

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KABİL SU HAVZASININ BAZI AKARSULARININ AKIM  
KARAKTERİSTİKLERİNİN HAVZA FİZYOGRAFİK  
PARAMETRELERİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MOHAMAD İSMAİL SHAHİN**

**DENİZLİ, AĞUSTOS 2021**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KABİL SU HAVZASININ BAZI AKARSULARININ AKIM  
KARAKTERİSTİKLERİNİN HAVZA FİZYOGRAFİK  
PARAMETRELERİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MOHAMAD İSMAİL SHAHİN**

**DENİZLİ, AĞUSTOS 2021**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.**

.....  
**Mohamad İsmail SHAHİN**

## ÖZET

**KABİL SU HAVZASININ BAZI AKARSULARININ AKIM  
KARAKTERİSTİKLERİNİN HAVZA FİZYOGRAFİK PARAMETRELERİ  
İLE BELİRLENMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MOHAMAD İSMAIL SHAHİN  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. FATİH DİKBAŞ)  
DENİZLİ, AĞUSTOS 2021**

Bu tez kapsamında, Afganistan'ın su kaynaklarını depolama, uygun şekilde yönetme, geliştirme ve akarsu havzalarının parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile belirlenmesi için çalışma yapılmıştır. Çalışmada kullanılan iki önemli akarsuyun akım karakteristiğinin belirlenmesi için uzun dönem ortalama debi ve büyük anlık debi ele alınmış; Afganistan'da bulunan 5 ana büyük havza içinde yer alan Kabil ana havzasının alt havzalarının değerlerini hesaplayacak doğrusal ilişkilerin bulunması için çalışma yapılmıştır.

Sayısal Yüksek Modeli (SYM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla havzaya ait toplam 25 adet fiziksel parametre otomatik olarak ve/veya hesap yoluyla elde edilmiştir. DEM'den elde edilen havza parametreleri: havza alanı (A), havza çevresi (P), havza ortalama kotu ( $H_{ort}$ ), havza maksimum kotu ( $H_{mak}$ ), havza minimum kotu ( $H_{min}$ ), havza uzunluğu ( $L_b$ ), havza ağırlık merkezinin X koordinatı, havza ağırlık merkezinin Y koordinatı, havza rölyefi ( $R_f$ ), rölyef oranı ( $R_r$ ), havza eğimi (SLP) ve sinüozite (SIN). Akarsu drenaj parametreleri ise akarsu ana kol uzunluğu ( $L_m$ ), akarsu mertebesi (U), akarsu sayısı ( $N_u$ ), akarsu uzunluğu ( $L_u$ ), çatallanma oranı ( $R_b$ ) ve dört ana yön (kuzey, doğu, güney ve batı) için bakı değerlerinden elde edilen oranlardır.

Gözlem değeri olan alt havzalar için hesaplanan parametreler ile debi değerleri arasındaki ilişkiler geriye doğru adım adım çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile incelenmiştir. ArcGIS yazılımı ile elde edilen havza fizyografik parametrelerinden yedi adet parametre, adım adım geriye doğru çoklu doğrusal regresyon analizinde kullanılmıştır. En iyi çoklu doğrusal regresyon modelleri, determinasyon katsayısı, düzeltilmiş determinasyon katsayısı ve tahmini standart hatası değerleri ile analiz edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Sayısal Yükseklik Modelleri, Fizyografik Parametreler, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Regresyon Analizi, Akım Karakteristikleri

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF STREAMFLOW CHARACTERISTICS OF SOME OF THE WATERSHEDS OF KABUL DRAINAGE BASIN USING PHYSIOGRAPHIC DESCRIPTORS**

**MSC THESIS**

**MOHAMAD İSMAİL SHAHİN**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**CIVIL ENGINEERING**

**SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. FATİH DİKBAŞ**

**DENİZLİ, AUGUST 2021**

Within the scope of this thesis, work was carried out to store, properly manage, develop and determine the parameters of Afghanistan's water resources with GIS. Long-term average flow rate and large instantaneous flow rate were discussed to determine the current characteristics of the two important streams used in the study; work has been carried out to find linear relationships to calculate the values of the sub-basins of the main Kabul basin.

A total of 25 physical parameters of the basin were obtained automatically and/or through the account with the help of the DEM and GIS. Basin parameters are basin area, basin perimeter, average basin altitude, maximum basin altitude, basin minimum elevation, basin length, X and Y coordinate of the basin center of gravity, basin relief rate, basin slope and sinuosity. The stream drainage parameters are the ratios obtained from the care values for the main arm length , stream order, number of streams, stream length , forking rate and the rates obtained from the slope exposure rates for the four main directions (north, east, south and west).

The relationships between the calculated parameters for sub-basins with available observation values and the flow rates were investigated by using the method of step by step backward multiple linear regression. Seven parameters from basin physiological parameters obtained with ArcGIS software were used in the step by step backward multiple linear regression analysis. The best multiple linear regression models were analyzed by using determination coefficient, corrected determination coefficient and estimated standard error values.

**KEYWORDS:** Digital Elevation Model, Physiographic Parameters, Geographic Information Systems, Multiple Linear Regression, Streamflow Characteristics

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Bilgisi.....	13
<b>2. HAVZA PARAMETRELERİ .....</b>	<b>17</b>
2.1 Havza Sınırı .....	17
2.2 Havza Alanı (A).....	18
2.3 Havza Çevresi (P) .....	18
2.4 Havza Uzunluğu (Lb) .....	18
2.5 Havza Genişliği (W) .....	18
2.6 Havzanın Maksimum Kotu (Hmak).....	19
2.7 Havzanın Minimum Kotu (Hmin).....	19
2.8 Havzanın Ortalama Kotu (Hort) .....	19
2.9 Havzanın Ağırlık Merkezi (GL) .....	19
2.10 Havzanın Yönevi (Bakı) .....	19
2.11 Havzanın Eğimi .....	19
2.12 Akarsuyun Mertebesi (U).....	20
2.13 Akarsu Sayısı (Nu).....	20
2.14 Akarsu Uzunluğu (Lu) .....	20
2.15 Ortalama Akarsu Uzunluğu (Lsm).....	21
2.16 Çatallanma Oranı (Rb).....	21
2.17 Havza Rölyefi (Rf).....	21
2.18 Rölyef Oranı (Rr).....	21
2.19 Drenaj Yoğunluğu (Dd) .....	22
2.20 Sinüozite .....	22
<b>3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ.....</b>	<b>24</b>
3.1 CBS Analizi .....	25
3.2 SYM'nin Hazırlanması (DEM).....	25
3.3 Çukursuz SYM Oluşturulması (Fill).....	26
3.4 Akış Yönü (Flow Direction) .....	27
3.5 Akım Toplama .....	29
3.6 Havza Çıkış Noktası .....	30
3.7 Çıkış Noktasının Raster Formatına Dönüştürülmesi .....	31
3.8 Havza Sınırlandırılması "Watershed" .....	32
3.8.1 Havzanın Diğer Tabakalardan Ayrılması .....	34
3.8.2 Havza Alanının Poligona Çevrilmesi .....	37
3.8.3 Havza Alanı Hesaplama.....	38

3.8.4	Havza Çevre Uzunluğu Hesaplama .....	39
3.8.5	Havzanın Ağırlık Merkezinin Bulunması .....	39
3.8.6	Eğim Hesaplama .....	40
3.8.7	Bakı .....	43
3.8.8	Ortalama Yükseklik, Maksimum Yükseklik, Minimum Yükseklik, Kot-Rölyef Oranı .....	46
3.8.9	Akarsu Çatallanma Oranı (Stream Order) Hesaplama .....	48
3.8.10	Akarsu Uzunluğu Hesaplama .....	49
3.8.11	Akarsu Ana Kol Kuş Uçuşu Uzunluğu .....	50
3.8.12	Eğrilik (Curvature) .....	51
<b>4.</b>	<b>REGRESYON ANALİZİ .....</b>	<b>54</b>
4.1	Parametrelerin (Katsayıların) Tahmini .....	54
4.2	Regresyon Analizi Yöntemleri .....	54
4.3	Doğrusal Regresyon Analizi .....	55
4.4	Çoklu Regresyon Analizi .....	56
4.4.1	Bağımsız Değişkenlerin Modelden Çıkarılması-Geriye Doğru Adım Adım Çoklu Doğrusal Regresyon .....	56
4.4.2	Regresyon Modelinin Performans Analizi .....	57
4.4.2.1	Belirlilik Katsayısı ( $R^2$ ) ve Düzeltilmiş Belirlilik Katsayısı ( $R^2_{adj}$ ) .....	57
4.4.2.2	Tahminin Standart Hatası (SEE) .....	58
<b>5.</b>	<b>HAVZA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ .....</b>	<b>60</b>
5.1	Regresyon Analizi Bulguları .....	63
<b>6.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>70</b>
<b>7.</b>	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>72</b>
<b>8.</b>	<b>EKLER .....</b>	<b>77</b>
	EK A Kabil Havzalarının Konum Haritaları .....	77
<b>9.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>83</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Uygulama alanı .....	24
Şekil 3.2: Kabil havzalarının sayısal yükseklik modeli.....	26
Şekil 3.3: Fill komutunun parametreleri ve ArcToolbox aşamaları .....	27
Şekil 3.4: Akış ilerleme yönüne göre raster değerleri .....	27
Şekil 3.5: Flow Direction komutunun menüsü.....	28
Şekil 3.6: Kabil su havzalarının akım yönler .....	28
Şekil 3.7: Flow Accumulation parametreleri ve ArcToolbox'ın aşamaları.....	29
Şekil 3.8: Kabil su havzalarının bir bölümünün akım toplama değerleri 15000'den büyük olan hücreler .....	30
Şekil 3.9: Havza çıkış noktası.....	31
Şekil 3.10: Havza çıkış noktasının raster formatına dönüştürülmesi .....	32
Şekil 3.11: Watershed komutunun menüsü .....	33
Şekil 3.12: Kabil su havzalarından bir havzanın sınırlandırılması .....	33
Şekil 3.13: Havza tanımlama süreci akış şeması .....	34
Şekil 3.14: Extract by Mask komutunun parametreleri .....	35
Şekil 3.15: "Extract by Mask" ile havzanın sayısal yükseklik modeli.....	35
Şekil 3.16: "Extract by Mask" ile havzanın akım yönü .....	36
Şekil 3.17: "Extract by Mask" ile akım toplama .....	36
Şekil 3.18: Raster to Polygon komutunun aşamaları ve parametreleri.....	37
Şekil 3.19: Havzanın poligona çevrilmesi .....	38
Şekil 3.20: Havza alanının hesaplama aşmaları .....	39
Şekil 3.21: Ağırlık merkezinin X koordinatının bulunması .....	40
Şekil 3.22: Ağırlık merkezinin Y koordinatının bulunması .....	40
Şekil 3.23: 3x3'lük hücre modeli.....	41
Şekil 3.24: Slope komutunun parametreleri .....	42
Şekil 3.25: Havzanın eğim haritası.....	42
Şekil 3.26: Aspect komutunun Menüsü.....	43
Şekil 3.27: Bakı .....	44
Şekil 3.28: Int komutunun Menüsü .....	45
Şekil 3.29: Raster tabakada istatistiklerin hesaplanması .....	47
Şekil 3.30: Lağman havzanın sayısal yükseklik modelinin istatistikleri.....	47
Şekil 3.31: Stream Order komutunun parametreleri.....	48
Şekil 3.32: Vektör formatına dönüştürme işleminin parametreleri .....	49
Şekil 3.33: Havzanın vektör formatına çevrilmiş akarsuları .....	50
Şekil 3.34: Lağman havza için akarsu kuş uçuşu uzunluğu .....	51
Şekil 3.35: Curvature komutunun parametreleri .....	52
Şekil 3.36: Profile eğriliğinin hesaplanması .....	53
Şekil 3.37: Plan eğriliğinin hesaplanması.....	53
Şekil 5.1: $Q_{maks}$ için performans analizi.....	66
Şekil 5.2: $Q_{ort}$ için performans analizi. ....	66
Şekil 5.3: $Q_{maks}$ için performans analizi.....	69
Şekil 5.4: $Q_{ort}$ için performans analizi.....	69



<b>Şekil A. 1:</b> Afganistan haritasındaki büyük havzaların konumu .....	77
<b>Şekil A. 2:</b> Kabil nehri havzasındaki sediment ölçüm istasyonlarının konum haritası .....	78
<b>Şekil A. 3:</b> Kabil nehri havzasındaki Gulbahar Panjshir alt havzasının konum haritası .....	79
<b>Şekil A. 4:</b> Kabil nehri havzasındaki Nağlu alt havzasının konum haritası .....	80
<b>Şekil A. 5:</b> Kabil nehri havzasındaki Pul-i-Ashawa Ghorband alt havzasının konum haritası .....	81
<b>Şekil A. 6:</b> Kabil nehri havzasındaki Sultan Por Surkhrrod alt havzasının konum haritası .....	81
<b>Şekil A. 7:</b> Kabil nehri havzasındaki Kunar Nawabad alt havzasının konum haritası .....	82
<b>Şekil A. 8:</b> Kabil nehri havzasındaki Bagh-ı-Omomi alt havzasının konum haritası .....	82

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 2.1:</b> Tez kapsamında hesaplanan havza parametreleri.....	23
<b>Tablo 3.1:</b> Kabil su havzalarına ait akım gözlem istasyonlarının verileri (Afganistan NWARA).....	25
<b>Tablo 3.2:</b> Bakı açılarına göre yönler.....	45
<b>Tablo 3.3:</b> Lağman havzasının yönlere göre hücre sayıları .....	46
<b>Tablo 3.4:</b> Lağman havzasının ana yön hücre sayılarının toplam hücre sayısına oranı.....	46
<b>Tablo 5.1:</b> Havza fizyografik parametrelerinin değerleri.....	61
<b>Tablo 5.2:</b> Parametrelerin tanımlayıcı istatistikleri ve $Q_{maks}$ ve $Q_{ort}$ ile Pearson korelasyon katsayıları. ....	63
<b>Tablo 5.3:</b> Havza fizyografik parametreleri ile $Q_{maks}$ ve $Q_{ort}$ arasında en yüksek korelasyonu olan parametreler. ....	64
<b>Tablo 5.4:</b> Parametrelerin kaldırıldığı adım numaraları ve en iyi modellerin katsayıları. ....	65
<b>Tablo 5.5:</b> Parametrelerin küpköklerinin terslerinin tanımlayıcı istatistikleri ve $Q_{maks}$ ve $Q_{ort}$ ile aralarındaki Pearson korelasyon katsayıları .....	67
<b>Tablo 5.6:</b> Parametrelerin küp köklerinin tersleri ile yapılan regresyon analizinin sonuçları .....	68

## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	:	Havza Alanı (km <sup>2</sup> )
<b>P</b>	:	Havza Çevre Uzunluğu (km)
<b>LB</b>	:	Havza Uzunluğu (km)
<b>H</b>	:	Havza Yükseklik (m)
<b>GL</b>	:	Havzanın Ağırlık Merkezi
<b>AGİ-X</b>	:	Akım Gözlem İstasyonunun X Koordinatları
<b>AGİ-Y</b>	:	Akım Gözlem İstasyonunun Y Koordinatları
<b>R<sub>f</sub></b>	:	Havza Rölyefi
<b>R<sub>r</sub></b>	:	Kot Rölyef Oranı
<b>SLP</b>	:	Havza Eğimi
<b>SYM</b>	:	Sayısal Yükseklik Modeli
<b>CBS</b>	:	Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>UNEP</b>	:	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
<b>GEF</b>	:	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı ve Küresel Çevre Fonu
<b>SEP</b>	:	Stratejik Eylem Planı
<b>RECCA</b>	:	Bölgesel Ekonomik İş birliği Konferansı
<b>SRTM</b>	:	Shuttle Radar Topography Mission
<b>p</b>	:	Parametre Sayısı
<b>SIN</b>	:	Sinüozite
<b>STR</b>	:	Akarsu Çatallanma Oranı
<b>β<sub>k</sub></b>	:	Çoklu Doğrusal Regresyon Denkleminin Katsayıları
<b>k</b>	:	Değişken Sayısı
<b>R<sup>2</sup></b>	:	Çoklu Belirlilik Katsayısı
<b>SEE</b>	:	Tahminin Standart Hatası
<b>x</b>	:	Örneklemedeki Bağımsız Değişkenler
<b>Ŷ<sub>i</sub></b>	:	Y Değişkeninin Modelden Elde Edilen Değeri
<b>n</b>	:	Veri Sayısı
<b>R<sup>2</sup><sub>adj</sub></b>	:	Çoklu Düzeltilmiş Belirlilik Katsayısı
<b>AGİ_KOT</b>	:	Havza Çıkış Noktasının Kotu
<b>USGS</b>	:	Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Servisi
<b>L_KUŞ UÇ</b>	:	Havzanın Akarsu Ana Kol Kuş Uçuşu Uzunluğu
<b>L_ANA KOL</b>	:	Akarsu Ana Kol Uzunluğu
<b>IWRM</b>	:	Entegre Su Kaynakları Yönetimi
<b>WSS</b>	:	Su Sektörü Strateji
<b>NWARA</b>	:	Ulusal Su İşleri Düzenleme Kurumu

## ÖNSÖZ

Her Őeyden önce danıŐmanım Doç. Dr. Fatih DİKBAŞ'a, lisans ve yüksek lisans yıllarım boyunca sürekli rehberlik, teşvik ve önerileri için en derin Őükranlarımı ve saygılarımı sunmak isterim. Bana yüksek lisansımı yapma fırsatı verdi. Onun gözetiminde çalışmaktan onur duyuyorum.

Tezin analiz kısmında desteklerinden dolayı Prof. Dr. Abdullah Cem KOÇ'a;

Tez kapsamında kullanılan verileri temin eden Afganistan Ulusal Su İşleri Düzenleme Kurumu'na;

Tez çalışmasında sağladıkları katkılardan dolayı jüri üyeleri Prof. Dr. Abdullah Cem KOÇ'a ve Doç. Dr. Ali GÜL'e;

Son olarak, eğitim öğretim kapsamında T.C. Yükseköğretim Kurulu'na;

Zor koşullarında eğitim-öğretim hayatım boyunca bana her konuda destek veren çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

East West Enstitüsü, Afganistan ve Güneybatı Asya'nın istikrar kazanmasına yönelik daha etkili uluslararası iş birliğini şekillendirmeye yardımcı olma çabasının bir parçası olarak, 2009 yılında bir dizi politika diyalogu, geniş çaplı bir danışma ve ortak yönetim için yeni politika seçeneklerini keşfetmek için özel toplantılar düzenlemiştir. Kabil, İslamabad, Brüksel ve Paris'te düzenlenen toplantılarda bölge ve ötesinden yüzden fazla politika yapıcı ve uzmanı bir araya getiren toplantılarda, su konusunda bölgesel iş birliğindeki eksiklikleri ele alınmış ve yeni iş birliği çerçevelerinin temelleri atılmıştır.

Toplantılar boyunca katılımcılar zorlukları ele almışlardır. Bu zorluklar, bölge genelinde su sektöründe teknik ve bilgi eksikliklerinin olması, ulusal su kaynaklarının verimli yönetimini kısıtlaması ve sınır aşan nehir havzalarında tutarlı bir politikanın geliştirilmesi için beklentileri sınırlamasıdır.

Hiç şüphesiz, tatlı su Afganistan'ın sürdürülebilir kalkınması ve nüfusunun güvenliği için çok önemli bir unsurdur. Afgan halkının %75'inden fazlasına ev sahipliği yapan kırsal alanlarda tarımsal kalkınma için sulama vazgeçilmezdir. Tarım sektörü gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) yaklaşık yarısına katkıda bulunur. Tarım, Afganistan'ın su tüketiminin yüzde 95'ini oluşturmaktadır. Su, elektrik üretimi ve endüstriyel kullanım için de gerekli görülmektedir.

Afganistan birçok su kaynağına sahiptir ve coğrafyası bunların kullanılması için önemli fırsatlar sunmaktadır (Basin, 2010). Ancak yetersiz altyapı ve kapasite eksikliği, Afganistan'ın su kaynaklarını depolama, uygun şekilde yönetme ve geliştirme kabiliyetini sınırlamaktadır. Bugün Afganistan'ın sulamasının yüzde doksanı, daha geniş ulusal veya bölgesel düzenlemelerden bağımsız ve verimlilikleri sınırlı olan geleneksel, topluluk temelli miras şemaları aracılığıyla yönetilmektedir.

30 yıl boyunca süren savaş ve huzursuzluk Afganistan'ın su altyapısını önemli ölçüde azaltmış ve hidrolojideki insan kapasitesini yok etmiştir. 2002'de yalnızca 1.5

milyon hektar tarım arazisi sulanmıştır. Bu da 1979'da sulanan alanın yarısından azdır. Sulama planları geçmişe göre daha az güvenilirdir. Afganistan'ın su kaynakları mevsimsel yağmura ve kar yağışına büyük ölçüde bağımlı hale gelmiştir. Buzul çekilmesi ve erken kar erimesi, mevsimsel su mevcudiyeti üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Ülkenin, bu mevsimsel değişimleri dengelemek için depolama kapasitesini artırmak ve sulama verimliliğini artırmak için yeni barajlara ihtiyacı vardır. Şu anda Afganistan, bölgedeki en düşük depolama kapasitesine sahiptir.

Ek olarak, Afganistan'ın su kaynakları dengesiz dağılmıştır. Harirud ve Murghab Havzası ve drenaj dışı alanlar da dahil olmak üzere Amu Darya Havzası, Afganistan topraklarının yaklaşık yüzde 37'sini kapsamaktadır ancak su akışının yaklaşık yüzde 60'ını içermektedir. Helmand Havzası, bölgenin yaklaşık yüzde 49'unu kapsamakta ve su akışının sadece yüzde 11'ini elinde tutmaktadır. Yaklaşık %12'lik bir alanı kaplayan Kabil-Doğu Nehir Havzası, su akışının yaklaşık %26'sını elinde tutmaktadır (Rousta vd. 2020).

Afganistan'ın ana yüzey su kaynakları Amu Darya, Helmand Nehri, Kabil Nehri ve Harirud-Murghab ve kuzey nehirleridir. Afganistan bu nehirleri İran, Pakistan, Kırgızistan, Tacikistan, Türkmenistan ve Özbekistan ile paylaşmaktadır (Rousta vd. 2020).

Afganistan, selleri ve kuraklıkları azaltmak ve sulama ve enerji potansiyelini tam olarak kullanmak için her nehirde önemli su altyapısı geliştirme planları oluşturmuştur. Afganistan'ın sosyal ve ekonomik kalkınması için çok önemli olmakla birlikte, bu planlar aynı zamanda sınır aşan su akışını ve sonuç olarak komşularıyla ilişkileri de etkileyecektir. Orta Asya'daki aşağı havza eyaletlerindeki su yoğun pamuk endüstrisinin önemi, sınır ötesi gerilim olasılığını artırmaktadır. Afganistan ve komşu ülkelerinde sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak ve bölgesel istikrar ve güvenliği sağlamak için paylaşılan su kaynakları konusunda bölgesel iş birliği giderek daha gerekli görünmektedir.

Bölgesel iş birliğine olan ihtiyaca rağmen, bölgede su ile ilgili resmi diyalog süreçleri veya ikili veya çok taraflı anlaşmalar yoktur. Bölgedeki ülkeler bu açığı kapatarak milyonlarca yaşamda ölçülebilir iyileşmeler yaratabilir ve bölgenin ekonomik ve siyasi kalkınma süreçlerinin istikrar kazanmasına yardımcı olabilir. Öte

yandan, bu boşluğun giderilememesi, bölgesel istikrarsızlığın artmasına katkıda bulunacak ve karşılıklı yarar sağlayan, sürdürülebilir kalkınma beklentilerini sınırlamaktadır. Su kaynaklarını ve kullanımlarını ölçme yeteneği olmadan, Afganistan, ortak su yollarında iş birliğinin maksimum faydalarına yönelik herhangi bir bölgesel siyasi süreçte kaybedebilir. Daha yakın tarihli 2008 WSS (Su Sektörü Stratejisi), nehir kıyısındaki mansap devletlerini etkileyebilecek sulama ve baraj altyapısının geliştirilmesi ihtiyacının altını çizmiştir, ancak söz konusu sınır ötesi konuların önemine dair her türlü referansı dışarıda bırakmaktadır (Basin, 2010).

2008 WSS, Afganistan'ın su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik öncelikleri şu şekildedir (Basin, 2010):

1. Kullanıcı katılımıyla su kaynaklarının sürdürülebilir gelişimi ve yönetimi yoluyla güvenli içme suyuna erişim, ev gıda güvenliği ve gelir yaratma;
2. Tüm sektörlerde verimli su kullanımı için etkili hizmetler yoluyla ulusal ekonominin büyümesine katkı.

WSS'nin üstesinden gelmeyi amaçladığı temel zorluklar:

Afgan nüfusuna su hizmetlerini uygun şekilde ulaştırmak için kurumsal, insani ve mali kaynakların eksikliği;

- Hidrolojik, meteorolojik, jeoteknik ve su kalitesi verilerinin eksikliği;
- Su kullanımını düzenleyen kuralların olmaması ve su sektörünün entegre yönetim eksikliği.

Ulusal düzeyde, Afganistan'ın su kaynaklarının geliştirilmesi ve doğru yönetimi, bir yandan sulama, hidroelektrik, su temini ve sanitasyon için artan ulusal talepler ve diğer yandan havza yönetimi endişeleri arasında dengeleyici bir eylemdir. Şu anda Afganistan'daki hanelerin üçte birinden daha azının güvenli içme suyuna erişimi vardır. Afganistan, Mayıs 2008 Su Kanununda entegre su kaynakları yönetimine (IWRM) kademeli bir dönüşümü seçmiştir (Young, Shah, Klimaite, 2008). Bu hayati ekosistemlerin sürdürülebilirliğinden ödün vermeden ekonomik ve sosyal faydaları adil bir şekilde maksimize etmek için su, arazi ve ilgili kaynakların koordineli gelişimini ve yönetimini destekleyen bir süreçtir. IWRM'nin etkili bir şekilde uygulanması, Afganistan'ın Nehir Havzası Organizasyonlarının (NHO)

kurulmasıyla doğal nehir havzalarını yansıtan ademi merkezîyetçi bir kurumsal yapı benimsemesini gerektirecektir. Bu geçiş boyunca yalnızca tüm paydaşların tam katılımının yanı sıra yetenekli izleme ve değerlendirme, NHO'ların etkinliğini sağlayacaktır. NHO'ların kullanıcılar arasında su dağıtımında ve çatışmaları hafifletmede veya çözümede genellikle yararlı olduğu kabul edilir. NHO'ların coğrafi sınırlarından bağımsız olarak, bunların kurulması aşağı havza eyaletlerindeki nüfusun günlük yaşamını etkileyebilir. Bununla birlikte, NHO'lar mevcut düzenlerinde kesinlikle ulusaldır ve bu nedenle sınır ötesi iş birliğine katkıda bulunma veya su üzerindeki sınır ötesi gerilimleri azaltma konusunda çok sınırlı kapasiteye sahiptir (Young, Shah, Klimate, 2008).

Amu Derya, Orta Asya'daki en uzun nehirlerden biridir ve Aral Denizi Havzasının önemli bir parçasıdır. Batı-kuzeybatıdan Aral Denizi'ne akmaktadır. Afganistan'ın Tacikistan, Özbekistan ve Türkmenistan ile olan sınırlarının ve Özbekistan'ın Türkmenistan sınırının bir bölümünü oluşturmaktadır. Amu Derya Havzasının su kaynakları Afganistan ve tüm Orta Asya ülkeleri arasında paylaşılmaktadır. Amu Derya, Aral Denizi Havzası'ndaki en az 43 milyon insanın geçim kaynakları için çok önemlidir. Tarımın ve hidroelektrik gücünün gelişimi büyük ölçüde Amu Derya'nın su kaynaklarına bağlıdır. Su kaynaklarının onlarca yıldır yoğun ve verimsiz kullanımı, değişen iklimle birlikte Amu Derya'nın akışını önemli ölçüde azaltmıştır. Amu Derya'daki su azaldıkça, havzadaki yeraltı suyu rezervlerine ilişkin talepler, büyüyen bir sınır ötesi zorluk teşkil etmektedir.

1873'ten beri Afganistan ve kuzey komşuları Rusya, Sovyetler Birliği ve Orta Asya devletleri Amu Derya ile ilgili anlaşmalar imzalamışlardır. Bu anlaşmalar, uluslararası sınır olarak yalnızca nehre odaklanmıştır. Su kaynağı paylaşım planı hiçbir zaman öngörülmemiştir. En önemli anlaşmalar:

- Afganistan ile Rusya arasındaki Sınır Anlaşması (1873);
- Afganistan ve Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği arasındaki Sınır Anlaşması (1946);
- Sovyet-Afgan devlet sınırının rejimine ilişkin SSCB hükümeti ile Afganistan Kraliyet Hükümeti arasındaki anlaşma (1958).



