıcıdan tasvirin doğru olup olmadığını teyit etmesi istenir. Havza tasvirinin doğru olup olmadığını anlamak için çizilmiş havza sınırlarına bakılır. Eğer havza sınırları herhangi bir akarsu kolu ile kesişme yapmamışsa tasvir doğru kabul edilir. Aksi takdirde havza tasviri problem içermektedir ve *Cancel*'a basılarak modellemeden çıkılır, tekrardan ilk adımdan başlanılır. Tasvirde problem yoksa *Run* tuşu ile işleme başlanır. İşlem bittikten sonra *Continue* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.13'te bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.13 QSCS'te havza tasvirinin yapılması

Adım 7 – Performans artırma işlemleri

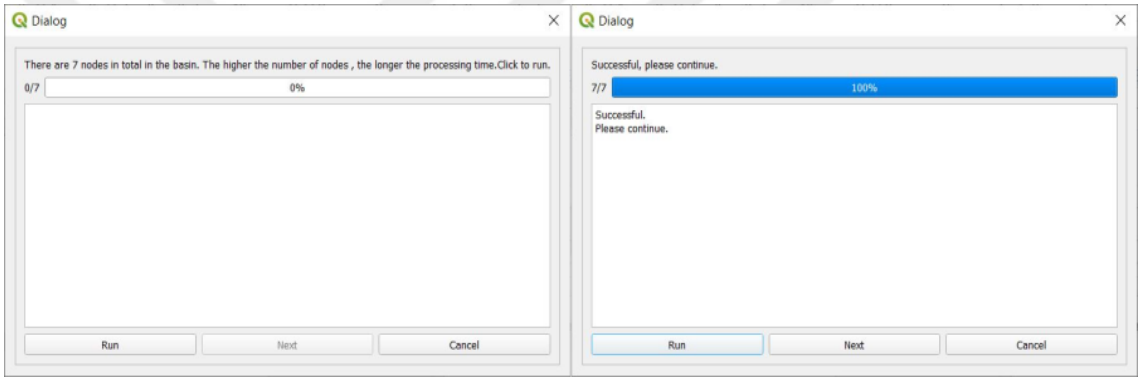
Bu adımda daha sonraki işlemlerde kolaylık sağlaması için birtakım *python* kod parçaları çalıştırılır. Kullanıcı *Run* tuşu ile işleme başlar. Kod parçaları herhangi bir hata fırlatırsa pencerenin altında kullanıcıya bildiren kısımda bu hatalar görülebilir. Hata olması durumunda ilk adıma dönülüp tüm işlemler yeniden yapılması gerekir. Hata yok ise işlem bittikten sonra *Next* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.14'te bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.14 QSCS'te performans artırma işlemleri

Adım 8 – Althavzaların elde edilmesi

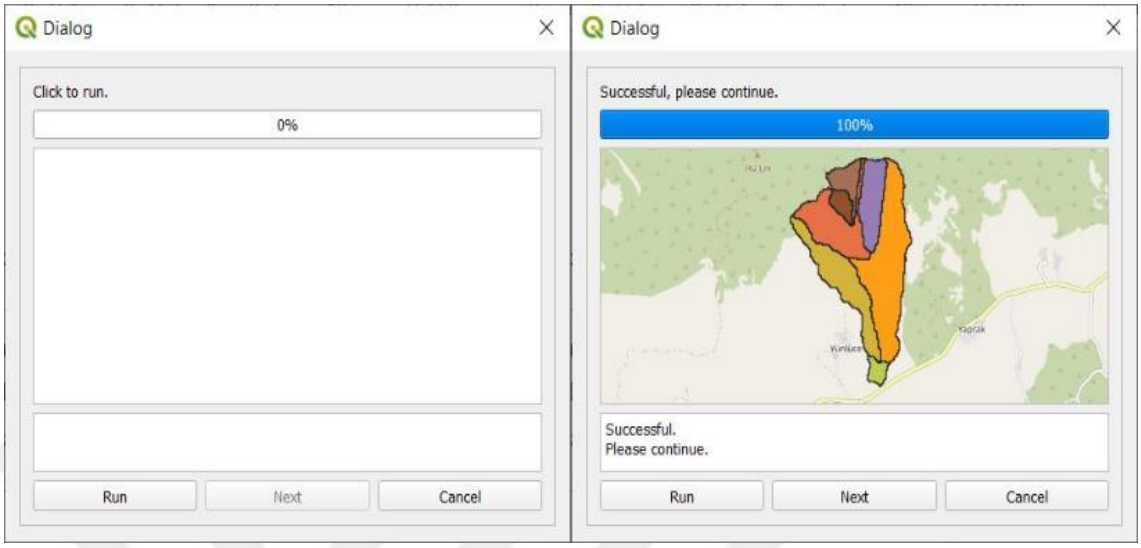
Bu adımda havza içerisinde bulunduğu tespit edilen düğüm noktalarına göre althavzalar elde edilir. Düğüm noktasının sayısı ile işlem süresi arasında lineer bir ilişki söz konusudur. Aynı zamanda düğüm noktaları ile dördüncü adımda seçilen eşik değeri arasında da bir ilişki söz konusudur. Dolayısıyla özellikle büyük havzalarda seçilen küçük eşik değerleri bu adımda bahsi geçen düğüm noktalarını oldukça artırabilmektedir. *Run* tuşu ile işleme başlanır. İşlem bittikten sonra *Next* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.15'te bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.15 QSCS'te althavzaların elde edilmesi

Adım 9 – Gerekli paramatrelerin hesaplanması

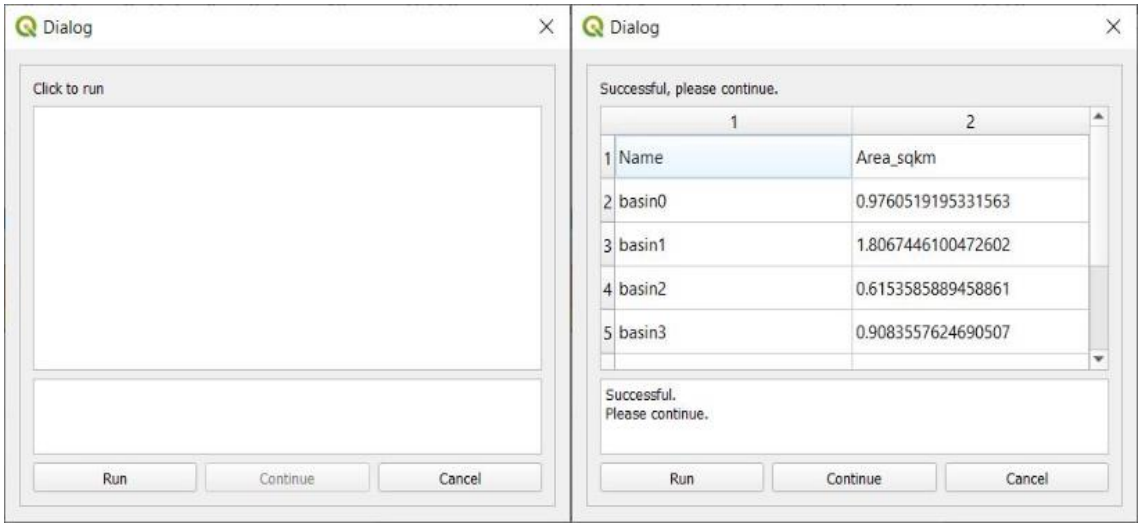
Bu adım elde edilen althavzaların alanları, merkezi koordinatları gibi sonraki adımlarda ihtiyaç duyulan parametreler hesaplanır. *Run* tuşu ile işleme başlanır. İşlem bittikten sonra *Next* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.16'da bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.16 QSCS'te gerekli paramatrelerin hesaplanması

Adım 10 – Alan limitlerinin gösterilmesi

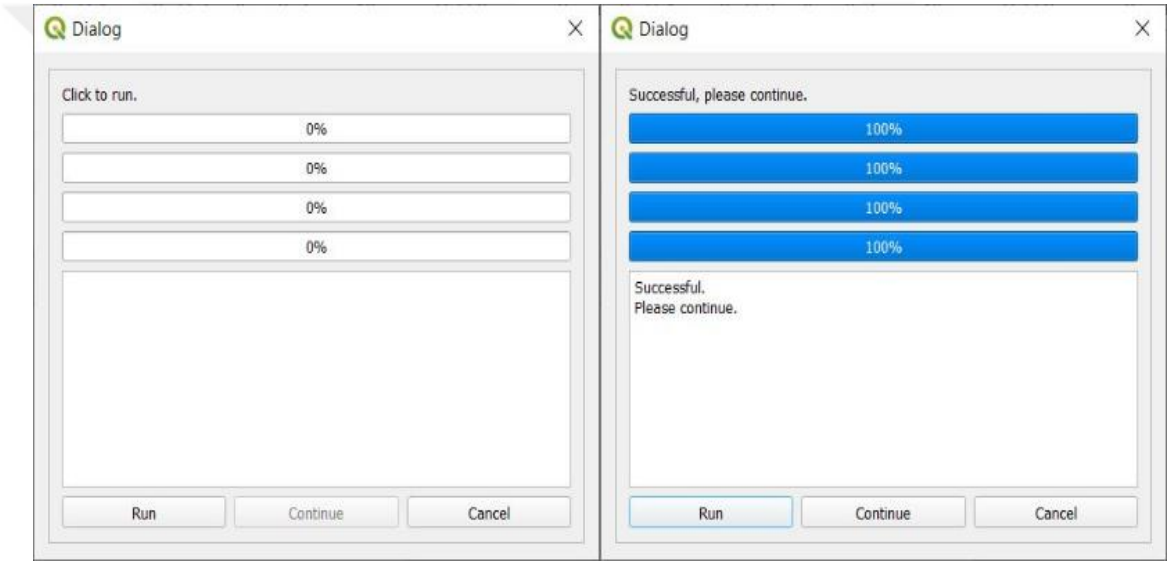
Bu adımda önceki adımda elde edilen althavzaların alanları kullanıcıya gösterilmektedir. Bunun nedeni NRCS yönteminin limitlerinden biri olan 49 km^2'lik alan sınırlamasını aşmamak için kullanıcıyı uyarmaktır. Althavzaların alanları NRCS limitini aşmadığı takdirde *Continue* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.17'de bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.17 QSCS'te alan limitlerinin gösterilmesi

Adım 11 – NRCS yöntemi parametrelerinin tespiti

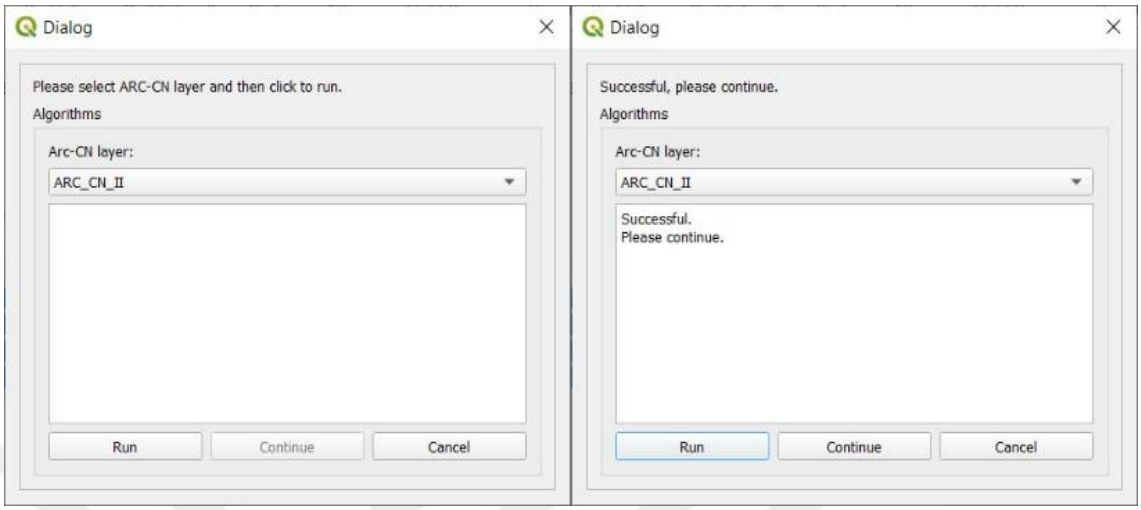
Bu adımda NRCS parametrelerinden biri olan en uzun akış yolu için kompleks bir algoritma çalıştırılır. Aynı zamanda havzaların ortalama eğimleri hesaplanıp sonraki adım için gerekli ön çalışmalar bu adımda yapılır. QSCS'in en önemli adımını oluşturan bu adım hataların sık olduğu bir adımdır. *Run* tuşu ile işleme başlanır. Hata olmadığı takdirde işlem bittikten sonra *Continue* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.18'de bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.18 QSCS'te NRCS yöntemi parametrelerinin tespiti