1977’de Afganistan, bir su paylaşım anlaşması müzakere etmek için Taşkent ve Özbekistan’a bir heyet göndermiştir. Sovyetler Birliği yılda yalnızca 6.000 metreküp sunabilmekteydi, bu da Afganistan’ın talebinin 3.000 metreküp gerisindeydi. Bir anlaşma gerçekleştirilemedi (Rycroft, Wegerich, 2009). Sovyetler Birliği’nin dağılmasının ardından, yeni bağımsız Orta Asya devletleri bölgesel iş birliği için bir dizi kurum kurdular ve bunlar daha sonra Aral Denizini Kurtarmaya Yönelik Uluslararası Fon’a entegre edildi:

- Eyaletlerarası Koordinasyon Su Komisyonu (ICWC)
- Alt amu Darya ve Syr Darya Havzası Yönetim Yetkilileri
- Aral Denizi Havzası Sorunları Eyaletlerarası Konseyi (ICAS)
- Uluslararası Aral Denizini Kurtarma Fonu (IFAS)

1997 ICWC ve ICAS’ın IFAS’a entegrasyonu, üye devletlerin Aral Denizi çevre krizinin ciddiyeti konusundaki farkındalıklarını ve tepkilerini daha etkin bir şekilde koordine etme ihtiyacını göstermiştir (Horsman, 2005). Orta Asya devletleri, bölgesel su iş birliği çerçeveleri aracılığıyla, uluslararası su hukuku, eşit, makul ve karşılıklı olarak avantajlı su kaynağı kullanımına içsel bağlılık, Afganistan’ın Amu Darya’daki çıkarlarının tanınması anlamına gelecektir, ancak bugüne kadar Afganistan’ı IFAS yapılarına entegre etmek için hiçbir inandırıcı hamlesi olmamıştır. Herhangi bir entegrasyon çabası, Orta Asya devletlerinin çok farklı su politikası önceliklerini gerçekleştirmek için birbirleriyle rekabet etmeleri gerçeğiyle sınırlandırılmıştır. Beş Orta Asya eyaletinin her biri, su ve toprağın ulusal varlıklar olarak sınıflandırıldığı mülkiyet yasalarını çıkarmıştır. Onların politikaları, mevcut bölgesel iş birliği çerçevelerini felce uğratan düşmanlaştırıcı bir etkiye sahipti ve hepsinin sözüne sadık kalıyordu (Allouche, 2007). Amu Derya’da, yukarı Tacikistan esas olarak kendi topraklarındaki sulanan arazinin genişletilmesine ve hidroelektrik gücünün geliştirilmesine odaklanmakta, aşağı havzadaki Türkmenistan ve Özbekistan ise esas olarak gıda güvenliği ve su yoğun pamuk üretimi ile ilgilenmektedir. Syr Darya Nehri üzerindeki gerilimler, Orta Asya ilişkilerini daha da karmaşık hale getirerek IFAS sürecinin başarısı önünde önemli bir engel teşkil etmektedir. Afganistan, Tacikistan’dan sonra Amu Darya’ya su kaynaklarının en büyük ikinci katkısıdır, bu nedenle Afganistan ve Orta Asya devletleri arasında iş birliğine açık bir

ihtiyaç vardır. Yine de Orta Asya devletleri, kısmen Orta Asya devletleri arasındaki farklılıklar nedeniyle, Afganistan ile sınırlı bir ilişkiye sahiptir.

Harirud-Murghab Nehir Havzası, Afganistan'ın su kaynaklarının yaklaşık %12'sini temsil etmektedir ve yoğun bir şekilde sulanan Herat bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Merkez Hazarajat'ta yükselmekte ve Türkmenistan'da kendini tüketmeden önce kuzeydoğu İran'dan batıya doğru akmaktadır. Murghab Nehri, onu Harirud Havzasından ayıran Paropamissus bölgesinde yükselir ve kuzeye Türkmenistan'a akar. Harirud, Koh-I-Baba Dağlarından doğar ve batıya akarak İran'la sınırını oluşturur ve daha sonra Türkmenistan'daki Qaraqum Çölü'nde sona ermeden önce İran ve Türkmenistan arasında sınır oluşturur. Murghab, Afganistan'dan doğrudan Türkmenistan'daki Qaraqum çölüne akmaktadır. Batı Harirud ve Murghab havzaları, daha geniş Amu Darya Havzası'nın bir parçasını oluşturmaktadır. Harirud ve Murghab konusunda hiçbir ikili veya çok taraflı anlaşma imzalanmamıştır. Ancak Harirud -Murghab Havzası, yukarıda ana hatlarıyla belirtildiği gibi üzerinde bir dizi bölgesel çerçevenin kurulduğu daha geniş Amu Darya Havzası'nın bir parçasını oluşturmaktadır. Bu çerçeveler, Harirud-Murghab Nehri Havzasını doğrudan kapsamamaktadır (Allouche, 2007).

Helmand Nehri, yaklaşık 1.300 kilometre ile Afganistan'ın en uzun nehridir. Kabil'in yaklaşık 40 km batısında, Unai Geçidinin kuzeyinde Hindu Kush sıradağlarında yükselir ve beş kolu vardır (Allouche, 2007). Güneybatıda Dashti Margo çölünden geçerek Sistan bataklıklarına ve Zabol çevresindeki Hamun Gölü bölgesine akmadan önce elli beş kilometre boyunca Afgan-İran sınırını oluşturmaktadır. Helmand Nehir Havzasının su kaynakları, sulama için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak mineral tuzların artması, sulama için kullanımını azaltmıştır. Çeşitli su altyapı projelerinin uygulanması ve genişletilmesi, havzayı daha fazla baskı altına sokmaktadır. Helmand Nehri Havzası'nın suyu, Sistan ve Belucistan'daki Afgan ve İranlı çiftçiler için çok önemlidir. Helmand Nehri dışında Sistan'daki tek sulama suyu kaynağı Hamun Gölü'dür. Sekiz bin kilometrekareden fazla verimli toprağı olan Sistan bölgesi, Hamun Gölü'ne ve onun çok yıllık tek kolu olan Helmand Nehri'ne bağımlıdır. Bununla birlikte, Hamun Gölü'nün su seviyesi kademeli olarak azalmıştır. Hamun Gölü'ndeki durum, Aral Denizi'nin bozulmasıyla benzerlikler taşımaktadır (Allouche, 2007).

7 Eylül 1950'de Afgan ve İran hükümetleri Helmand Nehri'nin suyunu İran ile Afganistan arasında paylaşmak için teknik yöntemler geliştirmek üzere Helmand Nehri Deltası Komisyonu'nu kuran bir anlaşma imzalamışlardır. Komisyon, Helmand sularının paylaşılmasıyla ilgili karşılıklı anlaşma için bir mühendislik temeli oluşturmaktadır. Bölgede herhangi bir menfaati olmayan ve bağlayıcı olmayan tavsiye yetkileri olan eyaletlerden üç mühendisten oluşmaktaydı. İran ve Afganistan, komisyonun 1951 raporuna katılmadılar (Branch, 2006).

Ancak 1973'te İran ve Afganistan Helmand Nehri'nin su kaynaklarının tahsisine ilişkin ikili bir anlaşma imzaladılar. Anlaşma, İran'ın akış aşağısına saniyede yirmi altı metreküp tahsis etmektedir. 1973 Afgan darbesi, İran'daki 1978-79 devrimi, 1979'da Afganistan'ın Sovyet işgali ve Taliban'ın yükselişi ve düşüşü nedeniyle, anlaşma hiçbir zaman tam olarak uygulanamamış ve anlaşmanın şartlarına ilişkin anlaşmazlıklar devam etmiştir (Branch, 2006). Taliban'ın devrilmesinin ardından gelişen Kabil-Tahran ilişkileri henüz bir çözüm getirmemiştir. Yüzde bazının aksine, öngörülen tahsisatın mutlak niteliği, mevcut haliyle anlaşmadaki temel kusur gibi görünmektedir.

Ancak, son yıllarda önemli anlaşmazlıkları çözmek için yapıcı adımlar atılmıştır. Afganistan ve İran, Helmand Nehri Antlaşması'nın 1. Protokolü uyarınca ortak bir Helmand Nehri Komiserleri Delegasyonu atamıştır. Afgan ve İran Helmand Nehri komisyon üyeleri şu anda Helmand'da ikili iş birliğini ve tarama ve taşkın kontrolü konusunda alt komitelerin oluşumunu teşvik etmek için üç ayda bir toplanmaktadır. Ayrıca İran ve Afganistan, Hamun Gölü'nün rehabilitasyonu konusunda iş birliği yapmak için yapıcı çabalar sarf etmiştir. Afganistan, İran ve UNEP arasındaki üçlü oturumlar süreci boyunca Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı ve Küresel Çevre Fonu (GEF) ile 2003 yılından bu yana yakın iş birliği içinde çalışmışlardır (Young, Shah, Klimaite, 2008). Sistan Havzası'na akan nehirlerin havzalarında su yönetimi ve sürdürülebilir kalkınmayı ele alan koordineli bir dizi küçük, orta ve büyük ölçekli girişimin ayrılmaz bir parçasıdır (Young, Shah, Klimaite, 2008).

Hedefler:

- İki ülke tarafından ortaklaşa desteklenen bir Stratejik Eylem Programının (SEP) geliştirilmesinin kolaylaştırılması ve programı uygulama taahhüdünün güvence altına alınması;
- Benzersiz sulak alan ekosistemini ve biyo çeşitliliğini restore etmeyi ve korumayı amaçlayan özel tedbirler tasarlanması ve desteklenmesi;
- Yağışta gelecekteki doğal ve insan kaynaklı değişikliklere cevap verebilecek yönetim kapasitesi geliştirilmesi.

GEF destekli müdahaleler şunları içerir:

- Sistan Havzası hidrolojik kaynaklarının ve ilgili ekosistemlerin gözetimi ve yönetimi için ikili bir koordinasyon mekanizmasının oluşturulması;
- Endişelerini, rollerini ve katkılarını belirlemek için ilgili sektörel yetkililer, bölgesel ve yerel yönetimler, yerel topluluklar ve kaynak kullanıcıları dahil olmak üzere kilit paydaşlarla istişarelerde bulunulması;
- Sınır ötesi tanı analizi hazırlanması.

Durum ve süreçlerin kapsamlı bir bilimsel anlayışa dayalı olarak tüm Sistan Havzası havza alanının mevcut hidrolojik ve doğal kaynaklarının ve havzayı etkileyen tehditleri;

Sistan Havzası ve ilgili ekosistemlerinin yönetimi için, iki ülkedeki ulusal, bölgesel ve yerel makamların ve yerel halkın temsilcilerinin sahip olduğu ve kabul ettiği bir Stratejik Eylem Programı (SEP) geliştirilmesi (King, Sturtewagen, 2010).

Helmand Nehri'nin su kaynaklarının bir alt kullanıcısı olarak İran, Afganistan ile iş birliği yapmak konusunda açık bir çıkara sahiptir. Su ve tarımın çeşitli alanlarındaki deneyimlerini komşusuna aktarmaya hazır olduğunu, bu da geliştirilmesi gereken bir fırsat olduğunu belirtmektedir. Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı'nda bir araştırma enstitüsünün inşasına yönelik mevcut İran teknik yardımı, bölgesel verilerin ve bilgi paylaşımının güçlendirilmesi için bir örnek olabilir. Bununla birlikte, Afganistan'daki istikrar ve yeniden yapılanma çabaları Tahran'da karışık duygularla karşılanmaktadır. Afganistan'ı istikrara kavuşturmak İran'ın yararına olsa da özellikle Batı Afganistan'ın yeniden inşası İran'ın doğusunda su güvenliğini tehdit edebilir. Bu

kalkınma çabalarının olumsuz etkileri en çok İran'ın en fakir ve en istikrarsız eyaleti olan Sistan ve Belucistan eyaletinde hissedilmektedir.

Kabil Nehri doğu Afganistan ve kuzeybatı Pakistan'da akmaktadır. Yaklaşık 700 km uzunluğundadır ve bunun 560 km'si Afganistan'dan akmaktadır. Sanglkh Menziline Kabil şehrinin 72 km batısında yükselen, Khyber Geçidi'nin kuzeyindeki Kabil ve Celalabad'dan doğuya, Pakistan'a ve Peşaver'i geçerek akar. İslamabad'ın kuzeybatısındaki İndus Nehri'ne katılmaktadır (King, Sturtewagen, 2010).

Önemli kolu Kunar Nehri de dahil olmak üzere Kabil Nehri Havzası, Afganistan'daki mevcut su kaynaklarının yaklaşık %12'sini temsil etmektedir. Su kaynaklarını içme suyu, sanitasyon, tarım, elektrik üretimi ve endüstri için paylaşan milyonlarca insanın geçim kaynakları için çok önemlidir. İndus Nehri'nin önemli bir kolu olan Kabil Nehri, Kabil'den geçerek doğu sınırını Pakistan'a geçer. Son on yılda sık sık kurumuş olmasına rağmen, şehrin artan 3 milyondan fazla nüfusu için ana tatlı su kaynağıdır (Nafees, 2004).

Kabil Nehri'nin su kaynakları esas olarak Afganistan ve Pakistan arasında paylaşılmaktadır. Her iki tarafın da Kabil Nehri üzerinde bir anlaşmaya varmak için defalarca girişimlerine rağmen, böyle bir anlaşma gerçekleşmemiştir. Pakistan tarafında, politika yapıcılar, Afganistan ile bir su anlaşması taslağı hazırlamaya başlamak için Pakistan'ın o zamanki "Federal Sel Komisyonu" başkanı tarafından yönetilen 9 üyeli bir teknik komiteyi 2003 yılında oluşturmuştur (Nafees, 2004). Komite, Afgan yetkililerden yeterli nehir akışı verisi almadığı için çabalarının başarısız olduğunu ileri sürmüştür. 2006 yılında, ikili bir antlaşma için bir taslak hazırlama sürecine yeni bir ivme kazandırmak amacıyla, Dünya Bankası Afganistan ve Pakistan arasında bir danışma süreci için destek sunmuştur. Bankanın arabuluculuk rolü uygun görülmektedir, çünkü İndus Suları Antlaşması'nı formüle etme ve Keşmir'deki Hindistan-Pakistan su anlaşmazlıklarına arabuluculuk yapma gibi diğer hususların yanı sıra Dünya Bankası'nın teklifi yenilenmiş bir diyalogla sonuçlanmamıştır. Şu anda Kabil Nehri Havzasında kurumsal bir iş birliği çerçevesi mevcut değildir. İkili iş birliği çabalarını engelleyen faktörler karmaşıktır ve Afganistan ile Pakistan arasındaki güç asimetrisini, Durand Hattı üzerindeki onlarca yıllık anlaşmazlığı ve Pakistan ile Hindistan arasında İndus Nehri üzerindeki son anlaşmazlığı, özellikle de İndus'un yorumunu içerir. Hindistan'da baraj inşaatı ile

ilgili nehir anlaşması. Ekonomik İş birliği Teşkilatı'nın Mart 2009 toplantısının oturum aralarında Afgan, İran ve Tacik liderler su-enerji bağına ilişkin projelerin uygulanmasını hızlandırmaya karar vermişlerdir. Afganistan ile Pakistan arasında benzer nitelikte ortak taahhütlerde bulunulmamıştır.

İki ülkenin en iddialı ortak bildirisi, Mayıs 2009'da Afganistan'a ilişkin üçüncü Bölgesel Ekonomik İş birliği Konferansı'ndan (RECCA) sonra kabul edilen İslamabad Bildirgesiydi. Bildiri, Afganistan'ın Orta ve Güney Asya'da barış, refah ve istikrar için merkezietini tanıdı ve onayladı. Afganistan'ın ekonomik kalkınmasının sağlanmasında ve bölgesel iş birliğinin genişletilmesinde bölgesel kuruluşların önemine dikkat çekti. Daha fazla bölgesel iş birliği için deklarasyon hedefleri arasında ulaştırma, ticaret, enerji, tarım, kapasite geliştirme, eğitim, sınır yönetimi, narkotikle mücadele ve mülteci dönüşü ve yeniden entegrasyon yer almaktadır. Ancak bugüne kadar İslamabad Deklarasyonu su konusunda iş birliğinin iyileşmesine yol açmamıştır (King, Sturtewagen, 2010).

Nehirler sadece ekonomik kalkınma kaynağı değil, aynı zamanda ekolojik öneme de sahiptir. Ekolojik özellikler, çevredeki ortama bağlıdır ve yerden yere ve mevsimden mevsime değişmektedir. Çevrede ve mevsimde meydana gelen değişiklikler esas olarak nehir suyu miktarını ve kalitesini etkiler (Nafees, 2004). Nehrin hacmindeki değişim sadece ekolojik olarak değil, aynı zamanda ekonomik olarak da önemlidir (Bunn ve Arthington, 2002). Bothe kavramlarına göre, ekonomik gelişme ve ekolojik değişiklikler paralel ilerlemektedir ve birbiriyle ilişkili ve bağımlıdır. Bu nedenle her zaman dikkatli bir yönetim eli gereklidir. Ekonomik kalkınma için suyun aşırı kullanımı, su hacminde azalma ve kirlilikte artış şeklinde ekolojik zararlar getirebilir. Bunun yalnızca su ve karasal flora ve fauna üzerinde olumsuz etkileri olmakla kalmaz, aynı zamanda civardaki sosyo-ekonomik düşüşe de katkıda bulunabilir.

Nehirler, toplam küresel su bütçesine tahmini %0.0001 katkısıyla önemli su kaynaklarıdır ve ekolojik duyarlılık açısından hidrolojik döngünün en hassas parçası olarak kabul edilir (Peavy vd., 2015). Nehirlerin çoğu, siyasi sınırlardan bağımsız olarak dünyanın dört bir yanından akmaktadır ve her zaman bir çatışma kaynağıdır (Giard 2014). Aynı durum, nehirlerin çoğunun komşu ülkeler, Hindistan ve Afganistan ile paylaşıldığı Pakistan için de geçerlidir. Ülkelerin çoğu, bu tür çatışmaları, anlaşma

şeklinde karşılıklı olarak mutabık kalınan ikili anlaşmalar imzalayarak çözmüştür. Bu tür anlaşmalarda her zaman iki temel doktrinin yansımaları vardır; ön tahsis veya nehir kıyısı hukuku (Noroian, 2011).

Dünya çapında bu tür uluslararası nehirlerin kötü yönetilmesiyle ilgili bazı örnekler vardır. Örneğin, Amu Darya (Amu Nehri) ve Syer Darya (Syer Nehri) örneğinin Orta Asya ülkelerinin ortak su kaynakları olduğunu düşünün. Her iki nehir de Aral Denizi'ni besliyordu. Bu, özel ekonomik faaliyetlerle bölgede eşsiz bir ekoloji kurmuştu. Bunlar turizm ve balıkçılıkla ilgili işleri içermektedir. Ticari önemi olan yirmi dört balık türü vardı. 1988 yılında yapılan araştırma, 20 türün tamamen ortadan kaybolduğunu ortaya çıkardı. Bu, ekoloji ve ekonomi açısından olumsuz değişimin açık bir kanıtıdır (Micklin, 1988). Yukarı nehir ülkeleri, Aral Denizi ve aşağı nehir ülkelerinde sorun yaratan hem tarım hem de hidroelektrik üretimi için nehirleri tuzağa düşürdü. Aral Denizi'nin neredeyse %90'ı kurutulmuştur. Kalan%10 denizin fiziksel ve kimyasal özellikleri, balıkları ve diğer flora ve faunayı artık yaşanabilir hale getirmeyecek ölçüde değiştirilmiştir (Micklin, 2007). Bu şekilde, önemli çiçek ve fauna türlerinin kaybıyla benzersiz bir yaşam alanı ortadan kalkmıştır. Sadece bu değil, Aral Denizi'nin kurumuş kısmı, civardaki sürekli bir partikül madde (toz) ve kumul göçü kaynağıdır (Whish-Wilson, 2002).

Amu ve Syr Darya üzerine inşa edilen rezervuarlar, Tacikistan ve Kırgızistan'ın tarım arazilerini de su tomrukçuluğu ve tuzluluk açısından etkilemiştir. Ayrıca olumsuz etkileri Özbekistan ve Türkmenistan gibi aşağı havza ülkelerinde de görülebilir. Son yıllarda kıyıdaş ülkeler görünür bir çözümle çatışma içindedir. Benzer şekilde Pakistan, 1960 yılında Hindistan ile İndus su sistemi üzerine bir anlaşma imzalamıştı. Anlaşmaya göre Beas, Ravi ve Sutlaj nehirleri gibi üç nehrin yönetimi Hindistan'a devredildi ve üç Nehir, Indus, Chanab ve Jehlam Pakistan için serbest bırakıldı. (Wolf ve Newton, 2008). Bunun Ravi Nehri üzerinde olumsuz etkileri oldu. Balık yaşamı, turizmi ve yeniden yaratılışı ile ünlü olan nehir, şimdi bir kanalizasyon görüntüsü sunmaktadır. Sadece bu değil, ani sel sırasında Hindistan bu nehir kanallarına büyük miktarda su salmakta ve Lahor şehri ve çevresindeki bölgeleri sular altında bırakmaktadır. Bunun Pakistan ekonomisi üzerinde olumsuz etkileri vardır (Farzand Ahmed, 2010).

Kabil Nehri Sistemi (KNS) iki ülkede, Pakistan ve Afganistan'da bulunmaktadır ve sosyoekonomik kalkınmada büyük bir role sahiptir. Pakistan'da KRS, Khyber Pukhtunkhwa eyaletinin kuzey yarısını dekore etmektedir. Pakistan'da katkıda bulunan başlıca nehirler arasında Chirtal, Swat, Panjkora, Jinday ve Bara nehirleri bulunmaktadır (Nafees, 2002). Afganistan'da katkıda bulunan başlıca kollar Kunar, Paghman, Panjsher, Alingar, Loghar ve Kabil Nehri'dir. Kunar veya Chitrail Nehri, suyun %70'inden fazlasına katkıda bulunan ana koludur.

Kabil Nehir Sistemi büyük bir sulama potansiyeline sahiptir. Afganistan ve Pakistan tarım ülkeleridir ve nüfusun büyük bir kısmı tarıma bağımlıdır. Afganistan'ın yaklaşık %85'i ve Pakistan'ın %70'i tarıma bağımlıdır (Amin ve Schilz, 1976, Karim 1991). Afganistan'da %12 alan ekilebilir, bunun %53'ü sulanmakta ve %47'si yağmurla beslenmektedir. Sulanan toplam %53 arazinin %80-85'i kanal sistemi ile, %15-20'si ise diğer yollarla sulanmaktadır. Buna karşılık, Pakistan'ın toplam ekilebilir arazisi %33'tür. Bunun %75'i sulanmaktadır (Karim, 1991).

Tarımda maksimum ilerlemeyi sağlamak için Pakistan, Kabil Nehri ve kolları üzerinde beş küçük ve bir büyük baraj inşa etmiştir. Yalnızca Warsak Barajı, Kabil Nehri üzerinde bulunmaktadır. Bu baraj, Khyber Pukhtunkhwa'nın üç bölgesini suluyor. Baraj, çiftçilere yılda yaklaşık 9 ay su sağlamaktadır. Haziran-Ağustos aylarında akış hızı 1000 m<sup>3</sup>/sn'nin üzerine çıkmıştır. Nowshera'da alınan su fazlalık olarak adlandırılabilir ve depolanabilmektedir.

Afganistan'daki Kabil Nehri Sisteminin havza alanı 60,6 bin km<sup>2</sup>'dir ki bu Afganistan'daki toplam alanın %9,3'ü olup, bunun %81,74'ü sulanmakta ve %18,26'sı yağmurla beslenmektedir (Amin ve Schilz, 1976). Khyber Pukhtunkhwa'nın coğrafi alanının beşte biri ekim altındadır (%20) ve onda birinden fazlası (%10) çorak arazidir. Khyber Pukhtunkhwa'da, toplam ekilebilir arazinin %44'ü sulama altındadır. Kabil Nehri, Peşaver, Charsada ve Nowshera gibi üç ilçenin ekilebilir alanını sulamaktadır. Peşaver'de %80, Nowshera'da %47.38 ve Charsada'da %84.67 ekilebilir arazi Kabil Nehri'nden sulanmaktadır. Sulama açısından Kabil Nehri'nin toplam Khyber Pukhtunkhwa'ya katkısı %16,92'dir.



## 1.2 Literatür Bilgisi

1970'li yıllara kadar uzanan su kaynakları mühendisliği alanında ve havza yönetiminde CBS'den yararlanılması, esasen 2000 yılında gelişme göstermiştir. Şubat 2000'de Uzay Mekiği Endeavour 11 günlük görevini yerine getirmiş ve dünyanın çoğunluk kısmını "Sayısal Yükseklik Modeli"nin (SYM) hazırlanması ile gerçekleştirmiştir. SYM havza çalışmalarını gerçekleştirirken en çok hücre büyüklükleri 1 km, 90 m ve 30 m şeklinde kullanılmaktadır. ABD'de hücre büyüklüğü 10 m olan SYM'ler, araştırmacıların kullanılması için oluşturulmuştur. Nitekim Türkiye'nin de dahil olduğu diğer ülkeler için hücre büyüklükleri 30 m ve daha fazla sayısal yükseklik haritalarına ücretsiz olarak erişim sağlanabilmektedir. Ayrıca bu veriler ile birlikte bu verilerin işlenmesi için gerekli olan yazılımların da 2000 yılı itibari ile sayı ve yeteneklerinde artış meydana gelmiştir.

Su kaynakları mühendisliğinde genel kullanım alanları açısından SYM konulu birçok kitap kaleme alınmıştır. Örneğin su kaynaklarının belirli konularda CBS ve uzaktan algılama tekniklerinin kullanılmasıyla birçok bilgi ve örnek birçok uygulamaları ele alan Johnson (2009) ve Lyon (2003), bu konuları yayınlamış oldukları kitaplarında detaylı olarak incelemektedirler. Yayımladıkları kitaplarında parametrelerin hesaplanabilmesi için kullanılacak yazılımların tanıtımı da yapılmaktadır.

Cheng vd. 2001 yılında Kanada Ontario'da bulunan sayısı 300'den fazla havzanın çatalanma oranları ile çeşitli morfometrik parametreler ile olan ilişkilerini belirten bir çalışma ele almışlardır. Bu çalışma sonucunda boyutları 30 m olan SYM'ler parametreleri ArcGIS adlı program kullanılarak elde edilmiştir.

2006 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada Sanborn ve Bledsoe, ABD'de belirlenen 3 eyaletteki akış karakteristiklerinin çoklu regresyon analizleri ile belirlenmesini amaçlayarak bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Sanborn ve Bledsoe bu çalışma kapsamında 150 gözlem istasyonu belirleyerek bu istasyonları besleyen havzaların akımlarına yönelik toplanan veriler ile birlikte havzaların fizyografik karakteristiklerini hesaplamışlardır. Ayrıca çalışmalarında drenaj yoğunluğu, ortalama akış gibi çeşitli birtakım unsurlar çalışma esnasında dikkat edilen parametrelerdendir.

Türkiye’de de akarsu pik debilerinin havza fizyografik parametreleri ile gerçekleştirilen çoklu regresyon analizlerinin incelenmesi üzerine birçok çalışma ele alınmıştır. Bu konu bağlamında örnek olarak Topaloğlu’nun (2002) gerçekleştirdiği ve Adana Seyhan Havzasını kapsayan çalışması, 13 gözlem istasyonu içerisindeki pik debileri, havza uzunlukları ve çatallanma oranı gibi parametreler ele alınarak tahmin yürütmeye dayalı birçok regresyon çalışması içermektedir.

2009 yılında İsviçre’de o güne kadar üzerinde bir ölçüm gerçekleştirilmeyen orta boyuttaki havzalara yönelik bir taşkın tahmini çalışması yapan Viviroli vd., çeşitli fizyografik parametrelerden yararlanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca bu çalışma 140 havzanın verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu veriler, maksimum ve minimum kot, ortalama eğimler gibi birçok verilerden oluşmaktadır. Araştırmada bölgeselleştirme, en yakın komşu, kriging ve regresyon teknikleri kullanılmıştır.

Viviroli vd.nin çalışmasına benzer bir çalışma ise 2005 yılında Merz ve Blöschl tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma Avusturya için ele alınmış ve 575 havza belirlenerek kot ve akarsu yoğunluğu gibi birçok parametre üzerinden hesaplama yapılmıştır. Ayrıca bu parametreler ile Avusturya için taşkın frekans bölgelemesi de gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bölgeleme işlemi ise kriging ve çoklu regresyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Havza fizyografik parametreleri yalnızca taşkın araştırmalarına konu olmuş olan bir durumun dışında düşük akım çalışmalarında da kullanılmaktadır. Castiglioni vd. (2009) ele aldıkları çalışmalarında İtalya’da belirlenen 51 havzanın çeşitli parametreler ile geoistatistik yöntemlerle bölgeselleştirme çalışması gerçekleştirmişlerdir.

Bahsi geçen çalışmaların yanı sıra Türkiye’de de akarsu akımları ve fizyografik etkenler arasındaki etkileri ele alan birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin Meşe’nin (2012) Ege Bölgesini ele aldığı çalışmada, bölgede belirlenen 47 havza, çok sayıda parametre ile debiler arası çoklu regresyon analizini gerçekleştirmiştir.

Diğer yandan Dengiz ve Göl ise 2010 yılında Çankırı şehrinin Uludere havzasını ele alan çalışmasında akımların karakteristiklerini fizyografik parametreler üzerinden ve zemin kapsamındaki özellikleri incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda

verilere göre, CBS aracılığı ile çatallanma oranı, akarsu eğimi, havza alanı gibi değerler elde edilmiştir.

2009 yılında Reis vd. yaptıkları çalışmada CBS ile Keklik deresinin akımlarına etki eden unsurları ele almışlardır. Bu çalışmanın amacı kapsamında arazi kullanım şeklinin belirlenmesi ve ortalama yükseklikleri gibi bulgular elde etmişlerdir.

Diğer yandan 2009 yılında Günok ve Pınar'ın birlikte, CBS programı ile meydana getirilen SYM'ler aracılığı ile inceleme yaptıkları çalışmada havzanın belirli kısımlarının eğimlerini, yükselti değerleri ve bakı niteliklerini ele almışlardır.

Asfaha vd. 2015 yılında yaptıkları Kuzey Etiyopya'da yer alan 11 havzanın pik debileri ile fizyografik parametreleri bağlamında arazilerin kullanımlarının ilişkisini inceleme üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Tek bir havzada ya da bölgesel ölçekte sayıları fazla olan havzada gerçekleştirilen çalışmalar ve bu çalışmalar sonucu elde edilen bazı parametrelerin uygulama alanları oldukça çeşitlilik göstermektedir. Bu bağlamda Milliarisis ve Iliopoulou 2004 yılında İran'ın Zagros bölgesinde yer alan dağlara yönelik karakteristik özelliklerinin kümelenme yolu ile sınıflandırılma çalışması ele almışlardır. Bu çalışmada büyüklüğü 1 km olan SYM'den oluşturulan rölyef, eğim ortalamaları gibi parametreler kullanılmıştır.

Ayrıca çeşitli çalışmalarda havza akışları ve yağışlar arası ilişkilerin belirlenmesi için kullanılan modeller arasına havza fizyografik parametreleri de girmektedir. 2001 yılında ele aldıkları çalışmada Berger ve Entekhabi ABD'nin belirlenmiş bölgeleri içerisinde 10 farklı havzayı inceleyerek çalışma sonucunda da bu havzaların yüzey eğimleri, drenaj yoğunlukları gibi parametrelerin akış ile olan bağlantısını belirlemişlerdir.