Adım 12 – Eğri numaralarının belirlenmesi

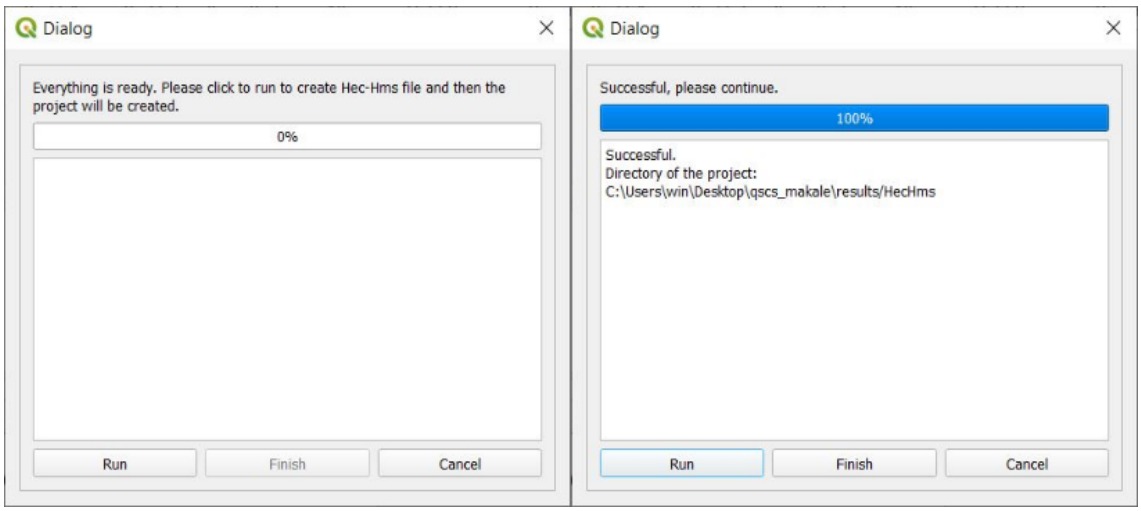
Bu adımda NRCS parametrelerinden biri olan *Global CN* raster verisi kullanıcı tarafından seçilmesi istenir. Bu sayede havzaların ağırlıklı eğri numaraları, konsantrasyon süreleri gibi parametreler bölüm 3.2.1 altında yeralan NRCS yöntemi başlığı altında verilen hesap yöntemlerine göre hesaplanır. Seçim yapıldıktan sonra *Run* tuşu ile işleme başlanır. Hata olmadığı takdirde işlem bittikten sonra *Continue* ile sonraki adıma geçilir. Şekil 3.19'da bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.19 QSCS'te eğri numaralarının belirlenmesi

Adım 13 – HECHMS şablonunun oluşturulması

QSCS'in son adımı olan bu adımda QSCS, HEC-HMS için bir şablon oluşturur. Bu şablon sayesinde HEC-HMS'de havza özellikleri otomatik belirlenmiş olur. Şablonun bilgisayardaki konumu bildirim alanında gösterilir. Diğer adımlarda olduğu gibi *Run* tuşu ile işleme başlanılır. İşlem bittikten sonra hata olmadığı takdirde *Finish* ile QSCS'ten çıkılır. Şekil 3.20'de bu işleme ait ekran görüntüsü verilmiştir.

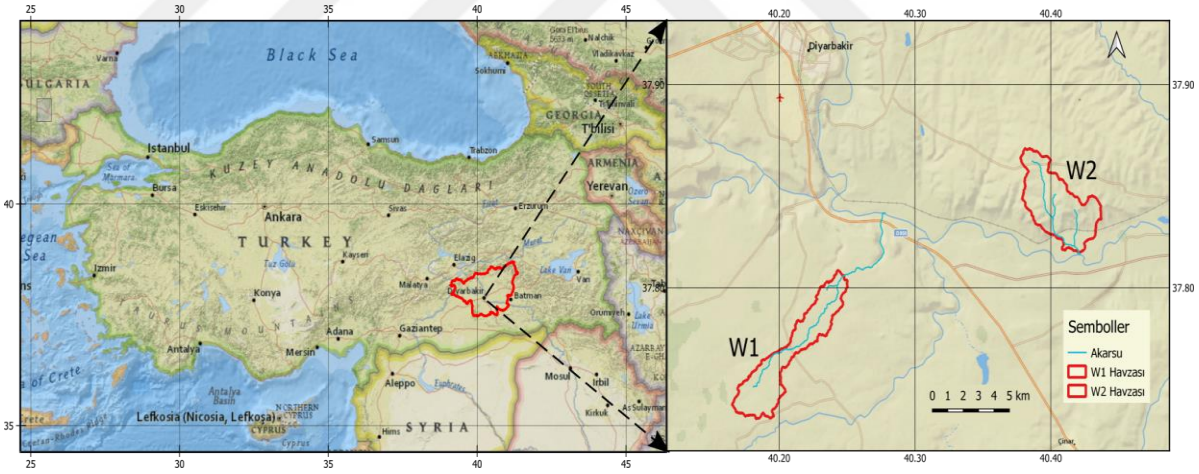


Şekil 3.20 QSCS'te HECHMS şablonunun oluşturulması

3.2.4 Çalışma Alanları

Pratik yöntem dahilinde bu tez çalışması için iki farklı havza seçilmiştir. Bu havzalar W1 ve W2 havzaları olarak isimlendirilmiştir. Tez çalışmasında iki havza seçilmesinin nedeni havza şeklinin yağış sonucu oluşacak akış debisi ile ilişkisini incelemektir. Her iki havza da Diyarbakır il sınırları içerisinde bulunup yaklaşık aynı alana sahiptir. W1 havzası Diyarbakır-Mardin Çevre Yolu üzerinde bulunan bir menfezi beslerken W2 havzası doğrudan Dicle nehrini beslemektedir.

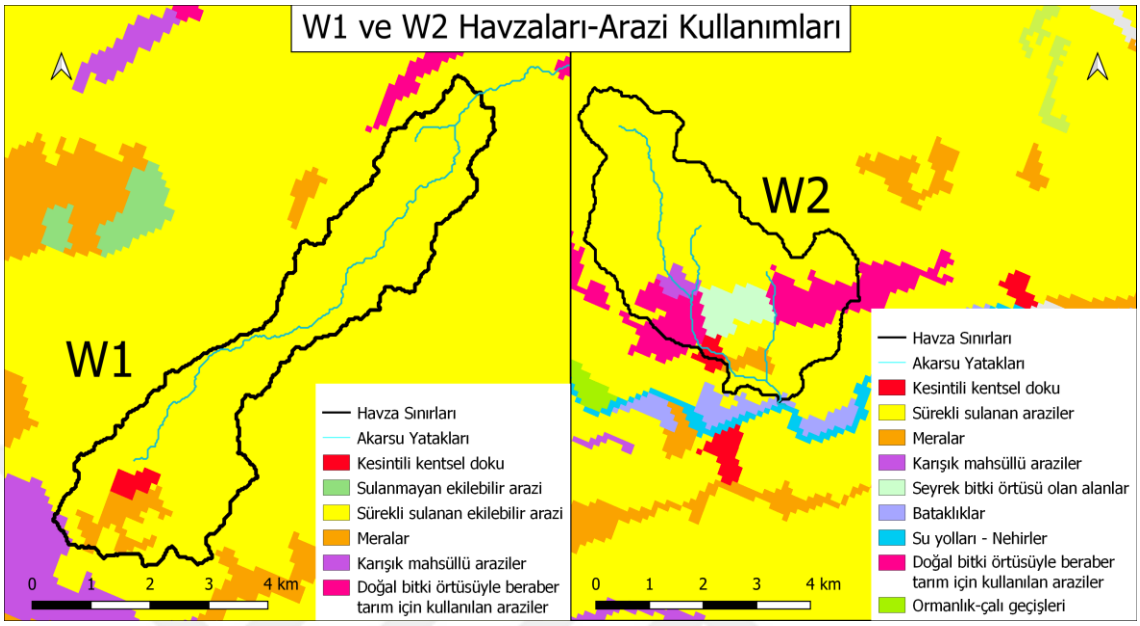
Her iki havzanın da içerisinde bulunduğu Diyarbakır ili 37.91° Kuzey enleminde ve 40.24° Doğu boylamında bulunur. Yazları sıcak ve kuru, kışları soğuk ve yağışlı olup karasal iklime sahiptir (Almazroui vd., 2018). Ortalama yılık yağış miktarı ise 498.4 mm'dir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022). Her iki havzanın konumları Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 W1 ve W2 havzalarının haritadaki konumları

3.2.4.1 W1 ve W2 Havzalarının Arazi Kullanım Verileri

W1 ve W2 havzaları kendi içerisinde birer köy barındırmakla beraber çoğunluğu tarım arazilerinden oluşan havzalardır. Havzalar sürekli sulanan tarım arazilerinden oluştuğu için toprak nemli kabul edilebilir. Şekil 3.22'de her iki havzanın detaylı arazi kullanımları gösterilmiştir. Havzalarının arazi kullanım verileri 2018 yılı arazi kullanım durumularını içeren ve Copernicus Arazi İzleme Servisi tarafından üretilen Corine Land Cover (CLC) veri setlerinden alınmıştır (Copernicus, 2018).



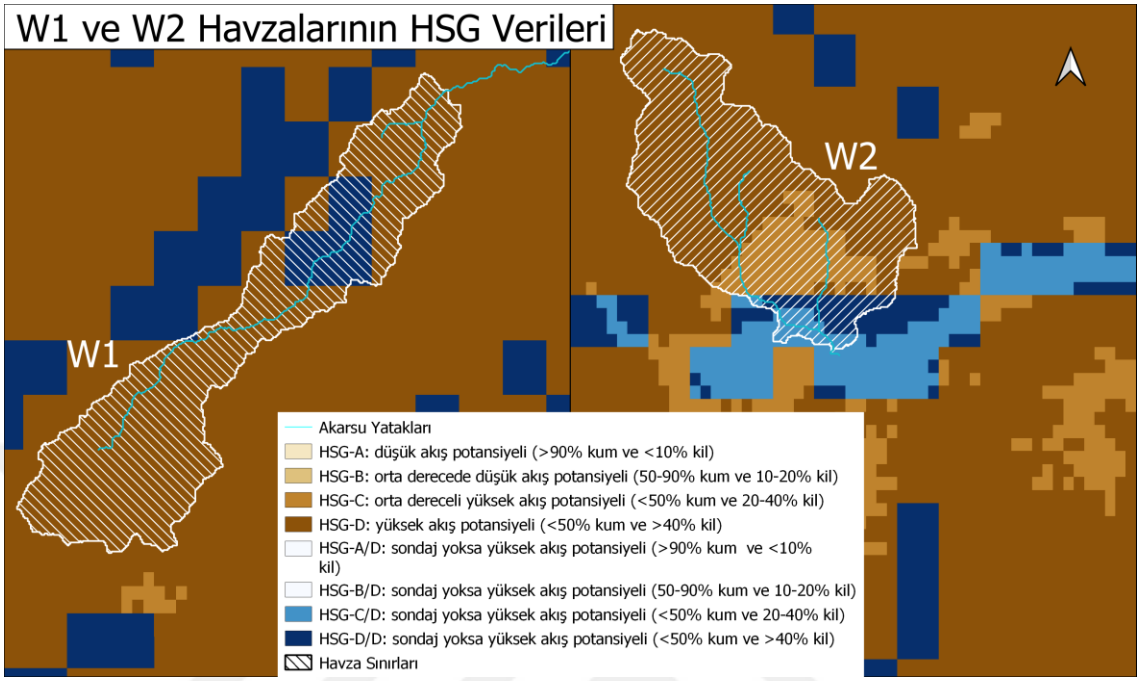
Şekil 3.22 W1 ve W2 havzalarının arazi kullanım harita verileri

3.2.4.2 W1 ve W2 Havzalarının Hidrolojik Toprak Grupları

W1 ve W2 havzalarının eğri numaralarını belirleyebilmek için arazi kullanımının yanı sıra havzaların hidrolojik toprak sınıfının da bilinmesi gerekmektedir. En basit haliyle hidrolojik toprak sınıfları toprağın hidrolik iletkenliğine, dolayısıyla içeriğine göre belirlenir (Nair vd., 2015). W1 ve W2 havzalarının hidrolojik toprak gruplarına göre sınıflandırılması Şekil 3.23'te görülebilir. Buna göre her iki havzanın da çoğunlukla HSG-D sınıfında olduğu anlaşılmaktadır.