Akar ve Maktav'ın 2008 yılında gerçekleştirdikleri çalışma, ülkemizdeki taşkın araştırmaları kapsamında gerçekleştirilen çalışmalara iyi bir örnek olarak verilebilir. Araştırmacılar çalışma kapsamında Çiftlik Deresi havzasını belirleyerek bu bölgenin taşkın haritalamasını incelemişlerdir. Ele alınan çalışmasının sonucunda ise TIN sistemi üzerinden SYM'ler kullanılarak Çiftlik Deresi havzasının eğimi,

yüksekliği ve bakı özellikleri kapsamında fizyografik parametreler ArcGIS programı üzerinden değerlendirilmiştir.

Diğer yandan Doğmaz'ın 2018 yılında yapmış olduğu çalışmasında belirlenen havzalar için evre, ortalama yükseklik, ortalama havza eğimi, Strahler atallanma oranı, havza dairesellik oranı, ortalama profil eğriliği, akarsu ana kol uzunluğu, engebelilik indeksi, tarım, orman, maki ve açık alan oranları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Diğer yandan Meşe, 2012 yılında gerçekleştirdiği çalışmasında Batı Anadolu bölgesinden seçilen 47 havzanın 30 m'lik ASTER SYM'den sınıflandırılmasını gerçekleştirmiştir. alışmasında ayrıca her havza için 30 adet fizyografik parametre hesaplanmıştır.

## 2. HAVZA PARAMETRELERİ

Fiziksel özellikleri açısından yağışın akışa dönüşmesinde, akarsu havzasının drenaj karakteristikleri büyük bir öneme sahiptir. Bu karakteristikler, fiziksel tabanlı yağış akış modellerinin kurulmasında, debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesinde, gözlem değeri olmayan havzalarda hidrolojik modellerin geliştirilmesi için homojen bölgelerin belirlenmesinde, taşkın frekans analizlerinde ve bu bölgelerde bölgesel modellerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Oldukça önemli hususlardan birisi de havza ve drenaj parametreleri ile hidrolojik değişkenler arasındaki ilişkinin derecesinin belirlenmesidir (Uçar, 2018).

Bu çalışmada, Kabil su havzalarının parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kabil havzasının alt su havzaları parametreleri için ASTER veri seti kullanılmıştır. Tezde Kabil su havzasını kapsayan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) paftaları, NASA web sitesine ait ve Amerikan Jeoloji Servisi (USGS) tarafından üretilen 1 açışal saniyelik SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) modelleridir. 30 m \* 30 m çözünürlüğe sahip olan SRTM (Mekik Radar Topografya Görevi), Ocak 2021'de web sitesinden indirilmiştir. Dijital yükseklik modelleri, Afganistan için projeksiyon parametreleri olan N42 ile Evrensel Enlem Merkatörü (UTM) koordinat sistemine dönüştürülmüştür (Bromand, 2015).

### 2.1 Havza Sınırı

Akarsu havzasının sınırlarının belirlenmesi, havzaya ait parametrelerin hesaplanabilmesi için temel işlemlerden sayılmaktadır. ArcGIS CBS yazılımı kullanılarak havza sınırı belirlenmektedir. Fizyografik parametre hesaplamaları, havza oluşturduktan sonra yapılabilmektedir. Havza sınırlarının belirlenmesindeki işlem sıraları, üçüncü bölümde detaylı olarak verilmiştir. Bir havza için gerekli işlemlerin, sıra ile adım adım ilerlemesi çok önemlidir. Aksi takdirde havza sınırı elde edilemez veya yanlış elde edilir.

## 2.2 Havza Alanı (A)

Su havzasının alanı, önemli bir havza fizyografik parametresidir. Havza alanı terimi, Horton (1932) tarafından ortaya konmuş, Schumm (1956) tarafından geliştirilmiştir. Havza alanını belirlemek için ArcGIS CBS yazılımı kullanılmaktadır. Havzanın alanı, kilometrekare cinsinden belirlenmektedir.

## 2.3 Havza Çevresi (P)

Havza çevresi, alanını çevreleyen havzanın dış sınırlarının, havza arasındaki bölünmeler boyunca ölçülmesi ile belirlenmektedir. Havza çevresi, Schumm (1956) tarafından ortaya çıkarılmıştır. Havza çevresini elde etmek için ArcGIS CBS yazılımı kullanılmaktadır.

## 2.4 Havza Uzunluğu (L<sub>b</sub>)

Havza uzunluğu, havzanın en uzun akarsu boyunu oluşturan kısımdır. Akarsu havzasının en uzak noktası ile havza çıkış noktası arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Akışın hesaplanması için kullanılan denklem (2.1), Schumm (1956) ve Gregory ve Walling (1973) tarafından önerilen yöntemle hesaplanmaktadır (Pareta ve Pareta, 2011).

$$L_b = 1.312 A^{0.568} \quad (2.1)$$

## 2.5 Havza Genişliği (W)

Havza genişliği, Horton (1932) tarafından önerilen eşitlikle hesaplanır. Sınırları belirlenen havzanın alanı ve uzunluğu kullanılarak (2.2) denklemi yardımıyla elde edilir.

$$W = \frac{A}{L_b} \quad (2.2)$$

## **2.6 Havzanın Maksimum Kotu ( $H_{\max}$ )**

Havzanın maksimum kotu, topoğrafik özelliğine göre en yüksek kot değerini belirlemektedir. ArcGIS CBS yazılımı yardımıyla havzanın maksimum kotu elde edilmektedir (Uçar, 2018).

## **2.7 Havzanın Minimum Kotu ( $H_{\min}$ )**

Havzanın maksimum kotu gibi havzanın Minimum kotu da topoğrafik özelliğine göre en düşük kot değerini belirlemektedir. ArcGIS CBS yazılımı yardımıyla belirlenmektedir (Uçar, 2018).

## **2.8 Havzanın Ortalama Kotu ( $H_{\text{ort}}$ )**

Havzanın sayısal yükseklik modeli ve topoğrafik özelliğine göre elde edilen ortalama kot değeri, ArcGIS CBS yazılımı yardımıyla belirlenmektedir.

## **2.9 Havzanın Ağırlık Merkezi ( $G_L$ )**

Ağırlık merkezinin koordinatları, (X, Y) sembolleri ile gösterilir. Havzanın ağırlık merkezi, ArcGIS CBS yazılımı yardımıyla belirlenmektedir.

## **2.10 Havzanın Yöneyi (Bakı)**

Bakı, bir dağ yamacının baktığı yönü ve daha çok karların erimesini ifade eder. Bakı, çalışma alanındaki bitki örtüsü, güneş alma süresi, yağış karakteristiği, rüzgâr alma ve buharlaşma durumları için önem taşımaktadır. Havza yöneyi değerlendirmesinde, 00 dünya eksenine göre gerçek kuzey yönünü gösterirken; 900 ise doğu yönünü ve benzeri göstermektedir (Uçar, 2018). Havzanın bakı (yöney) haritasını elde etmek için ArcGIS CBS yazılımı kullanılmaktadır.

## **2.11 Havzanın Eğimi**

Eğim, önemli bir havza fizyografik parametresidir. Eğim unsurları, kayanın bulunduğu alandaki değişen direnç ve iklim morfolojik süreçleri tarafından kontrol

edilir. Yerleşim, tarımın makineleşmesi, ormansızlaşma, mühendislik yapılarının planlanması, eğim haritası planlaması için veri sağladığından eğim dağılımının anlaşılması için önemlidir (Sreedevi, Owais, Khan, ve Ahmed, 2009). Çalışma alanına ait eğim haritası, CBS yazılımı ile elde edilir.

### **2.12 Akarsuyun Mertebesi ( $U$ )**

Akarsuyun mertebesi kavramı, ilk olarak Horton tarafından kullanılmıştır (Horton,1932). Bir akarsu havza sınıflandırılması için uygulanan akış sıralaması, en yaygın akış yönetimidir. Akış sıralaması, kolları ve akarsuları, nehir havzasında hiyerarşik olarak tanımlanmış pozisyon ölçüsü sistemidir (Pande ve Moharir, 2017).

Ancak Strahler (1957, 1964), bazı değişikliklerle bir sıralama sistemi önermiştir. Akarsuyun mertebesini elde etmek için Horton (1932) ve Strahler (1957, 1964) tarafından önerilen yöntemler kullanılmaktadır (Uçar, 2018).

### **2.13 Akarsu Sayısı ( $N_u$ )**

“CBS yazılımı yardımıyla drenaj ağı belirlenen bir akarsu havzasında her bir akarsu mertebesindeki akarsu sayısı kolaylıkla belirlenebilmektedir. Akarsuyun mertebesinin mabadan havzanın çıkış noktasına doğru arttığı düşünülürse akarsu sayısı bu durumun tersine azalmaktadır (Horton, 1932 ve 1945, Strahler, 1957). Çalışma alanında her bir akarsu mertebesi için akarsu sayısı CBS yazılımı yardımıyla oluşturulmaktadır” (Uçar, 2018).

### **2.14 Akarsu Uzunluğu ( $L_u$ )**

Akarsu uzunluğu, suyun önemli bir hidrolojik özelliğidir. Havza ve yüzey akış özelliklerini gösterir bir parametredir (Dubey, Sharma ve Mundetia, 2015).

Genellikle uzun akarsu uzunlukları, eğimin daha yassılaşmasının göstergesidir. CBS yardımıyla akışlarının sayısı, havza kapsamında sayılır ve ağızdan drenaja kadar uzunlukları ölçülür (Sreedevi, Sreekanth, Khan, ve Ahmed, 2013).



### 2.15 Ortalama Akarsu Uzunluğu ( $L_{sm}$ )

Bir drenaj ağının ve ona katkıda bulunan havza yüzeylelerinin ortalama akarsu uzunluğu, bileşenlerin karakteristik boyutunu ortaya çıkaran boyutsal bir özelliktir (Strahler, 1964).

Ortalama akarsu uzunluğu parametresini hesaplamak için denklem (2.3)'te verilen eşitlik kullanılmaktadır. Denklemde her bir akarsu mertebesinde belirlenen akarsu uzunlukları ve akarsu sayısının göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Uçar, 2018).

$$L_{sm} = \frac{L_u}{N_u} \quad (2.3)$$

### 2.16 Çatallanma Oranı ( $R_b$ )

Horton (1945) tarafından önerilen çatallanma oranı ( $R_b$ ), sayısına göre verilen sıradaki akarsu kollarının sayısının, sonraki yüksek mertebenin kollarının sayısına oranı şeklinde ifade edilmektedir. Strahler'a (1957) göre, güçlü jeolojik kontrolün hâkim olduğu yerler dışında, farklı bölgeler veya farklı ortamlar için küçük bir varyasyon aralığı gösterir (Pareta, ve Pareta, 2011). Çatallanma oranı, denklem (2.4) ile hesaplanmaktadır.

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (2.4)$$

### 2.17 Havza Rölyefi ( $R_f$ )

Rölyef, bir havzanın en yüksek ve en düşük noktası arasındaki farktır. Havza rölyefi, yeryüzü şekillerinde yüzeysel ve yüzey altı akış, havza erozyonu özellikleri için oldukça önemli bir parametredir (Magesh, Jitheshlal, Chandrasekar, ve Jini, 2012).

### 2.18 Rölyef Oranı ( $R_r$ )

Akarsu havzasında rölyef oranı, havza için hesaplanan toplam rölyef ve havza uzunluğu oranı olarak ifade edilmektedir (Schumm, 1956).

## 2.19 Drenaj Yoğunluğu (D<sub>d</sub>)

Bir akarsu havzasındaki drenaj yoğunluğu, toplam uzunluklarının havza alanına bölünmesi şeklinde ifade edilir. Drenaj yoğunluğu, km/km<sup>2</sup> cinsinden ifade edilir (Dubey, Sharma, ve Mundetia, 2015). Drenaj yoğunluğu, denklem (2.5) ile hesaplanmaktadır.

$$D_d = \frac{L_u}{A} \quad (2.5)$$

## 2.20 Sinüozite

Kabil Nehri'nin kıvrımlılık parametreleri, genel havza akış uzunluğu ölçülmüş ve ardından kıvrım (sinüozite) denklemi uygulanmıştır. Sinüozite, ana kol uzunluğunun, akarsu ana kol kuş uçuşu uzunluğuna oranıdır. Uzunlukları ArcGIS kullanılarak ölçülmektedir. Sinüoziteyi elde etmek için aşağıdaki denklem (2.6) kullanılmaktadır:

$$SIN = (L_m) / (L_b) \quad (2.6)$$

L<sub>m</sub>: Akarsu ana kol uzunluğu (km)

L<sub>b</sub>: Havza uzunluğu (km)

Tez kapsamında hesaplanan havza parametreleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

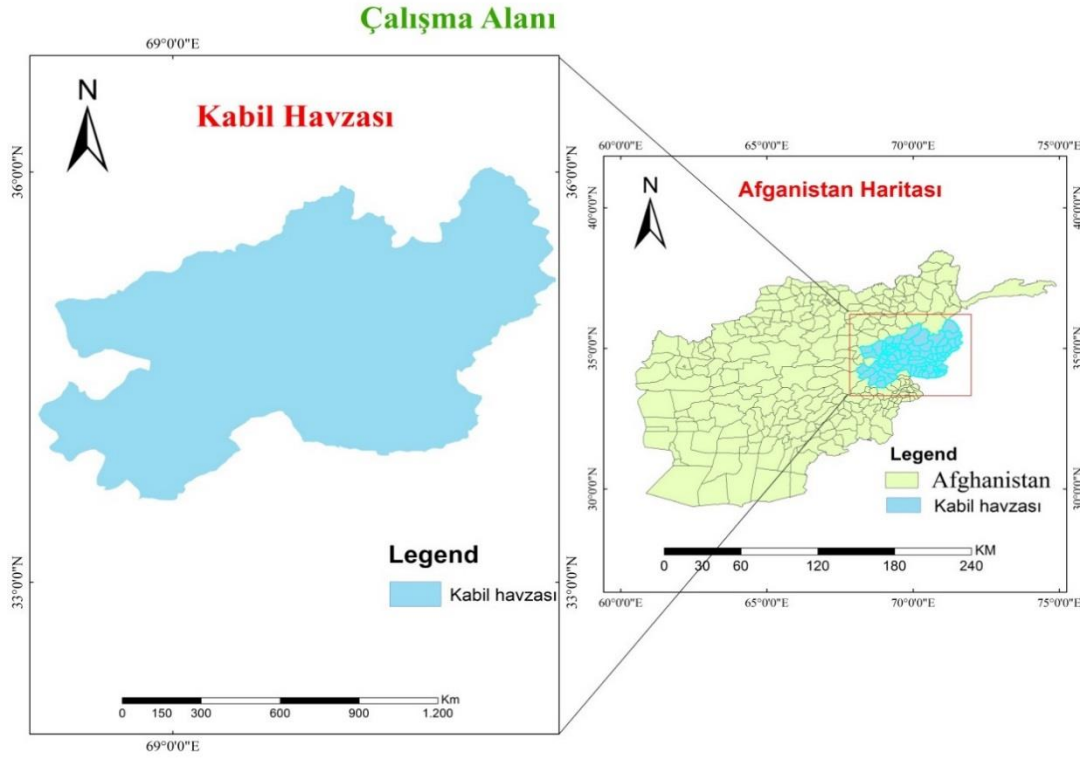
**Tablo 2.1:** Tez kapsamında hesaplanan havza parametreleri

No	Parametre Adı	Formül / Yöntem	Parametrenin Açıklaması	Birim	Referanslar
1	Havza sınırı	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	CBS yazılımı ile havza sınırı belirlenir	Boyutsuz	
2	Havza Alanı (A)	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	Havzanın kilometrekare cinsinden alanı	km <sup>2</sup>	Schumm (1956)
3	Havza Çevresi (P)	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	Havzanın kilometre cinsinden kenar uzunluğu	km	Schumm (1956)
4	Havza Uzunluğu (L <sub>b</sub> )	$L_b=(1.312*A^{0.568})$	Havza uzunluğu (km)	km	Schumm (1956)
5	Havza Genişliği (W)	$W=(A)/L_b$	A; Havza alanı (km <sup>2</sup> ) L <sub>b</sub> ; Havza uzunluğu (km)	km	Horton (1932)
6	Havzanın maksimum kotu (H <sub>mak</sub> )	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	CBS yazılımı ile belirlenir	m	
7	Havzanın minimum kotu (H <sub>min</sub> )	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	CBS yazılımı ile belirlenir	m	
8	Havzanın ortalama kotu (H <sub>ort</sub> )	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	CBS yazılımı ile belirlenir	m	
9	Havzanın ağırlık merkezi (X,Y) Koordinatları	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	CBS yazılımı ile belirlenir		
10	Havzanın Yöneyi (Bakı)	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	CBS yazılımı ile belirlenir		Speight (1980)
11	Havza Eğimi	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	CBS yazılımı ile belirlenir	%	Sreedevi (2005)
12	Akarsu mertebesi (u)	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	Hiyerarşik sıraya göre belirlenir.	Boyutsuz	Horton (1932)
13	Akarsu Sayısı (N <sub>u</sub> )	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	CBS yazılımı ile belirlenir	Boyutsuz	Horton (1932)
14	Akarsu Uzunluğu (L <sub>u</sub> )	Sayısal Yükseklik Modeli +CBS	Her bir mertebedeki akarsu uzunluğu belirlenir.	km	Horton (1932)
15	Ortalama Akarsu Uzunluğu (L <sub>sm</sub> )	$L_{sm}=(L_u/N_u)$	L <sub>u</sub> ; “u” mertebesindeki akarsu uzunluğu (km) N <sub>u</sub> ; “u” mertebesindeki akarsu sayısı	km	Strahler (1957)
16	Çatallanma Oranı (R <sub>b</sub> )	$R_b=(N_u/(N_u+1))$	N <sub>u</sub> ; “u” mertebesindeki akarsu sayısı N <sub>u</sub> +1; “u” mertebesinde bir sonraki mertebedeki akarsu sayısı	Boyutsuz	Horton (1932) Strahler (1964)
17	Havza Rölyefi (R <sub>f</sub> )	$R_f=H_{mak}-H_{min}$	H <sub>mak</sub> ; Havzanın maksimum kotu (m) H <sub>min</sub> ; Havzanın minimum kotu (m)	Boyutsuz	Strahler (1957)
18	Rölyef Oranı (R <sub>r</sub> )	$R_r=(R_f/L_b) *100$	R <sub>f</sub> ; Havza rölyefi (m) L <sub>b</sub> ; Havza uzunluğu (km)	Boyutsuz	Schumm (1956)
19	Drenaj yoğunluğu (D <sub>a</sub> )	$D_a=L_u/A$	L <sub>u</sub> ; “u” mertebesindeki akarsu uzunluğu (km) A ; Havza alanı (km <sup>2</sup> )	km /km <sup>2</sup>	Horton (1932)
20	Havza Şekil faktörü (BSI)	$BSI=(1.27*A/L_b^2)$	L <sub>b</sub> ; Havza uzunluğu (km) A; Havza alanı (km <sup>2</sup> )	Boyutsuz	Hagget (1956)

### 3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Bu tez çalışmasında, Kabil Havzası, akarsu havzalarında havza parametrelerinin belirlenmesi amacıyla uygulama alanı olarak seçilmiştir (Şekil 3.1). Kabil ana havzası, enlem olarak  $36^{\circ} 3' 7''$  ila  $31^{\circ} 34' 33''$  ve boylam olarak  $67^{\circ} 36' 50''$  ila  $71^{\circ} 41' 27''$  arasında, Afganistan'ın doğu kesiminde yer almaktadır. Kabil havzasının en önemli akarsuyu Kabil Nehri olup 700 km uzunluğa sahiptir.

Kabil havzası, Kunar, Lağman, Jalalabad, Kabil, Panjshir, Parwan, Logar illerini içine almaktadır. Ancak havza, temel olarak Kunar, Logar, Kabil ve Panjsher illeri sınırları içinden geçmekte ve Kabil Nehri, Pakistan, Attock yakınlarındaki İndus Nehri'ne boşalmaktadır.



Şekil 3.1: Uygulama alanı

Afganistan Ulusal Su İşleri Düzenleme Kurumu (NWARA) verilerine göre, Kabil Nehri'nin toplam havza alanı  $76.908 \text{ km}^2$ 'dir (Khairandish, Mishra, ve Lohani, 2020). Çalışma kapsamında Afganistan Ulusal Su İşleri Düzenleme Kurumundan alınan akım gözlem istasyonlarını besleyen 9 adet havzaya ait veriler, Tablo 3.1'de

verilmiştir. Havzalara ait verilen veriler dikkate alınarak uygulama alanında 15 yıl ve daha fazla gözlem değerine sahip havzalar incelenmiştir.

**Tablo 3.1:** Kabil su havzalarına ait akım gözlem istasyonlarının verileri (Afganistan NWARA)

İstasyon Adı	Akarsu	Koordinat		Kot (m+m.s.l)	Alan (km <sup>2</sup> )	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /sn	Q <sub>ort</sub> m <sup>3</sup> /sn
		Doğu	Kuzey				
Nawabad	Kunar	34°49'11"	71°07'13"	796	23960	3232	508
Pul_i_Behsod	Kabil	34°26'32"	70°27'35"	555	36980	878	151
Sultan Por	Surkhrrod	34°24'57"	70°17'45"	686	2590	730	4.65
Pul-i-Qarghayi	Lağman	34°32'49"	70°14'33"	643	6155	676	57
Naghlo	Kabil	34°38'14"	69°43'1"	998	26046	990	84.3
Bagh-I-omomi	Shutul	35°09'56"	69°17'15"	1587	205	41.8	3.88
Tangi-gulbahar	Panjshir	35°09'33"	69°17'19"	1625	3565	400	48.05
Bağ-I-lala	Salang	35°09'6"	69°13'14"	1698	485	98.6	10.02
Pul-i-Ashawa	Ghorband	35°05'19"	69°08'31"	1624	4020	210	20.2

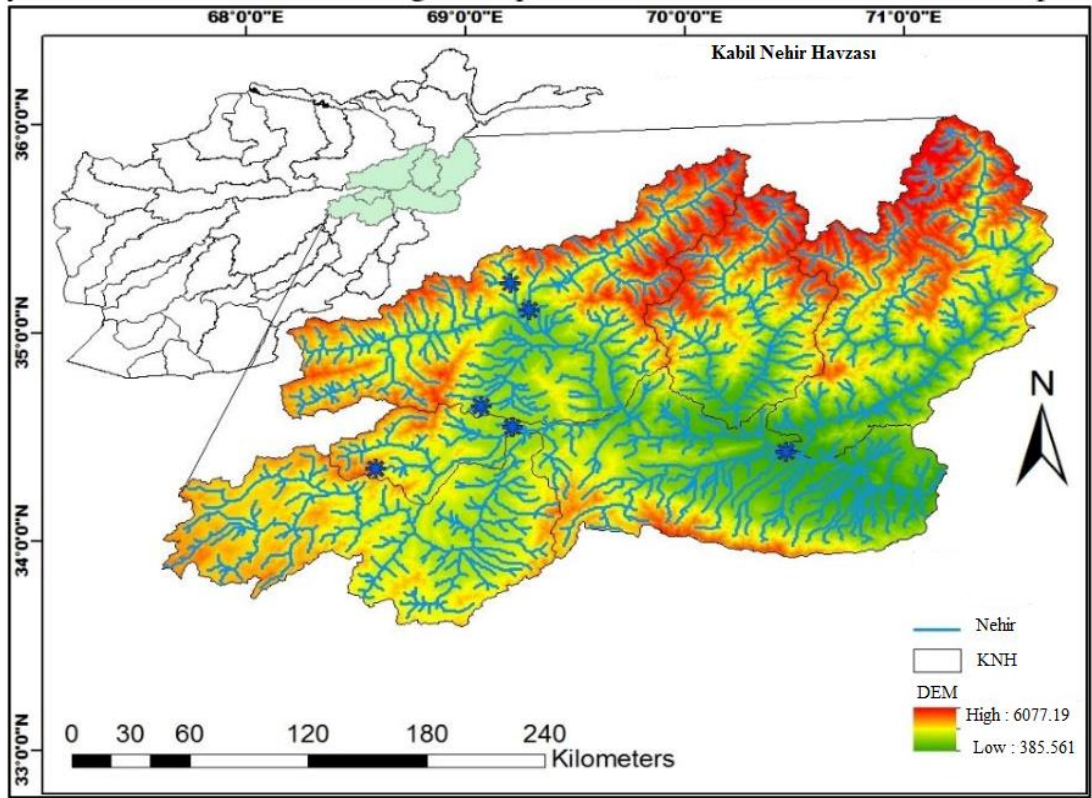
### 3.1 CBS Analizi

Tez kapsamında veri setleri, ArcGIS 10.2 kullanılarak mozaiklenmiş ve UTM projeksiyonunda yansıtılıp Kabil su havzaları üzerinde çalışma yapılmıştır. İndirilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) paftaları üzerinde coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanılarak kabil su havzalarının havza sayısal yükseklik modelinin oluşturulması, havzaya ait verilerin elde edilmesi, boşlukları doldurma, akış birikimi, akış yönü, havza sınır ve akış uzunluğu gibi havza fiziksel parametrelerinin elde edilme işlemleri, (ArcHydroTool) kullanılarak detaylı bir şekilde hazırlanmıştır.

### 3.2 SYM'nin Hazırlanması (DEM)

Amerikan Jeoloji Servisi (USGS) tarafından üretilen 1 derece karelik paftalar, SRTM Kabil su havzalarını kapsamak için SYM dosyası ArcMap'e aktarılarak bir tabaka halinde ArcGIS projesinde ele alınmıştır. Eklenen SRTM verileri 30 m çözünürlüğe sahiptir.

Çalışma alanını kapsayan (Şekil 3.2) SYM dosyalarını, tek bir SYM dosyasına dönüştürmek için araç kutusundaki mozaik aracı kullanılmıştır.

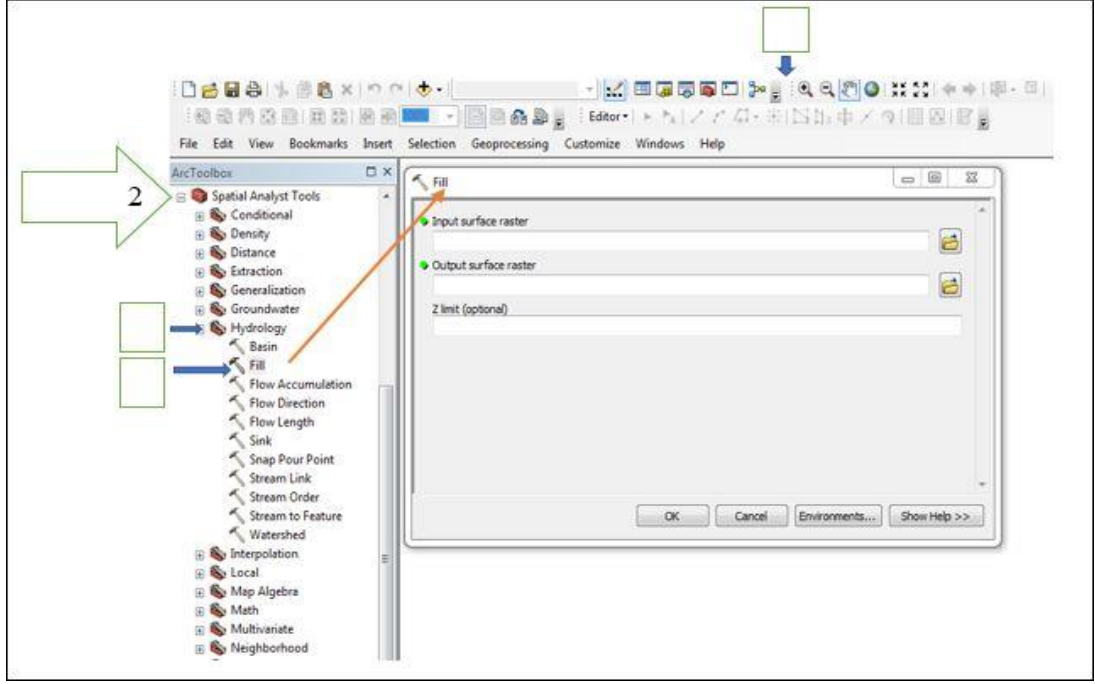


**Şekil 3.2:** Kabil havzalarının sayısal yükseklik modeli.

### 3.3 Çukursuz SYM Oluşturulması (Fill)

Çukurları olmayan bir SYM veri kullanması önemlidir. SYM veride bütün çukurları doldurmak için hidroloji araç kutusunda doldurma “Fill” komutu ile işlem yapılmaktadır. SYM’de çukurlar çok olduğu için verilerde hata yapmak normaldir. Bu hatalar, örneği ve SYM’nin tam sayılara yuvarlanmasını etkiler (Alqaysi 2016).

“Fill” komutunu çalıştırmak için standart araç çubuğu “StandardToolbar” dan ArcToolbox’ın “Spatial Analyst Tools” araç kutusunun “Hydrology” komutları içerisinde yer alan “Fill” (Şekil 3.3) komutu iki kere tıklanmaktadır.





**Şekil 3.3:** Fill komutunun parametreleri ve ArcToolbox aşamaları

“Input surface raster” kısmında SYM dosyası, “Output surface raster” kısmında doldurma SYM dosyası ismi yazılmaktadır. “Z limit” ile isteğe bağlı doldurma yüksekliği kısıtlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında doldurmada kısıtlama işlemi yapılmamıştır.