HSG-D grubundaki topraklar, tamamen ıslandığında yüksek akış potansiyeline sahiptir. Bu gruptaki topraklar tipik olarak yüzde 40'tan fazla kile, yüzde 50'den az kum ve killi dokuya sahiptir (USDA, 2009).

W1 ve W2 havzalarının hidrolojik toprak grupları harita verileri eğri numarası esaslı akış modellemeleri için küresel ölçekte hazırlanmış HYSOGs250m raster verilerinden alınmıştır (Ross vd., 2018).



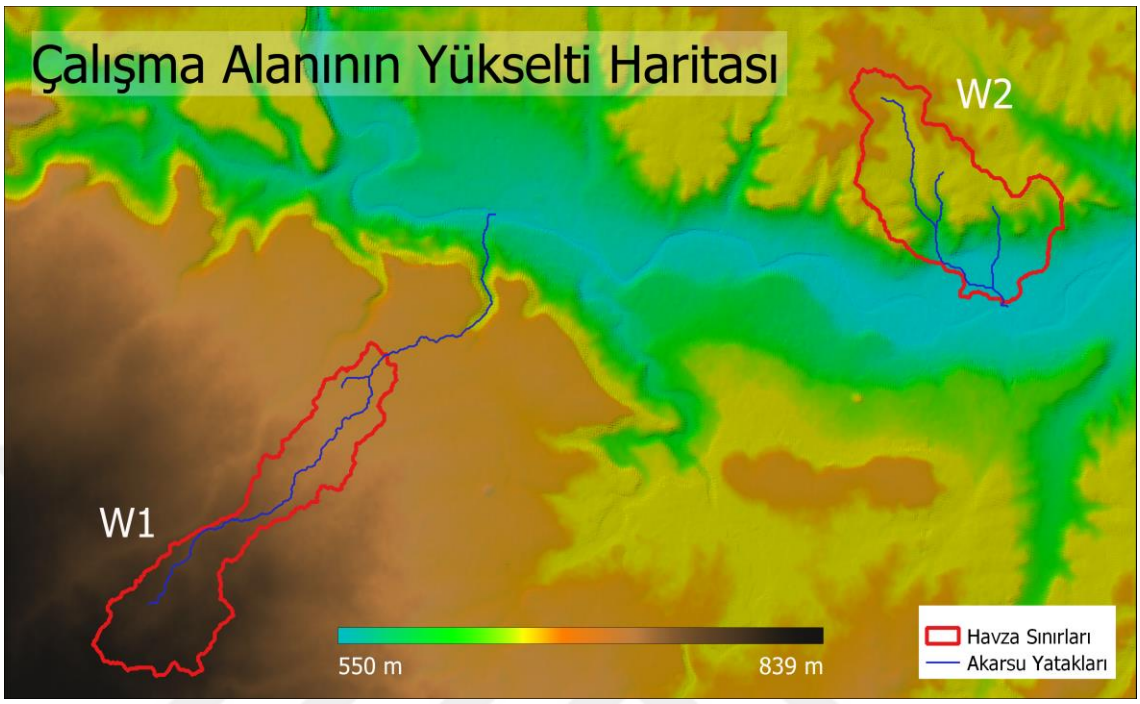
Şekil 3.23 W1 ve W2 havzalarının hidrolojik toprak grupları

3.2.4.3 W1 ve W2 Havzalarının Topoğrafik Özellikleri

W1 ve W2 havzalarının DEM verileri Avrupa Çevre Ajansı EU Copernicus Programı çerçevesinde hazırlanmış 25 m çözünürlüklü raster verilerinden alınmıştır (Copernicus, 2016). W1 havzasının en düşük noktasının kotu 709 m iken en yüksek noktasının kotu 821 m'dir. W2 havzasının ise en düşük noktasının kotu 556 m iken en yüksek noktasının kotu 703 m'dir. Şekil 3.24'te çalışma alanının yükselti haritası gösterilmiştir. Havzaların diğer topoğrafik özellikleri Tablo 3.5'te havzalara ait diğer topoğrafik özellikler gösterilmiştir.

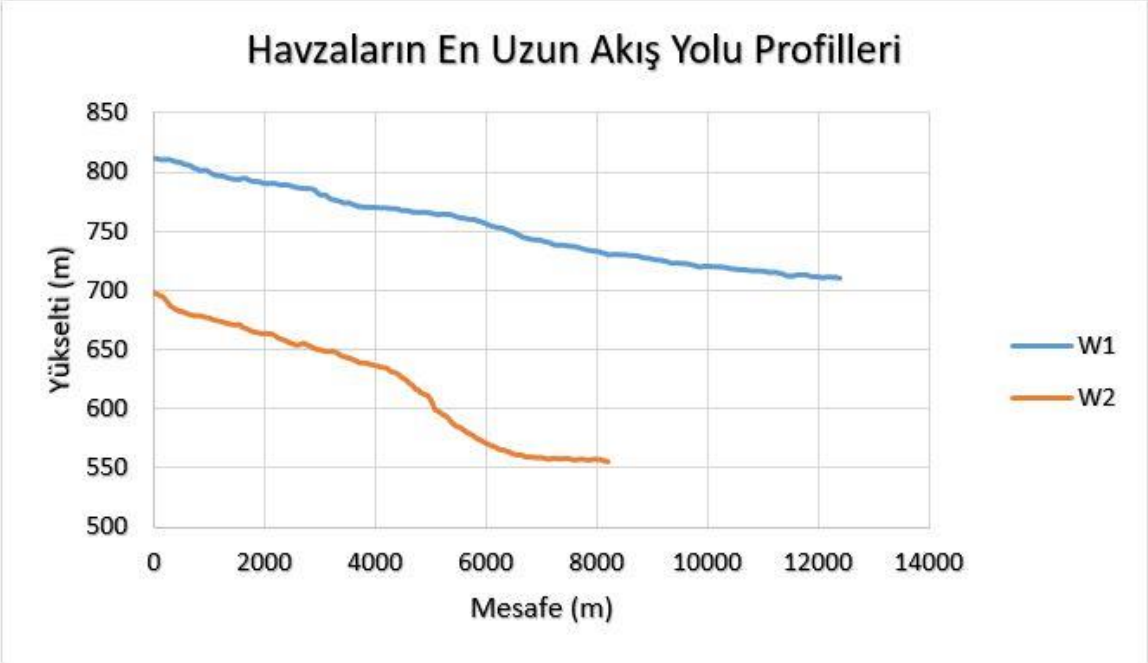
Tablo 3.5 W1 ve W2 havzalarının topoğrafik özellikleri

Havza	W1	W2
Enlem,°	37.80	37.84
Boylam,°	40.23	40.40
Alan, km^2	15.29	15.20
Ort. Eğim, %	2.0	6.7
Kot farkı,m	112	147



Şekil 3.24 Çalışma alanının topoğrafik haritası

Havzaların içerisindeki akarsu yataklarının tasviri QSCS kullanılarak elde edilmiştir. Buna göre, W1 havzasının yukarı yöndeki en uzak noktasından akışa geçecek su kütlesinin havzanın aşağı yöndeki deşarj noktasına doğru izleyeceği akış yolu 12772 m olarak elde edilmiştir. Aynı değer W2 havzası için 8363 m elde edilmiştir. En uzun akış yolunun hesaplanmasında iki nokta arasındaki yükseklik farkından kaynaklanan eğimin etkisi hesaba katılmamıştır. Uzunlukların hesaplanmasında Kartezyen koordinat sistemi yerine Ellipsoidal sistem seçilmiştir. Elde edilen en uzun akış yolu profilleri her iki havza için de Şekil 3. 25'te gösterilmiştir.



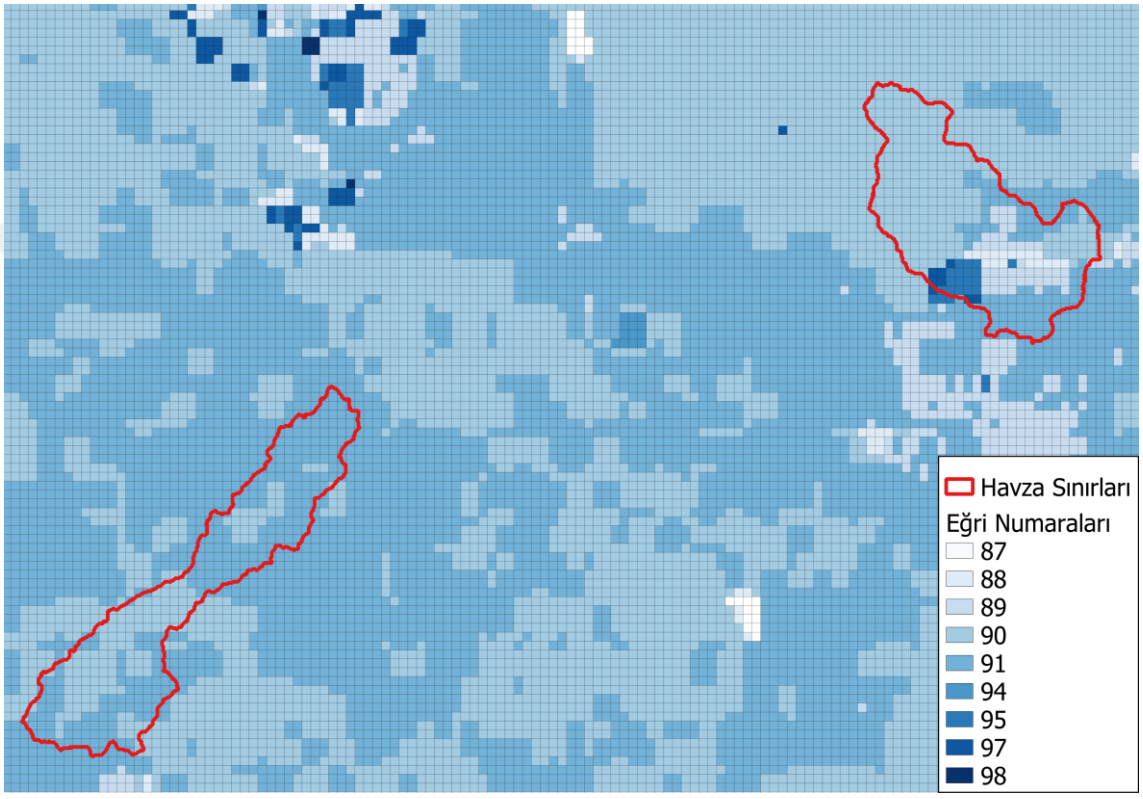
Şekil 3.25 W1 ve W2 havzalarının en uzun akış yolu profilleri

3.2.4.4 W1 ve W2 Havzalarının Global Eğri Numaraları

NRCS yönteminin en önemli parametrelerinden biri olan eğri numarası yağış şiddeti, yağış süresi, toprak nem koşulları, sıcaklık gibi faktörlere bağlı bir parametredir (USDA, 2004). Aynı zamanda toprağın kuru, normal ve ıslak koşullarına göre sırasıyla ARC-I, ARC-II, ARC-III şeklinde gösterilen Önceki Akış Durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (USDA, 2009).

Daha önceki bölümde bahsedildiği gibi 2019'da Jaafar ve diğerleri tarafından 250m ölçekli gridlerden oluşan global eğri numaraları haritalarını oluşturmuşlardır (Jaafar vd., 2019). Kolaylık olması ve dünyadaki herhangi bir yer üzerinde rahatlıkla uygulanabilmesinden ötürü bu tez çalışmasında eğri numaraları GCN-250m haritalarından elde edilmiştir. Bu haritalar Önceki Akış Durumlarına (ARC) göre üçe ayrılmıştır. 1 yıl içerisindeki pik debinin yağışın bol olduğu aylarda meydana gelmesinden ötürü toprağın ıslak olduğu varsayılabilir. Aynı zamanda W1 ve W2 havzalarının alanca çoğunluğu sulanan tarım arazilerinden oluştuğu için bu varsayım doğru kabul edilebilir.