### 3.4 Akış Yönü (Flow Direction)

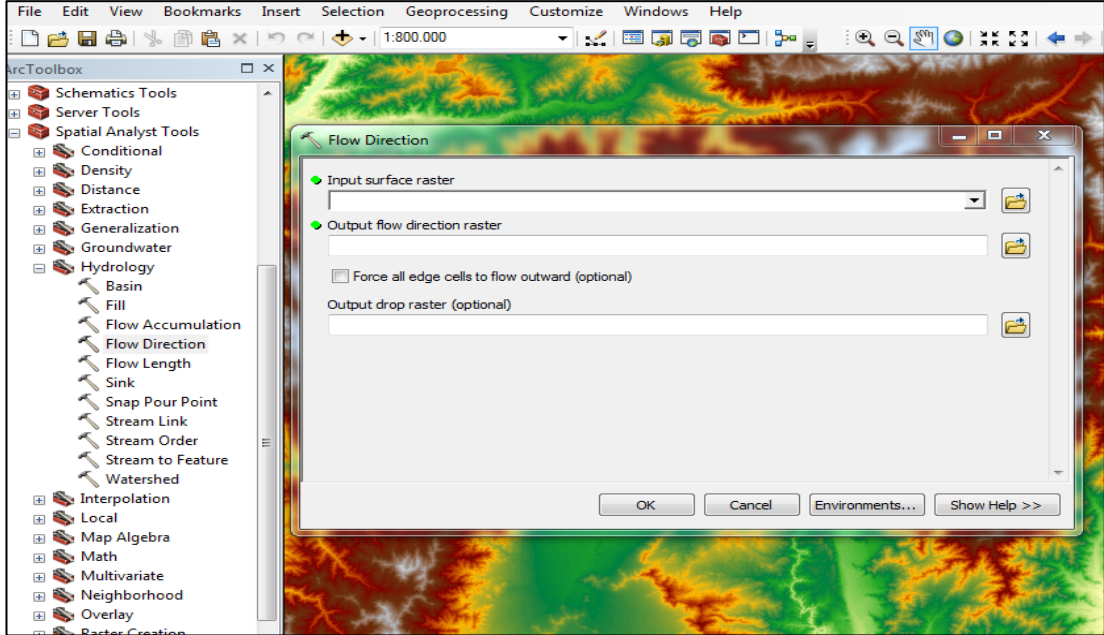
Akış yönü, ArcGIS programı tarafından 8 komşu hücre ile kot farkı kontrol edilerek elde edilir. Sayısal yükseklik modeli için her hücrenin akış yönü seçilir ve 8 komşu hücrelerden dik eğime sahip olan hücreye veya aşağıya doğru komşu hücreye yön alır. Aşağıda Şekil 3.4’te gösterilen Raster değerleri, merkezden akış yönünü temsil eder (Alqaysi 2016).

32	64	128	KB	kuzey	KD
16		1	Batı		Doğu
8	4	2	GB	Güney	GD

**Şekil 3.4:** Akış ilerleme yönüne göre raster değerleri

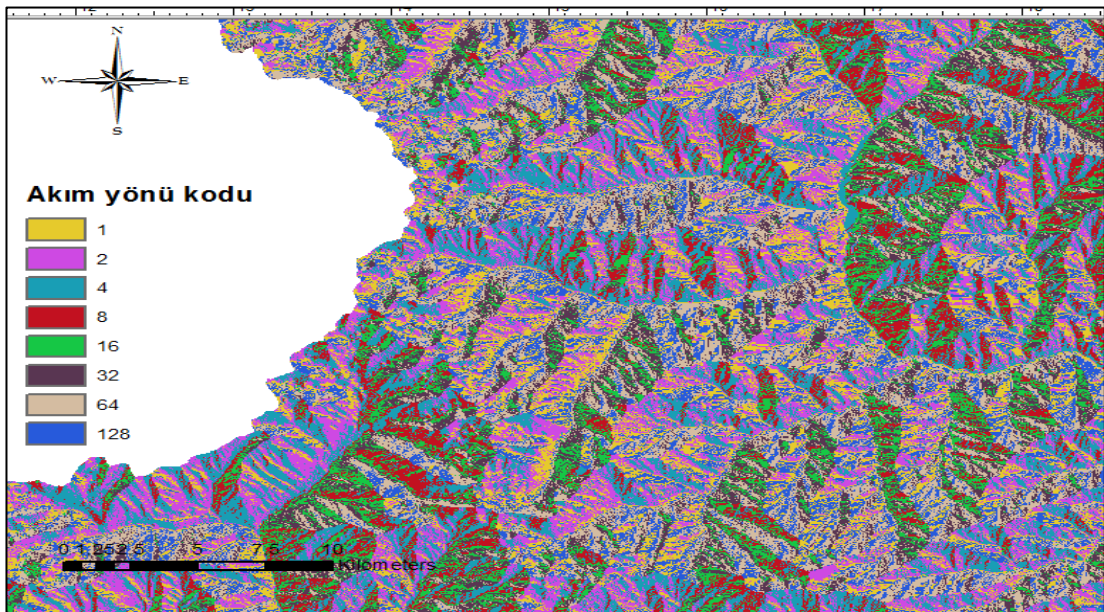


“Flow direction” komutunu çalıştırmak için “Fill” komutunda olduğu gibi Standart araç çubuğu “StandardToolbar”dan ArcToolbox’ın “Spatial Analyst Tools” araç kutusunun “Hydrology” bölümünde bulunan “Flow Direction” komutu tıklanmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Flow Direction komutunun menüsü

Şekil 3.5’te açılan pencerede “Input surface raster” kısmında, bir önceki “Fill” komutu ile elde edilen SYM dosyası ismi, “Output surface raster” kısmında ise Akım yönü SYM dosyası ismi yazılmaktadır. Elde edilen grafik aşağıdadır (Şekil 3.6).

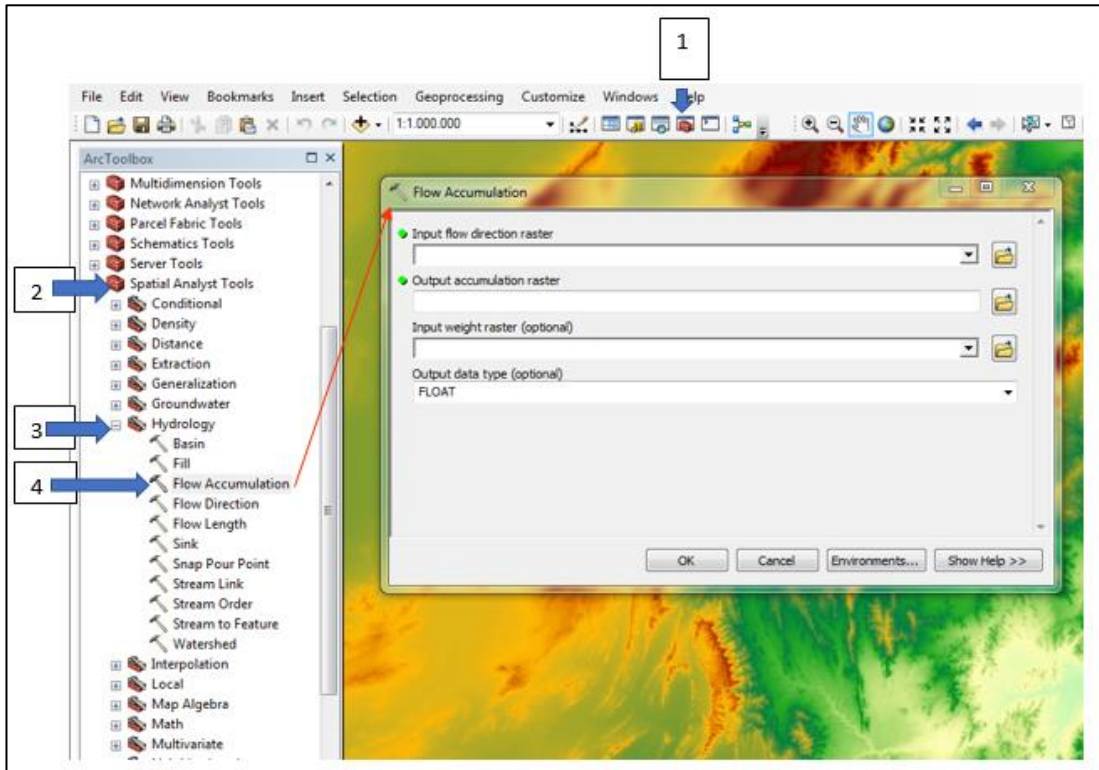


Şekil 3.6: Kabil su havzalarının akım yönleri



### 3.5 Akım Toplama (Flow Accumulation)

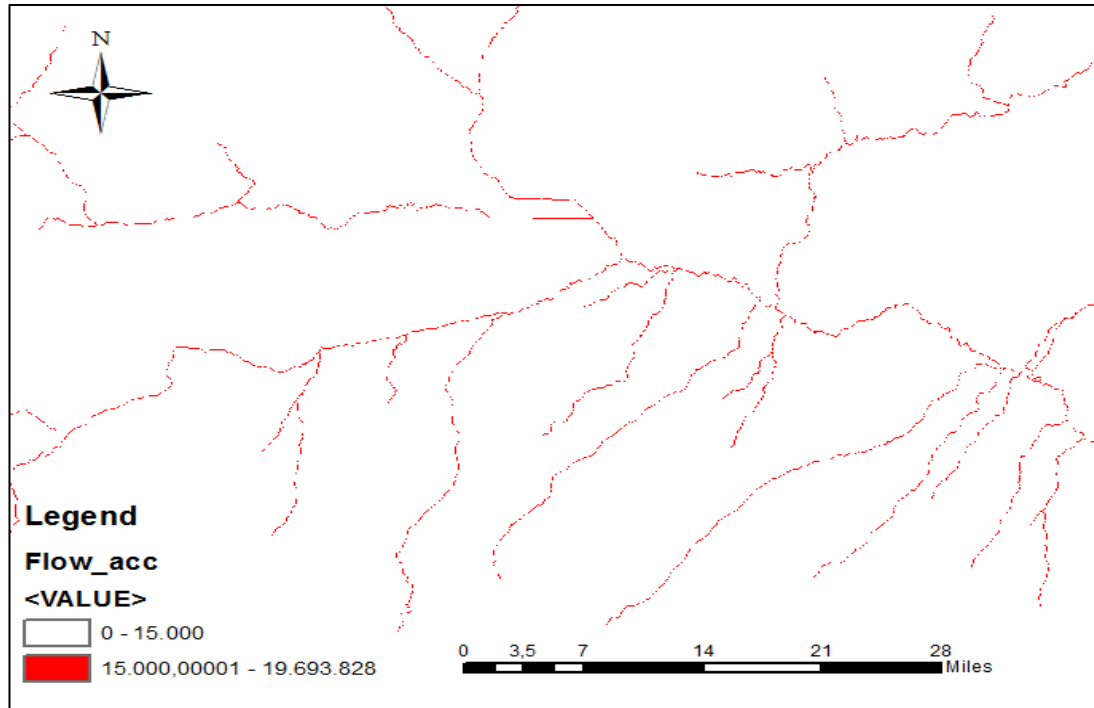
“Flow Accumulation” parametrelerini elde etmek için standart araç çubuğu “StandardToolbar”dan ArcToolbox’ın “Spatial Analyst Tools” araç kutusunun “Hydrology” bölümünde yer alan “Flow Accumulation” komutu çalıştırılmaktadır. “Flow Accumulation” komutunu iki kere tıklanarak açılan pencerede “Input surface raster” kısmında bir önceki “Flow Direction” komutu ile oluşturulan dosya ismi, “Output surface raster” kısmında “Flow Accumulation” işlemlerinde oluşturacak dosyanın ismi verilmektedir. “Input Weight Raster” bölümünde hücrelere farklı ağırlık değeri isteğe bağlı tanımlanmaktadır. “Output data type” kısmında ondalık sayı (“float”) tam sayı (“integer”) seçenekleri bulunmaktadır. “Flow Accumulation” komutu ile oluşan tabakada, hücre değeri büyük çıkacağı için ondalık sayı (“float”) seçeneği seçilmelidir. Şekil 3.7’de flow accumulation komutunun parametreleri ve aşamaları sırası ile numaralandırılmıştır.



Şekil 3.7: Flow Accumulation parametreleri ve ArcToolbox’ın aşamaları

“Flow Accumulation” komutu ile bütün hücrelere sıfırdan bir akım toplama değeri verilmektedir. Akım toplama değeri sıfır su olmayan hücreler, komşu hücrelerden su almadan yağmur suları komşu hücrelere verilmektedir. Akım toplama

değerinin, arazinin çoğu yerinde küçük; belli yerlerde büyük olduğu görülmektedir. Akım toplama değeri, büyük yerlerde yatak olan kısma karşı gelmektedir. Havzada akarsuları belirlemek için küçük hücreler olan suları dikkate almadan akım toplam değeri, büyük hücreleri dikkate almaktadır. Akarsu yatağının büyüklüğü, o yeri besleyen alanın büyüklüğüne bağlıdır. Bu tez kapsamında, Kabil su havzalarından bir havzaya farklı eşik değerleri verilerek gerçekte olmayan su kollarının oluşmaması ve gerçekte olan su kollarının yok olmaması için uydu görüntüsü ile belirlenmiştir. Kabil su havzalarına eşik değeri 15000 olarak Şekil 3.8’de verilmiştir. 15000’den küçük olan hücreler renksiz ve büyük olan su hücreleri mavi renk seçilerek renklendirilmiştir. Bu işlem sonucunda akım toplama akarsuları gösterilmekte; akarsu yatağında bulunmayan sular akım toplama haritasında gösterilmemektedir (Doğmaz, 2018).

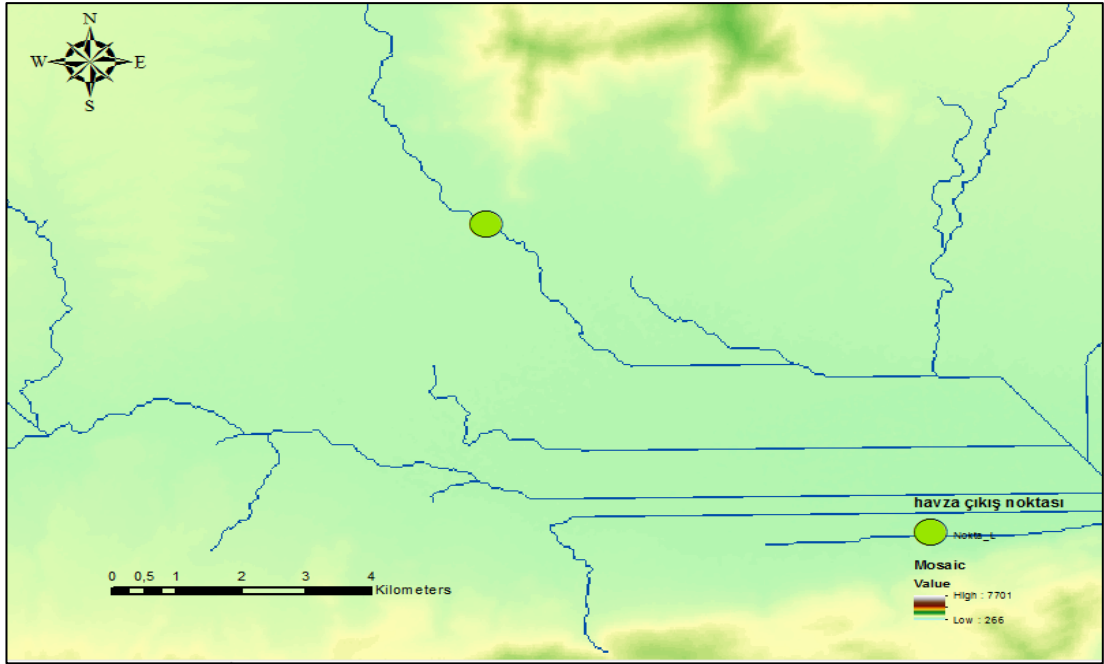


**Şekil 3.8:** Kabil su havzalarının bir bölümünün akım toplama değerleri 15000’den büyük olan hücreler

### 3.6 Havza Çıkış Noktası

Akım yönü ve havza çıkış noktası, bir havzanın sınırlarını çizebilmek için kullanılmaktadır. Havza sınırlarını belirlemek için ilk önce çıkış noktası belirlenir (Şekil 3.9). Bir önceki akım toplama işlemlerinden sonra akarsuların büyük hücreleri

görülmektedir. Havza çıkış noktası, havza sınırlarını belirlemek için çok önemli bir işlem olduğu için çok dikkat edilmesi gerekmektedir.