Bu nedenle GCN-250m haritalarından ARC-III durumunda olan eğri numaraları W1 ve W2 havzalarının modellenmesinde kullanılmıştır. Şekil 3.26'da çalışma alanının eğri numaraları haritası gösterilmiştir.

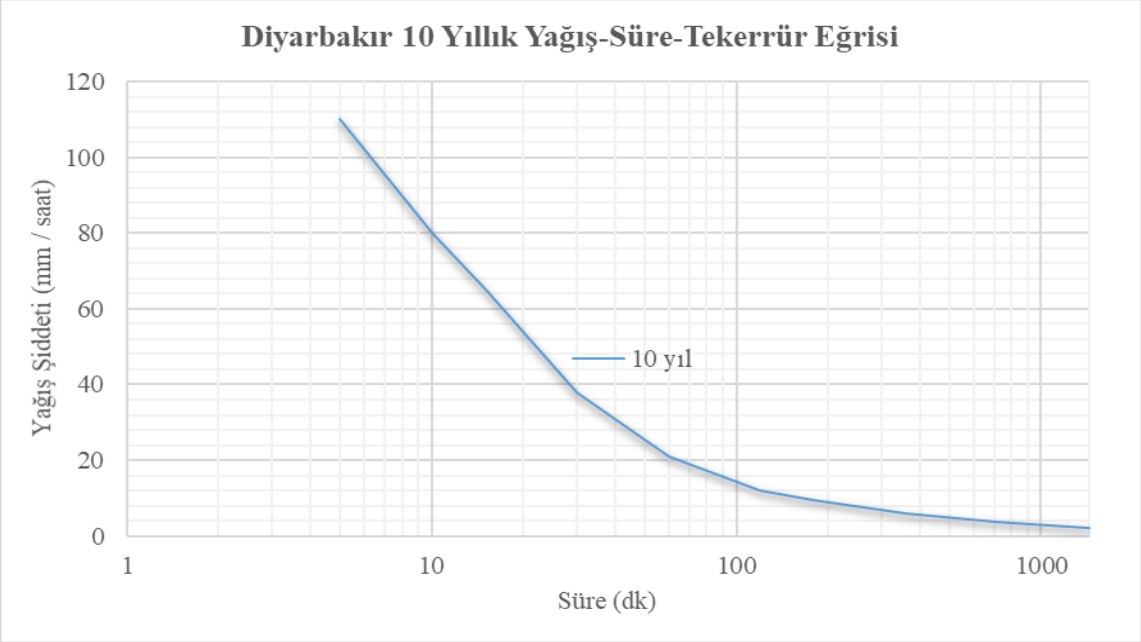


Şekil 3.26 Çalışma alanının eğri numaralarını gösteren raster verisi

3.2.4.5 Yağış Verileri

IDF eğrileri olarak bilinen yağış-süre-tekerrür eğrileri birçok hidrolojik tarasım metotlarında kullanılır. Uzun süreli yağış kayıtlarına göre hazırlanan yağış-süre-tekerrür eğrileri genellikle seçilen bir tekerrür eğrisi ve yağış süresine göre yağış şiddetini vermektedir (McCuen, 1998).

Thiessen polygonları yöntemine göre, çalışma alanı Diyarbakır poligonunda yer aldığı için Diyarbakır'a ait IDF eğrileri kullanılmıştır. Şekil 3.27'de bu tez kapsamında kullanılan 10 yıl tekerrürlü ve en uzun 24 saatlik yağış sürelerine göre hazırlanan IDF eğrisi yer almaktadır.



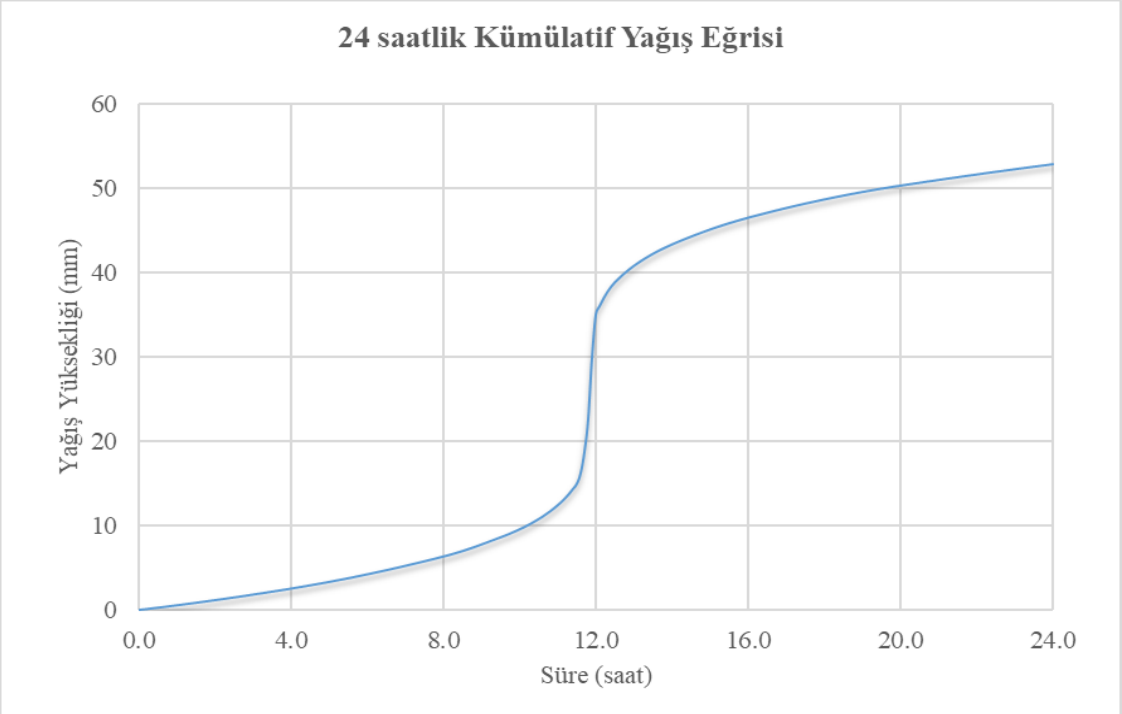
Şekil 3.27 Diyarbakır ili için 10 yıllık yağış-süre-tekerrür eğrisi

Uzun süreli yağış kayıtlarına göre hazırlanan IDF eğrileri doğrudan NRCS yönteminde kullanılamazlar. Bunun nedeni NRCS yönteminin doğrudan akışı hesaplarken yağış şiddeti yerine yağış yüksekliğini kullanmasıdır. Bu nedenle 10 yıllık IDF eğrisinden 24 saatlik yağış yükseklikleri bulunur. Tablo 3.6'da varsayımsal yağış verileri gösterilmektedir.

Tablo 3.6 10 yıllık IDF eğrisi verilerine göre varsayımsal yağış yükseklikleri

Süre, dk	**Yağış Şiddeti, mm/saat**	**Yağış Yüksekliği, mm**
5	110	9.2
15	65	16.3
60	21	21
120	12	24
180	9.4	28.2
360	6	36
720	3.6	43.2
1440	2.2	52.8

Yağış şiddeti veya yağış yüksekliği tasarımda önemli bir faktördür. Bununla birlikte yağış şiddetinin havza üzerindeki dağılımı akış hidrografın şeklini değiştirebilmektedir (McCuen, 1998). Bu nedenle Birleşik Devletler Toprak Koruma Ajansı tarafından Type I, Type II, Type III ve Type IA şeklinde dört tür yağış dağılımı eğrisi geliştirmiştir (Gupta, 2017). SCS Type II kümülatif eğrisi özellikle kurak bölgelerde tasarım yağış yüksekliklerinin dağılımında sıkça kullanılmaktadır (Elfeki vd., 2014). Şekil 3.28'de Diyarbakır ili için 10 yıllık tekerrüre sahip 24 saatlik bir yağış için SCS Type II türünde kümülatif yağış eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.28 Diyarbakır ili için SCS Type II kümülatif yağış eğrisi

3.2.5 Çalışma Alanlarının QSCS Modeli

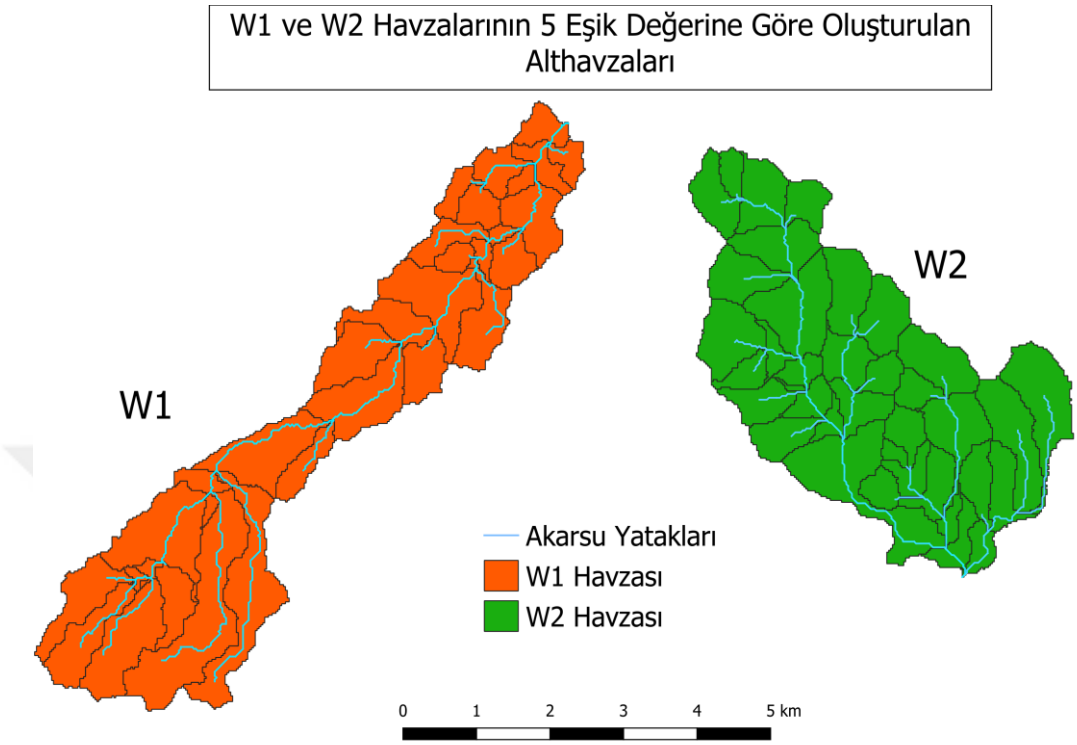
Önceki bölümde özellikleri detaylıca işlenen W1 ve W2 havzalarını HEC-HMS'de modelleyebilmek için gereken şablon QSCS yardımıyla oluşturulmuştur. QSCS'teki işlem adımları hem iki havza olduğu için hem de QSCS bölümünde incelenen örnek ile benzer olduğu için burada işlenmemiştir. Buna rağmen her iki havza için de kısaca özelliklere değinilmiştir. Tablo 3.7'de her iki havza için elde edilen özellikler özetlenmiştir.

W1 havzası QSCS'te oluşturulurken eşik değeri olarak "7" değeri seçilmiştir. Bunun nedeni havza alanının 49 km^2'den küçük olmasıdır. Havza "7" eşik değeri ile oluşturulduğu için HEC-HMS'de herhangi bir yönlendirme metodu kullanılmamıştır.
W2 havzası ise QSCS'te oluşturulurken HEC-HMS'de bir yönlendirme metodu kullanmamak için eşik değeri "8" seçilmiştir. Havza alanı 49 km^2'den küçük olduğu için "8" olarak seçilen eşik değeri herhangi bir modelleme hatasına neden olmayacaktır.

Tablo 3.7 W1 ve W2 havzalarının QSCS'ten elde edilmiş karakteristikleri

Havzalar	W1	W2
Enlem	37.79821	37.84338
Boylam	40.2344	40.40311
Alan, km^2	15.29	15.20
Maksimum akış uzunluğu, m	12772.7	8363.3
Ağırlıklı ortalam CN	90.6	90.4
Havza eğimi, %	2.0	6.7
Gecikme süresi, saat	3.0	1.2
Konsantrasyon süresi, dakika	301.6	119.8
HSG sınıfı	D	D
Baskın toprak yapısı	<50% kum ve >40% kil	<50% kum ve >40% kil

W1 ve W2 havzaları sırasıyla "7" ve "8" eşik değerlerine göre oluşturuldukları için bir tek havzadan oluşurlar. Bunun nedeni havza içerisinde sırasıyla 7 ve 8 Strahler derecelerine sahip bir akarsunun bulunmamasıdır. Eşik değeri düşürüldükçe althavzaların sayısı artmaktadır. Öyle ki havzalarının "5" eşik değerine göre QSCS'te oluşturulmuş althavzaları ve içerdikleri akarsu yatakları Şekil 3.29'da görülebilir. Bu durumda W1 havzası 31 althavzadan oluşuyorken W2 havzası 37 althavzadan oluşmaktadır. Havzalar arasındaki bağlantıları sağlayan akarsu kolları bir yönlendirme metoduyla HEC-HMS'de modelleneceği için yönlendirme metodundan kaynaklı pik debide artışlar olabilmektedir.



Şekil 3.29 W1 ve W2 havzalarının 5 eşik değerine göre althavzaları

3.2.6 HEC-HMS Modeli

W1 ve W2 havzaları QSCS'ten elde edildikten sonra hidrolojik modelleme için HEC-HMS'ye aktarılabilir. Bunun için HEC-HMS'de *File/Open* seçenekleriyle QSCS çıktısı olan şablon seçilir. QSCS sadece havza karakteristiklerini belirlediği için HEC-HMS'de ayrıca bir meteorolojik model oluşturulmalıdır. Bunun için ise *Components/MeteorologicModelManager/New* seçenekleriyle HEC-HMS'ye model eklenebilir. HEC-HMS birçok meteorolojik model içermektedir. Bu tez çalışmasının ana amacı olan *pik tasarım debisi*'ni elde etmek için *Frequency Storm* metodu seçilebilir. *Frequency Storm* metodu yağış yüksekliklerine ihtiyaç duyar. Bu verilerin nasıl elde edildiği önceki bölümlerde genişçe açıklanmıştı. Tablo 3.6'dan yağış yükseklikleri alınıp HEC-HMS'ye aktarılabilir. HEC-HMS'de yapılacak son işlem ise simülasyonu zamanını seçmeye yarıyan *Control Specification* oluşturmaktır.

Bunun için *Components/ControlSpecificationsManager/New* seçenekleriyle HEC-HMS'ye eklenebilir. Her iki havza için de 48 saatlik bir simülasyon süresi ve hesaplama zaman aralığı olarakta 5 dk seçilmiştir.

3.2.7 HY-8 Modeli

Bu tez çalışması genel olarak köprü ve menfezlerin tasarımında kullanılacak pik tasarım debisini elde etmek üzerine hazırlanmaştır. Bunun dışında W1 havzası çıkışına yapılması planlanan bir menfezin hidrolik tasarımı tez dahilinde yapılarak tez çalışmasına pratik bir yön katmak istenmiştir.

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi HY-8, menfezlerin hidrolik tasarımında kullanılabilen kullanımı basit bir bilgisayar programıdır. Bu nedenle tasarımı yapılacak menfezin modellemesi için HY-8 programı seçilmiştir. Program genel olarak verilen debinin menfez kesitinden geçip geçmeyeceğini hesaplar. Bu nedenle optimum tasarım elde edilinceye kadar farklı kesitlerle iterasyonlar yapılır.

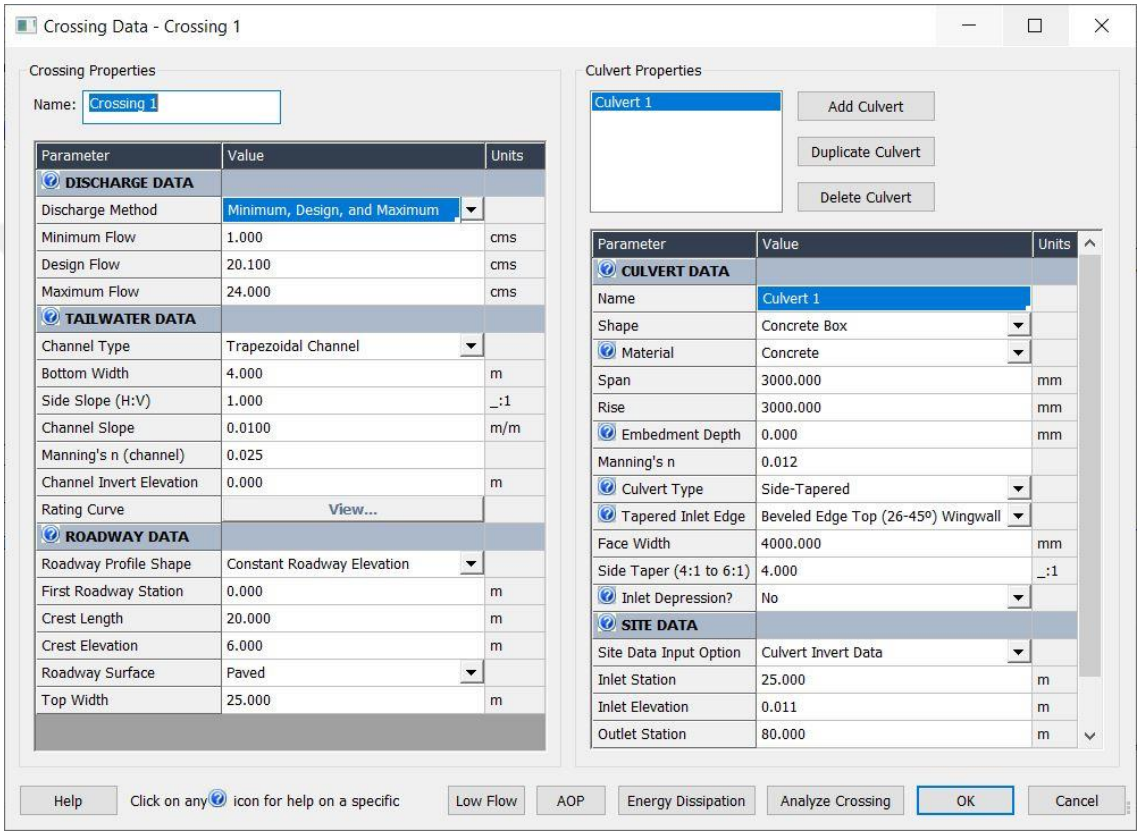
HY-8 programında *Culvert/NewCulvertCrossing* seçenekleriyle bir menfez kesiti oluşturulur. Şekil 3.30'da gösterilen pencerede menfezin fiziksel özellikleri girilir ve ardından *AnalyzeCrossing* seçeneğiyle menfez analize tabi tutulur. Analiz sonuçları yine *Culvert/AnalyzeCrossing* seçeneğinin altında bulunabilir.

3.2.7.1 Menfezlerin Tasarımı

Menfezler akış durumuna göre giriş kontrollü veya çıkış kontrollü olarak dizayn edilirler. Sert-dik eğimli menfezler genellikle giriş kontrollü olup menfezin giriş alanı, membasındaki su yüksekliğine bağlıdır. Yumuşak-tatlı eğimli menfezler ise genellikle çıkış kontrollü olup hem menfez girişi özelliklerine hem de menfez eğimi, menfez pürüzlülüğü, menfez uzunluğu gibi parametreler bağlıdır (Normann vd., 2001).

Menfezler tasarlanırken yapıldıkları yerin önemi, ekonomik etkileri gibi faktörlere bağlıdır. Menfez gelen debiyi taşıyamayacak şekilde tasarlanması takdirde üzerine yapılacağı karayolunu aşma tehlikesi oluşur. Bunun dışında menfezin membasında su birikintisinden ötürü karayolu zemininin kayma yaparak yıkılması mümkündür (KGM, 2019).

KGM şartnamasinde 10 yıl tekerrüre dayanarak hesaplanan menfezlerde menfez girişinde en fazla 0.2 m'lik bir kabarmaya izin verilmektedir (KGM, 2019). Aynı zamanda menfez eğimleri %0.5 ile %10 arasında olması istenmektedir.



Şekil 3.30 HY-8 programında menfez kesiti belirlenen pencerenin görüntüsü

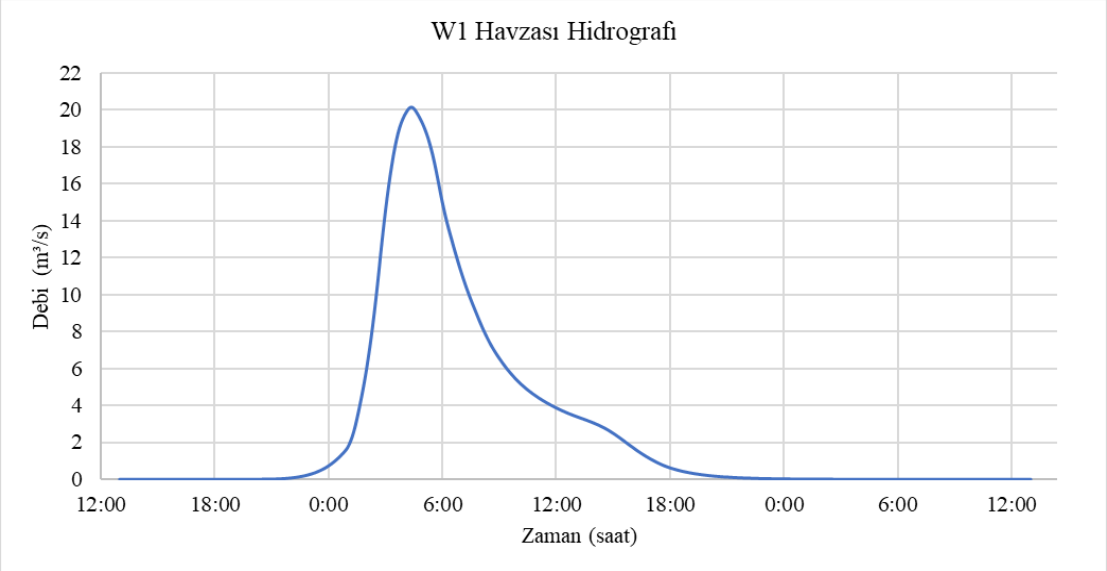
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

QGIS ve QSCS kullanılarak havza karateristikleri belirlenen W1 ve W2 havzaları daha sonra HEC-HMS'ye aktarılmıştır. HEC-HMS'de IDF eğrilerinden elde edilen 24 saatlik yağış derinlikleri programa girdi olarak verilmiştir ve 2 günlük simulasyon gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda W1 ve W2 havzalarının çıkış noktasındaki hidrografları gözlemlenmiştir ve bu hidrograf ile 10 yıl tekerrüre sahip yağış sonucu oluşan pik tasarım debisi elde edilmiştir.

Her ne kadar havza özellikleri QSCS tarafından HEC-HMS'ye aktarılsada kanal ötelemesi konusunda kullanıcının düzenleme yapması gerekmektedir. QSCS, HEC-HMS için çıktı üretirken Muskingum-Cunge metodunu kullanır. W1 ve W2 havzaları nispeten büyük alanlara sahip olmadığı için alt havzalara bölünmemiştir. Dolayısıyla her iki havza için de kanal ötelemesine gerek kalmamıştır.

4.1 W1 Havzası

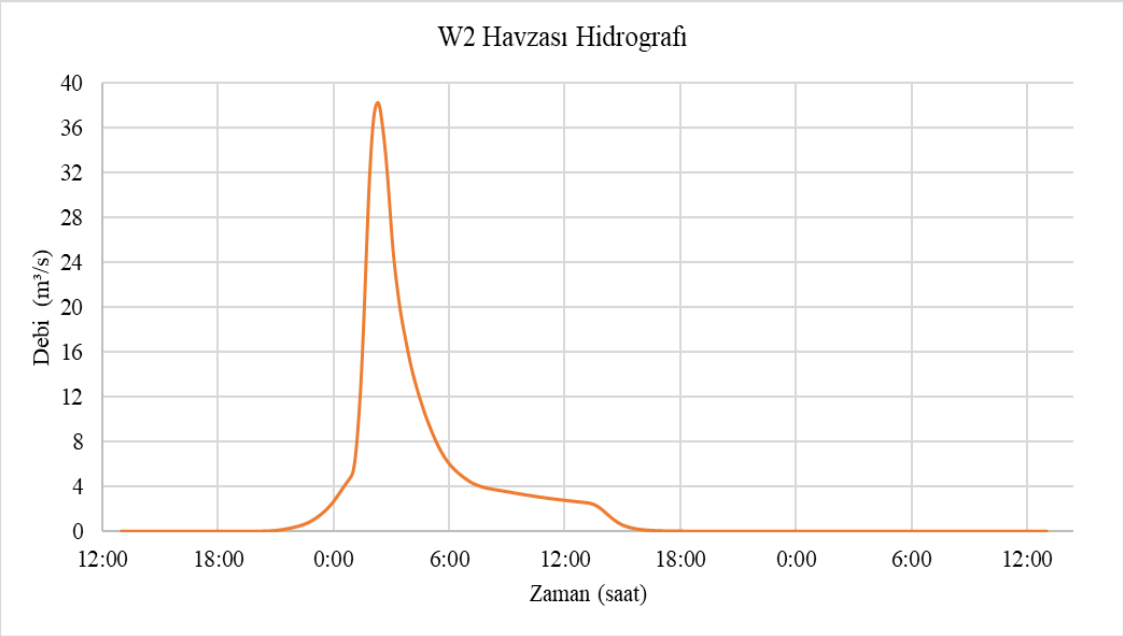
15.294 km^2 alana sahip olan W1 havzası üzerine düşen 52.8 mm yağış yüksekliğinin 22.15 mm'lik kısmı sızma, kanopi gibi yağış kayıpları ile sistemden çıkmıştır. Yağışın 30.65 mm'lik kısmı ise doğrudan akışa katkı sağlamıştır. Şekil 4.1'de W1 havzasının hidrografı gösterilmiştir.



Şekil 4.1 W1 havzası çıkışında gözlemlenen akış hidrografı

4.2 W2 Havzası

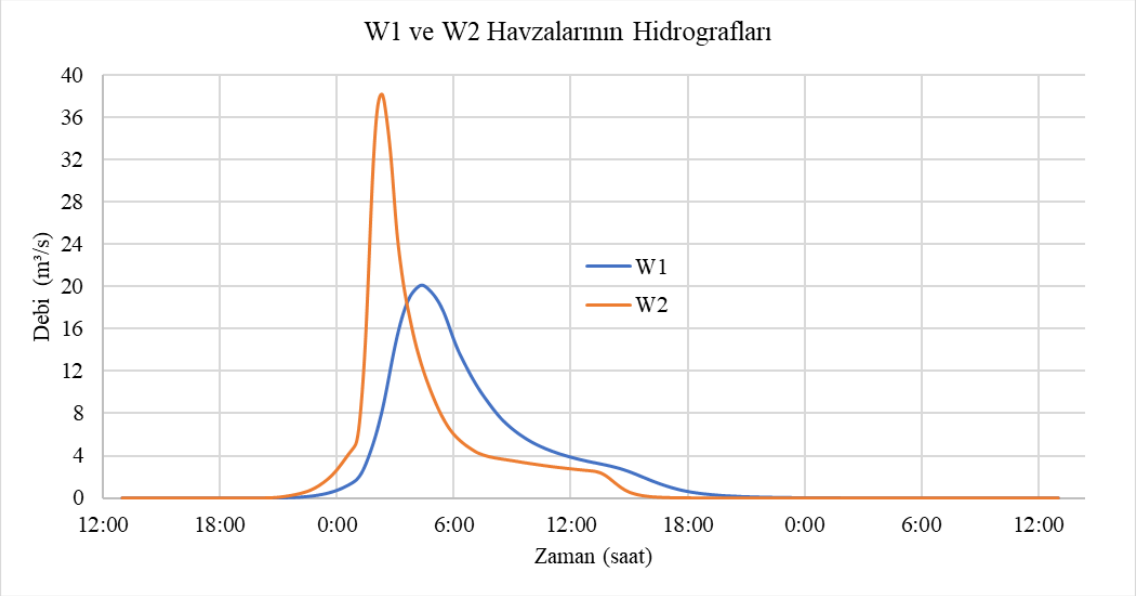
15.201 km^2 alana sahip olan W2 havzası üzerine düşen 52.8 mm yağış yüksekliğinin 22.64 mm'lik kısmı sızma, kanopi gibi yağış kayıpları ile sistemden çıkmıştır. Yağışın 30.16 mm'lik kısmı ise doğrudan akışa katkı sağlamıştır. Şekil 4.2'de W2 havzasının hidrografı gösterilmiştir.



Şekil 4.2 W2 havzası çıkışında gözlemlenen akış hidrografı

4.3 W1 ve W2 Havzalarının Hidrograflarının Detaylı İncelenmesi

Analiz sonuçlarına göre W1 ve W2 havzalarının çıkışındaki hidrograf Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Buna göre 10 Şubat 2021 13:00'da başladığı varsayılan yağış sonucu oluşan pik debi W1 havzasında 11 Şubat 2021 04:20'de 20.1 m^3/s, W2 havzasında ise 11 Şubat 2021 02:20'de 38.2 m^3/s elde edilmiştir.



Şekil 4.3 W1 ve W2 havzalarının debileri

Daha önce de belirtildiği gibi W1 ve W2 havzaları alt havzalara bölünmeden bir bütün şeklinde tasvir edilmiştir. Bunun sebebi her iki havzanın da alanları nispeten küçük olmasından ötürüdür. Detayları bu çalışmada gösterilmemekle beraber W1 ve W2 havzaları sırasıyla 31 ve 37 parçaya bölünüp yağış-akış ilişkisi bir kez daha incelenmiştir. Buna göre W1 havzasının çıkış noktasında elde edilen pik debi *39.6* m^3/s, W2 havzasının çıkış noktasında elde edilen pik debi ise *82.2* m^3/s olmuştur. Bu debilerin, havzaların bir bütün olarak göz önüne alındığı analizde elde edilen pik debilere göre çok yüksek çıkmasının başlıca iki sebebi şunlardır;

- Althavza sayısı arttıkça havzaların alanları azalmakta ve sonuç olarak gecikme süreleri ve konsantrasyon süreleri kısalmaktadır
- Althavza sayısı arttıkça kanalların sayısı da artmakta ve her bir kanalın uzunluğu kısalmaktadır. Kanal uzunluklarının kısa olması numerik stabilite problemlerine yol açmakta ve böylece hatalar oluşmaktadır.

Bu tez çalışmada seçilen W1 ve W2 havzalarının alanları ve sızma kayıpları neredeyse aynı olmasına rağmen elde edilen pik debiler birbirinden çok farklıdır. Bunun başlıca sebebi havzaların konsantrasyon sürelerinin farklı olmasıdır.

Denklem 3.15'te gösterildiği gibi, konsantrasyon süresi akış uzunluğuna, havza eğimine ve maksimum alıkoymaya bağlı bir parametredir.

Havza eğimi ve maksimum alıkoyma, W1 ve W2 havzaları için birbirine yakın değerler iken akış uzunluğu her iki havza için birbirinden oldukça farklıdır. Akış uzunluklarının bu denli farklı olması havzaların biçim faktörlerinden kaynaklanmaktadır. Kesit alanının havza uzunluğunun karesine bölünmesi ile elde edilen biçim faktörü W1 ve W2 havzaları için sırasıyla *0.154* ve *0.359* dur (Rahaman vd., 2015). Biçim faktörünün *0*'a yaklaşması havzanın gittikçe ince uzun bir görünüme sahip olduğunu gösterir ve bundan ötürü akış uzunluğu artar.

4.4 W1 Havzasının Menfezi

W1 havzası çıkışında elde edilen 20.1 m^3/s'lik debiye göre tasarımı yapılacak menfez için HY-8 programında farklı kesitler denenerek optimum tasarım yapmaya çalışılmıştır. Buna göre öncelikle *1.5x1.5* boyutlarında kutu menfez seçilip maksimum debiye göre menfez analize tabii tutulmuştur. Sürekli iterasyonlar ile menfez tipi değiştirilerek Karayolu şartnamesinde belirtilen menfez girişinde maksimum 0.2 m'lik kabarmaya göre menfez belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda sırasıyla *1.5 x 1.5, 2.0 x 2.0, 2.5 x 2.5, 3.0 x 3.0* boyutlarında menfezler seçilip ön analizleri yapılmıştır. Ön analizde hız, eğim, hava payı, gölleşme, kayma gibi durumlar göz ardı edilip sadece menfezin debiyi taşma yapıp yapmamasına göre menfez değerlendirilir. Ön analiz sonucu seçilen kesit daha sonra detaylı analizler ile enerji kırıcı gibi giriş konfigürasyonlarıyla sürekli analiz edilir. Gerekirse menfez eğimi değiştirilip menfez çıkışındaki hız kontrolü yapılır.

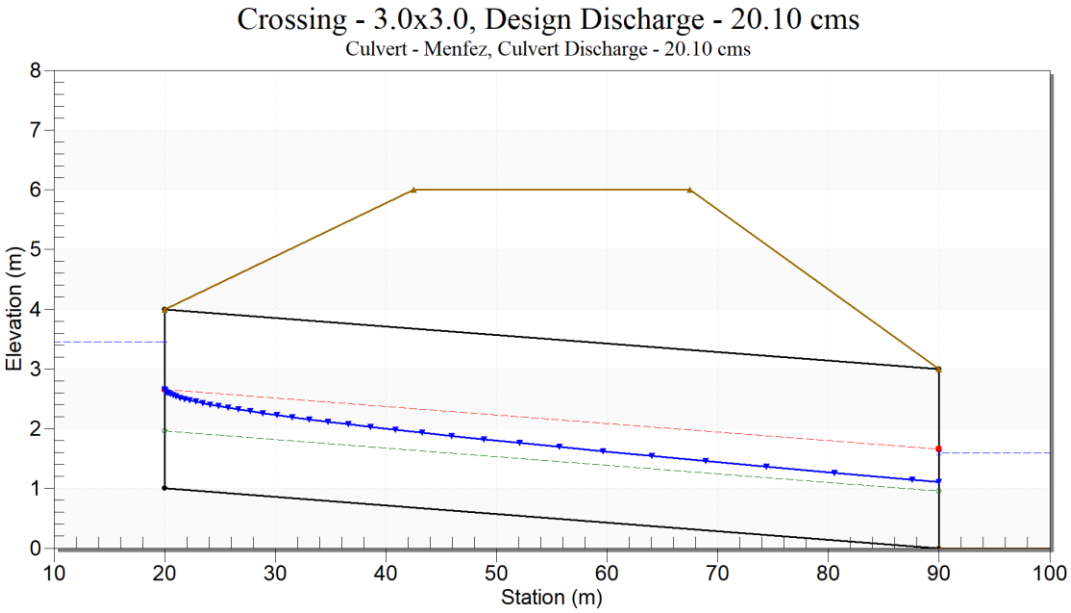
EK 1, EK 2, EK 3 ve EK 4'de sırasıyla *1.5 x 1.5, 2.0 x 2.0, 2.5 x 2.5, 3.0 x 3.0* boyutlarındaki menfezlerin ön analizleri gösterilmiştir. EK 4'te gösterildiği gibi *3.0 x 3.0* boyutlarındaki menfezin kabarmaya izin vermeden debiyi geçirdiği söylenebilir. Bu durumda *3.0 x 3.0* boyutlarında bir kutu menfez seçilip detaylı analize tabii tutulmuştur.

EK 4'te gösterildiği gibi 3x3 boyutlarında seçilecek bir kutu menfez 20.1 m^3/s'lik debiyi geçirebilmektedir. Buna göre 3x3 boyutlarında bir kutu menfez seçilmiştir. Bu boyutta analizi yapılan menfezin girişindeki su yüksekliği 2.79 m olarak bulunmuştur.

Menfez girişinde herhangi bir giriş konfigürasyonu seçilmesi durumunda bu değer değişebilmektedir. Sık kullanılan giriş konfigürasyonlarından biri olan kanat duvarları söz konusu menfez için seçilmesi durumunda menfezin girişindeki su yüksekliği 2.45 m olarak bulunur. Seçilen menfezin akım özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Aynı zamanda Şekil 4.4'te konfigürasyonu tamamlanan menfezin su profili görülebilir.

Tablo 4.1 3x3 boyutlarında tasarlanan menfezde akım özellikleri

Menfez Debisi (m^3/s)	Memba Su Derinliği (m)	Su Profili	Normal Derinlik (m)	Kritik Derinlik (m)	Çıkış Yüksekliği (m)	Mansap Su Derinliği (m)	Çıkış Hızı (m/s)	Mansap Kanal Hızı (m/s)
0	0	0-NF	0	0	0	0	0	0
2.5	0.68	1-S2n	0.24	0.41	0.24	0.47	3.49	1.18
5	0.98	1-S2n	0.37	0.66	0.39	0.71	4.26	1.49
7.5	1.27	1-S2n	0.49	0.86	0.52	0.91	4.78	1.69
10	1.53	1-S2n	0.59	1.04	0.65	1.07	5.14	1.84
15	2.01	1-S2n	0.78	1.37	0.88	1.35	5.66	2.08
17.5	2.23	1-S2n	0.87	1.51	0.99	1.47	5.87	2.17
20.1	2.45	1-S2n	0.96	1.66	1.11	1.59	6.05	2.26



Şekil 4.4 3x3 boyutlarında tasarlanan menfezde su yükseklikleri

5. SONUÇLAR

Eski adıyla SCS-CN yöntemi olan NRCS yöntemi akım ölçüm istasyonu olmayan havzalarda yağış derinliğinden doğrudan akış derinliğini tahmin eden bir yöntemdir. Metot, eğri numarası olarak adlandırılan CN parametresine görece daha hassas olduğu için eğri numarasının belirlenmesi çok önemlidir. Bununla birlikte NRCS yöntemiyle elde edilen doğrudan akışın Grafiksel Pik Debi metotuyla hidrografa dönüştürülmesi sırasında gereken konsantrasyon süresi, havza eğimi, havza alanı gibi parametrelerin doğru belirlenmesi en az CN parametresi kadar önemlidir (Bellal vd., 1996). Özellikle GIS'in gelişimi ve verilerin manipüle edilebileceği yazılımlar ile bu parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesi hidrolojik tasarım yapan mühendislere daha ekonomik ve daha düzgün tasarımlar yapması konusunda kolaylık sağlamaktadır.

Bu çalışmada, daha çok köprü ve menfezlerin hidrolojik tasarımında kullanılacak pik tasarım debisinin GIS yardımıyla belirlenmesi ve bu sayede kullanıcıdan kaynaklı hataların azaltılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda Python kullanılarak ücretsiz bir yazılım olan QGIS'te QSCS adından bir eklenti geliştirilmiştir. Bu eklenti sayesinde detayları bu çalışmada verilen W1 ve W2 havzalarının karekteristikleri belirlenmiş ve bir simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Aynı zamanda bir GIS eklentisi olarak kullanılan QSCS eklentisinin limitleri belirlenmiştir. Buna göre özellikle menfezleri besleyen küçük alana sahip havzaların tasvirinde rahatlıkla kullanılabilirken büyük havzaların tasvirinde saatler süren işlem süresinden ötürü kullanılması tavsiye edilmemektedir. Havza alanının Mockus yönteminin belirlediği sınırları aşması durumunda QSCS ile havza althavzalara bölünebilir. Bu durumda althavzaları birbirine bağlayan kanalların karakteristik özellikleri iyi belirlenmelidir.

Sonuç olarak, NRCS metotu bu çalışma neticesinde iki havza üzerinde GIS ile kullanılarak hem daha hızlı hem de daha doğru bir şekilde uygulanabilmiştir. Aynı zamanda tez çalışmasına uygulanabilirlik katması açısından W1 havzası çıkışına yapılmış bir menfezin hidrolik tasarımı da tez kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

Al-Abadi, A. M., Al-Temmeme, A. A., & Al-Ghanimy, M. A. (2016). A GIS-based combining of frequency ratio and index of entropy approaches for mapping groundwater availability zones at Badra–Al Al-Gharbi–Teeb areas, Iraq. *Sustainable Water Resources Management*, *2*(3), 265–283. https://doi.org/10.1007/S40899-016-0056-5/FIGURES/15

Almazroui, M., Şen, Z., Mohorji, A. M., & Islam, M. N. (2018). Impacts of Climate Change on Water Engineering Structures in Arid Regions: Case Studies in Turkey and Saudi Arabia. *Earth Systems and Environment 2018 3:1*, *3*(1), 43–57. https://doi.org/10.1007/S41748-018-0082-6

Ames, D. P., Rafn, E. B., van Kirk, R., & Crosby, B. (2009). Estimation of stream channel geometry in Idaho using GIS-derived watershed characteristics. *Environmental Modelling & Software*, *24*(3), 444–448. https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2008.08.008

Anamelechi, F. a. (2021). *LiDARThAn: A One Click QGIS Plugin for LiDAR Thinning. 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers*.

Baye, M. (2018). Watershed Delineation by Arc Hydro Tools. *International Journal of Science and Research*. https://doi.org/10.21275/SR20516144818

Bellal, M., Sillen, X., & Zech, Y. (1996). Coupling GIS with a distributed hydrological model for studying the effect of various urban planning options on rainfall-runoff relationship in urbanized watersheds. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, *235*, 99–106.

Bruins, H. J., Bithan-Guedj, H., & Svoray, T. (2019). GIS-based hydrological modelling to assess runoff yields in ancient-agricultural terraced wadi fields (central Negev desert). *Journal of Arid Environments*, *166*, 91–107. https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2019.02.010

Chang, K.-T. (2017). Geographic Information System. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, 1–9. https://doi.org/10.1002/9781118786352.WBIEG0152

Copernicus. (2016). *Copernicus, European Union's Earth observation programme*. Https://Land.Copernicus.Eu/Imagery-in-Situ/Eu-Dem/Eu-Dem-v1.1?Tab=metadata.

Copernicus. (2018). *Copernicus, European Union's Earth observation programme*. Https://Land.Copernicus.Eu/Pan-European/Corine-Land-Cover/Clc2018?Tab=metadata.

Elfeki, A. M., Ewea, H. A., & Al-Amri, N. S. (2014). Development of storm hyetographs for flood forecasting in the Kingdom of Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, *7*(10), 4387–4398. https://doi.org/10.1007/S12517-013-1102-3/TABLES/6

Ellsäßer, F., Röll, A., Stiegler, C., Hendrayanto, & Hölscher, D. (2020). Introducing QWaterModel, a QGIS plugin for predicting evapotranspiration from land surface temperatures. *Environmental Modelling & Software*, *130*, 104739. https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2020.104739

Erskine, R. H., Green, T. R., Ramirez, J. A., & MacDonald, L. H. (2006). Comparison of grid-based algorithms for computing upslope contributing area. *Water Resources Research*, *42*(9). https://doi.org/10.1029/2005WR004648

Ezz, H. (2018). Integrating GIS and HEC-RAS to model Assiut plateau runoff. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *21*(3), 219–227. https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2017.11.002

Fhwa. (2012). *Hydraulic Design Series Number 5 HYDRAULIC DESIGN OF HIGHWAY CULVERTS Third Edition*.

Folmar, N. D., Miller, A. C., & Woodward, D. E. (2007). History and Development of the NRCS Lag Time Equation1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *43*(3), 829–838. https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.2007.00066.X

Garbrecht, J., & Martz, L. W. (2000). *Digital elevation model issues in water resources modeling. Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems*. ESRI Press, Redlands CA, USA.

Gleyzer, A., Denisyuk, M., Rimmer, A., & Salingar, Y. (2004). A fast recursive GIS algorithm for computing strahler stream order in braided and nonbraided networks. *Journal of the American Water Resources Association*, *40*(4), 937–946. https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.2004.TB01057.X

Gribbin, J. E. (2012). *Introduction to Hydraulics and Hydrology with Applications for Stormwater Management*. www.cengage.com/highered

Gupta, R. S. (n.d.). *Hydrology & hydraulic systems*.

Hijmans, R. J. (2016). *Introduction to the'raster'package (version 2.5-8)*.

Hydrologic Engineering Center. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual CPD-74B.*

Hydrologic Engineering Center. (2018). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Quick Start Guide CPD-74D*.

Jaafar, H. H., Ahmad, F. A., & el Beyrouthy, N. (2019). GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. *Scientific Data 2019 6:1*, *6*(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/s41597-019-0155-x

Jain, S. K., Kumar, S., & Varghese, J. (2001). Estimation of Soil Erosion for a Himalayan Watershed Using GIS Technique. *Water Resources Management 2001 15:1*, *15*(1), 41–54. https://doi.org/10.1023/A:1012246029263

Jerome Normann, A. M., Houghtalen, R. J., & Johnston, W. J. (2001). *Hydraulic Design of Highway Culverts, Second Edition 6. Performing Organization Code Unclassified*.

Karami, H., Anaraki, M. V., Farzin, S., & Mirjalili, S. (2021). Flow Direction Algorithm (FDA): A Novel Optimization Approach for Solving Optimization Problems. *Computers & Industrial Engineering*, *156*, 107224. https://doi.org/10.1016/J.CIE.2021.107224

KGM. (2019). *Karayolu Tasarım El Kitabı*.

Korres, W., & Schneider, K. (2017). GIS for Hydrology. *Comprehensive Geographic Information Systems*, *3*, 51–80. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09635-4

Kumar, A., Kanga, S., Taloor, A. K., Singh, S. K., & Đurin, B. (2021). Surface runoff estimation of Sind river basin using integrated SCS-CN and GIS techniques. *HydroResearch*, *4*, 61–74. https://doi.org/10.1016/J.HYDRES.2021.08.001

Manual, U. (n.d.). *HY-8 User Manual (v7.5) HY-8 Culvert Analysis Program*.

Marques da Silva, J. R., & Silva, L. L. (2008). The yield pattern considering the distance to flow accumulation lines. *European Journal of Agronomy*, *28*(4), 551–558. https://doi.org/10.1016/J.EJA.2007.12.006

McCuen, R. H. (1998). *Hydrologic Analysis and Design* (2. Edition). Prentice Hall.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Retrieved April 4, 2022, from https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=DIYARBAKIR

Mishra, S. K., & Singh, V. (2003). *Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology* (Vol. 42). Springer Science & Business Media.

Mockus, V. (1949). Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms. *Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture*.

Munna, G. M., Alam, M. J. bin, Uddin, M. M., Islam, N., Orthee, A. A., & Hasan, K. (2021). Runoff prediction of Surma basin by curve number (CN) method using ARC-GIS and HEC-RAS. *Environmental and Sustainability Indicators*, *11*, 100129. https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2021.100129

Nair, A. M., Vijayan, A., & Baysil, G. (2015). Impact of Temporal Variation in Land Use on Surface Run Off: A Case Study of Cochin City, Kerala, India. *Cloud Publications International Journal of Advanced Earth Science and Engineering*, *4*(1), 2320–3609. http://scientific.cloud-journals.com/index.php/IJAESE/article/view/Sci-239

Panigrahi, B., Choudhari, K., & Chandra Paul, J. (2014). Watershed planning using interactive multi objective linear programming approach: A case study Academic excellence View project Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES*, *5*(2). https://www.researchgate.net/publication/327606890

Pella, H., & Ose, K. (2018). Network Analysis and Routing with QGIS. *QGIS and Applications in Water and Risks*, *4*, 105–144. https://doi.org/10.1002/9781119476726.CH4

Rahaman, S. A., Ajeez, S. A., Aruchamy, S., & Jegankumar, R. (2015). Prioritization of Sub Watershed Based on Morphometric Characteristics Using Fuzzy Analytical

Hierarchy Process and Geographical Information System – A Study of Kallar Watershed, Tamil Nadu. *Aquatic Procedia*, *4*, 1322–1330. https://doi.org/10.1016/J.AQPRO.2015.02.172

Ramly, S., & Tahir, W. (2016). Application of HEC-GeoHMS and HEC-HMS as Rainfall–Runoff Model for Flood Simulation. *ISFRAM 2015*, 181–192. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0500-8_15

Robbins, C., & Phipps, S. P. (1996). GIS and Water Resources Tools for Performing Floodplain Management Modelling Analysis. *AWRA Symposium on GIS and Water Resources, Ft. Lauderdale, USA*.

Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J., Kumar, S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). HYSOGs250m, global gridded hydrologic soil groups for curve-number-based runoff modeling. *Scientific Data 2018 5:1*, *5*(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.91

Scharffenberg, B., Bartles, M., Brauer, T., Fleming, M., & Karlovits, G. (2018). *Computer Program Document 3. DATES COVERED (From-To) Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual CPD-74A*.

Shingare, P. P., & Kale, S. S. (2013). Review on digital elevation model. *International Journal of Modern Engineering Research*, *3*(4), 2412–2418.

Singh, V. P., & M. F. (1996). *Geographical Information Systems in Hydrology*.

Strager, M. P., Fletcher, J. J., Strager, J. M., Yuill, C. B., Eli, R. N., Todd Petty, J., & Lamont, S. J. (2010). Watershed analysis with GIS: The watershed characterization and modeling system software application. *Computers & Geosciences*, *36*(7), 970–976. https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2010.01.003

Thakuriah, G., & Saikia, R. (2014). *Estimation of Surface Runoff using NRCS Curve number procedure in Buriganga Watershed, Assam, India-A Geospatial Approach*. www.isca.me

USDA. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds

USDA. (2004). *NEH 630 Chapter 10*.

USDA. (2009). *NEH 630 Chapter 7*.

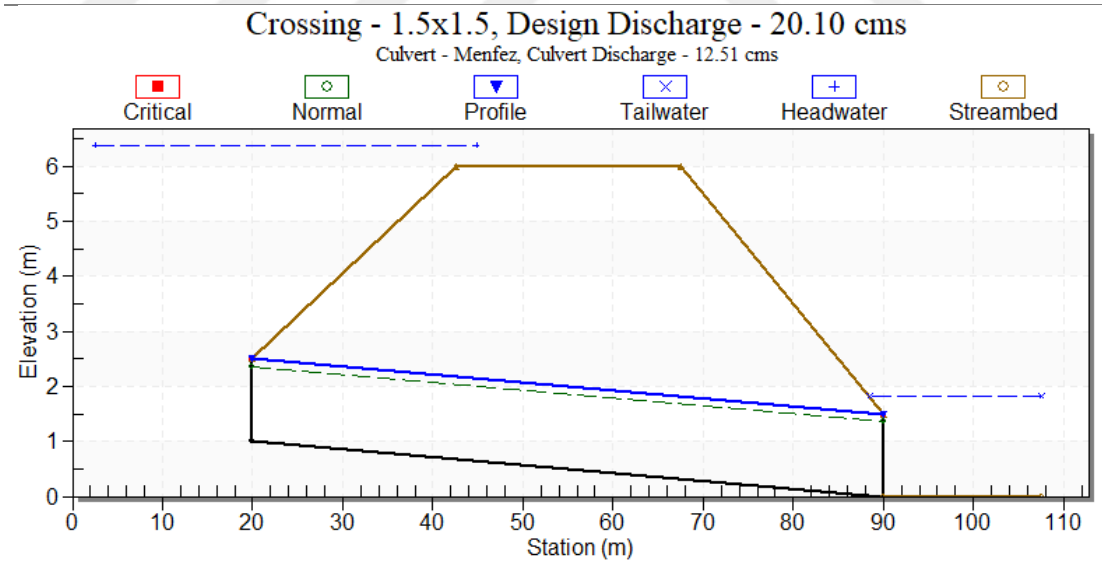
Vijay P. Singh, & M. Fiorentino. (1996). *Geographical Information Systems in Hydrology*.

ZAMFIR, A., & SIMULESCU, D. (2011). Automatic delineation of a watershed using a DEM. Case study–The Oltet watershed. *GEOREVIEW: Scientific Annals of Stefan Cel Mare University of Suceava. Geography Series*, *20*(1), 83–92.

EKLER

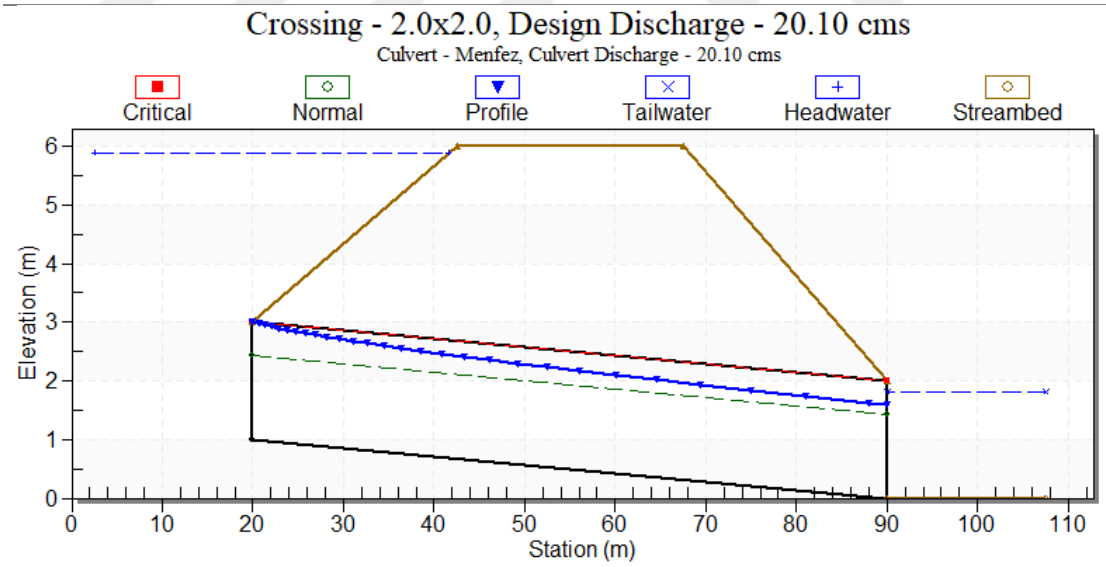
EK 1: 1.5 x 1.5 boyutlarındaki menfezin ön analizleri

Kabarma Yüksekliği (m)	Toplam Debi (m^3/s)	Menfez Debisi (m^3/s)	Yol-Taşkın Debisi (m^3/s)
1	0	0	0
2.1	2.5	2.5	0
2.79	5	5	0
3.63	7.5	7.5	0
4.78	10	10	0
6.06	12.5	12.07	0.42
6.19	15	12.25	2.74
6.29	17.5	12.39	5.1
6.37	20.1	12.51	7.59
6.44	22.5	12.6	9.89
6.51	25	12.69	12.3
6	11.99	11.99	0



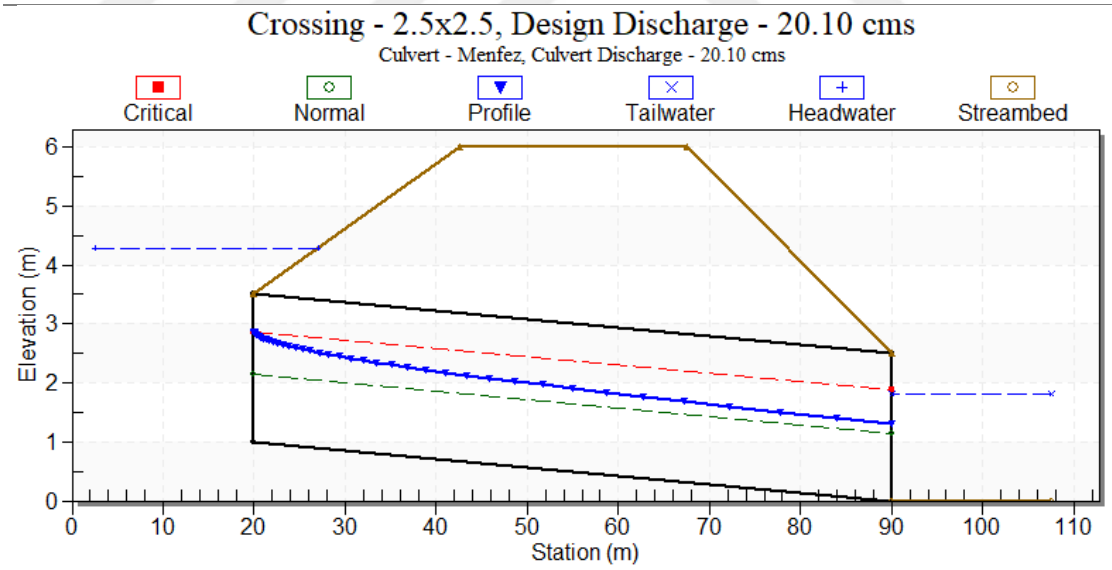
EK 2: 2.0 x 2.0 boyutlarındaki menfezin ön analizleri

Kabarma Yüksekliği (m)	Toplam Debi (m^3/s)	Menfez Debisi (m^3/s)	Yol-Taşkın Debisi (m^3/s)
1	0	0	0
1.92	2.5	2.5	0
2.45	5	5	0
2.9	7.5	7.5	0
3.34	10	10	0
3.83	12.5	12.5	0
4.4	15	15	0
5.07	17.5	17.5	0
5.89	20.1	20.1	0
6.14	22.5	20.81	1.69
6.24	25	21.1	3.9
6	20.41	20.41	0



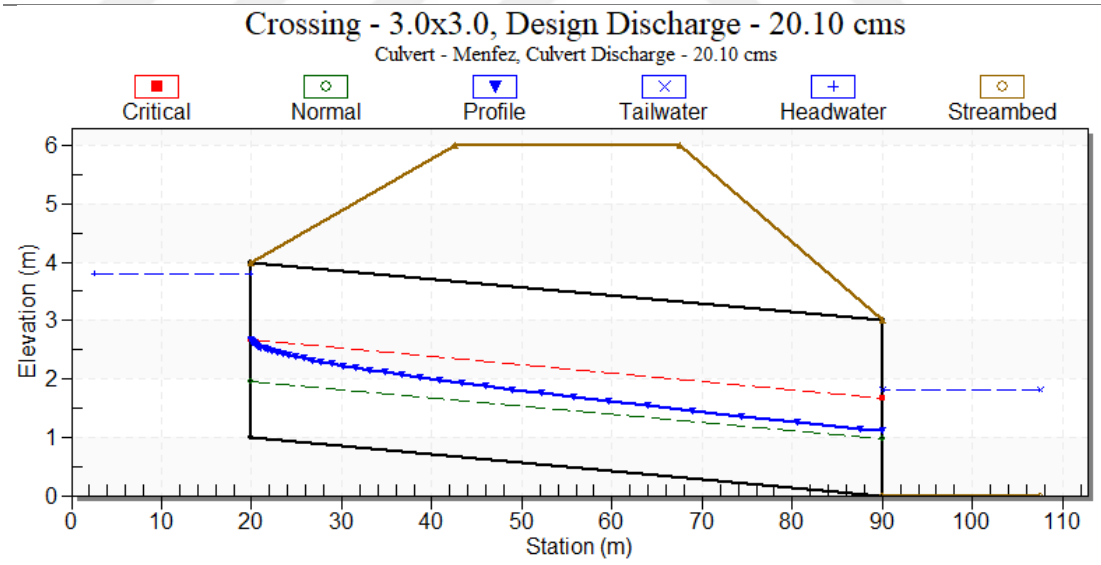
EK 3: 2.5 x 2.5 boyutlarındaki menfezin ön analizleri

Kabarma Yüksekliği (m)	Toplam Debi (m^3/s)	Menfez Debisi (m^3/s)	Yol-Taşkın Debisi (m^3/s)
1	0	0	0
1.79	2.5	2.5	0
2.26	5	5	0
2.63	7.5	7.5	0
2.97	10	10	0
3.29	12.5	12.5	0
3.61	15	15	0
3.93	17.5	17.5	0
4.29	20.1	20.1	0
4.64	22.5	22.5	0
5.04	25	25	0
6	30.12	30.12	0



EK 4: 3.0 x 3.0 boyutlarındaki menfezin ön analizleri

Kabarma Yüksekliği (m)	Toplam Debi (m^3/s)	Menfez Debisi (m^3/s)	Yol-Taşkın Debisi (m^3/s)
1	0	0	0
1.7	2.5	2.5	0
2.11	5	5	0
2.46	7.5	7.5	0
2.76	10	10	0
3.03	12.5	12.5	0
3.29	15	15	0
3.54	17.5	17.5	0
3.79	20.1	20.1	0
4.02	22.5	22.5	0
4.26	25	25	0
6	40.56	40.56	0



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Aksakal, Sidar
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2022
Lisans	Dicle Üniversitesi	2019
Lise	Güler Şevki Özbek A.L.	2015

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2022-Devam Ediyor	DSİ	Laborant

Yabancı Dil

İngilizce (YDS-C)

Yayınlar

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Sidar AKSAKAL		
Öğrenci No	19806004		
Ana Bilim Dalı	Hidrolik ve Su Kaynakları Müh.		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Doç. Dr. Necati KAYAALP		
Tez Başlığı	Karayolları Köprü Ve Menfez Tasarım Debilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Belirlenmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	85		
Raporlama Tarihi	20.06.2022		
Benzerlik Oranı (%)	14		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 85 sayfalık kısmına ilişkin, 20.06.2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 14 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐Kaynaklar hariç

☐Alıntılar hariç/dâhil

☒Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir,
gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Sidar AKSAKAL
Tarih: 20.06.2022
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Necati KAYAALP İmza:

Tarih: 20.06.2022

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Zeynel Fuat TOPRAK İmza:

Tarih: 20.06.2022