**Şekil 3.9:** Havza çıkış noktası

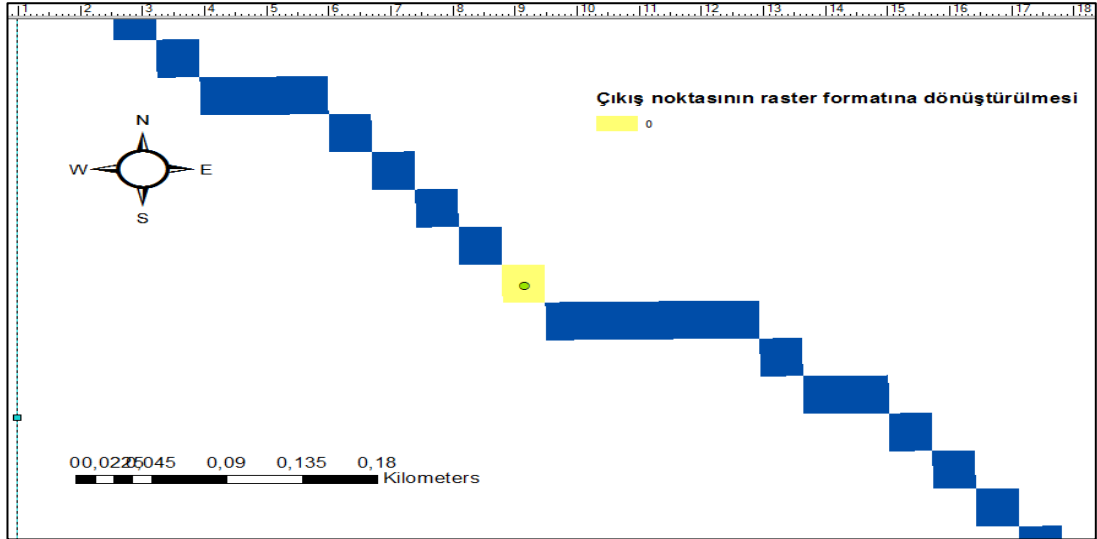
Bu tez çalışmasında çıkış noktaları, Afganistan Ulusal Su İşleri Düzenleme Kurumuna ait akım gözlem istasyonlarından alınmıştır. Kabil su havzalarının koordinatları, yağış alanı, kot ve yer bilgileri, Afganistan Ulusal Su İşleri Düzenleme Kurumu'ndan temin edilmiştir.

Havza çıkış noktası yerini belirlemek için standart araç çubuğundan ArcCatalog kullanılarak nokta vektör formatında bir shape dosyası oluşturulmalıdır.

### **3.7 Çıkış Noktasının Raster Formatına Dönüştürülmesi**

Çıkış noktasının raster formatına dönüştürülmesi için standart araç çubuğu "StandardToolbar"da bulunan ArcToolbox'ın "Spatial Analyst Tools" araç kutusunun "Hydrology" bölümünde yer alan "Snap Pour Point" komutu ile vektör formatında olan çıkış noktası, raster formatına dönüştürülmektedir. Raster formatına dönüştürülmesi, işlem havzaları vektör formatındaki (shape) noktalardan üretilmemektedir.

“Snap Pour Point” komutu ile açılan pencerede, “Input raster or feature pour point data” kısmında nokta vektör formatındaki shape dosyanın ismi, “Input accumulation raster” kısmına “flow accumulation” işlemlerinden oluşturulan raster tabaka dosyasının ismi verilmektedir. “Output raster” kısmında, oluşacak olan raster tabakasının ismi verilmektedir. “Snap Distance” kısmında ise sıfır değeri olarak alınmaktadır (Şekil 3.10).



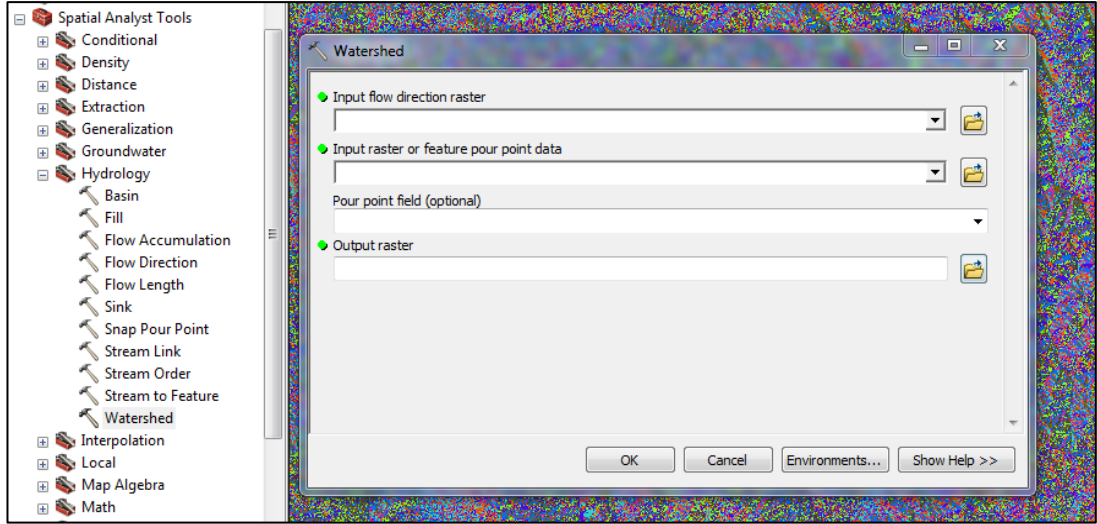
Şekil 3.10: Havza çıkış noktasının raster formatına dönüştürülmesi

### 3.8 Havza Sınırlandırılması (Watershed)

Bir su havzası, havza veya drenaj havzası, doğal bir hidrolojik birimi ile yukarı eğimi, bir drenaj belirli bir prizden veya dökme nokta “pour point” ile belirlenmektedir. CBS, havza tanımlamak ve analiz etmek için sayısal yükseklik model (SYM) ve su havzası çıkışı noktası kullanarak havza tanımlamalarını, hızlı ve doğru bir şekilde oluşturabilir (Zhang, McBroom 2011).

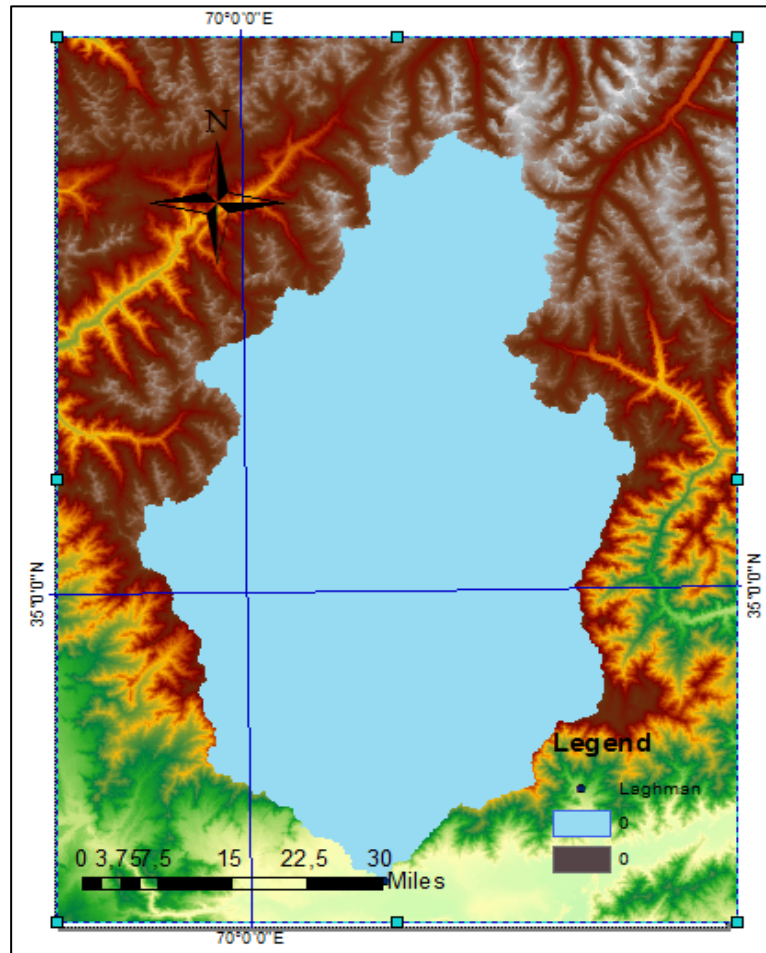
Havza sınırlarını çizmek için standart araç çubuğu “StandardToolbar” dan ArcToolbox’ında “Spatial Analyst Tools” araç kutusunda “Hydrology” bölümünde yer alan “Watershed” komutu ile işlem yapılmaktadır.

“Watershed” komutu tıklanarak açılan pencerede “Watershed” parametreleri “Input flow direction raster” kısmında “Flow Direction” dosyası, “Input raster or feature pour point data” kısmında havza çıkış noktası “pour point” dosyanın ismi, “Output Raster” bölümünde oluşturulan tabaka ismi verilmektedir (Şekil 3.11).

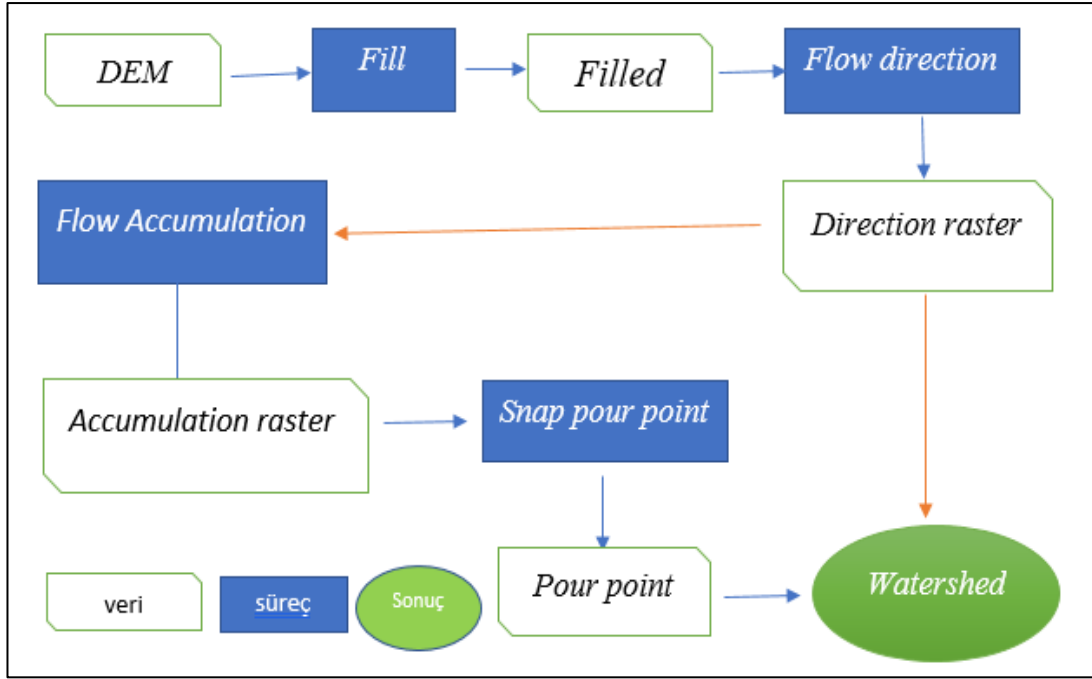


Şekil 3.11: Watershed komutunun menüsü

Watershed komutu uygulanarak girilen değer sonrası oluşan grafik, Şekil 3.12’de; havza tanımlama akış sürecini gösteren grafik, Şekil 3.13’te sunulmuştur.



Şekil 3.12: Kabil su havzalarından bir havzanın sınırlandırılması



Şekil 3.13: Havza tanımlama süreci akış şeması

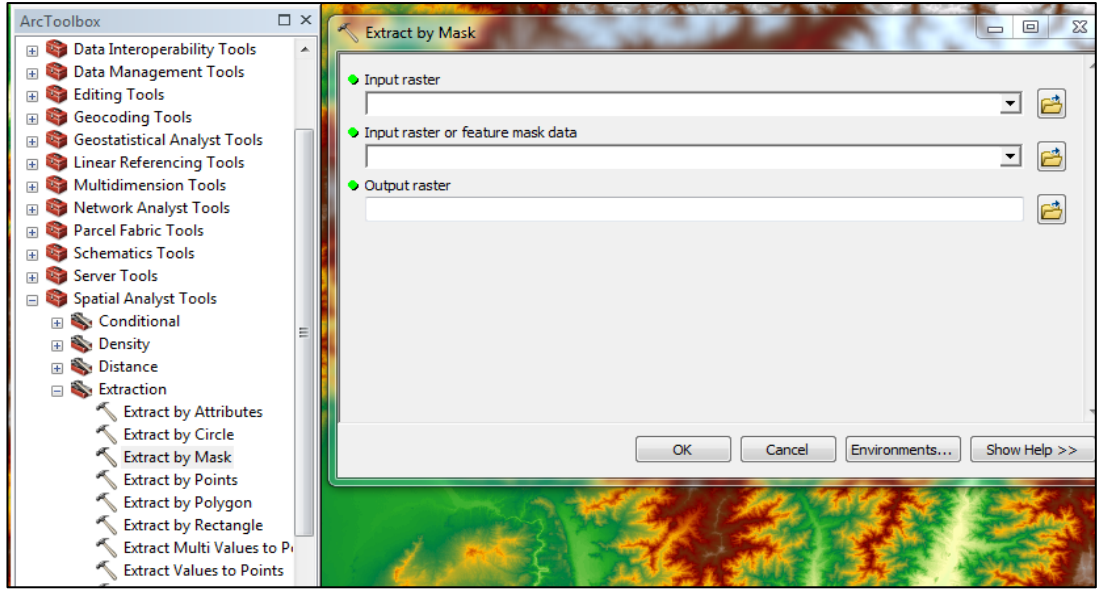
### 3.8.1 Havzanın Diğer Tabakalardan Ayrılması

Baştan havza sınırlandırması SYM işlemleri ile elde edilen akım yönü ve akım toplama tabakaları, tüm Kabil ana su havzalarına aittir. Bu tabakaların ayrılması için “Extract by Mask” ile her bir havzanın ayrı ayrı fizyografik parametreleri elde edilebilmektedir. Havzaları kesip çıkarma işlemleri, Standart araç çubuğu “StandardToolbar” dan ArcToolbox’ın “Spatial AnalystTools” araç kutusunun “Extraction” bölümünde yer alan “Extract by Mask” komutu ile yapılmaktadır.

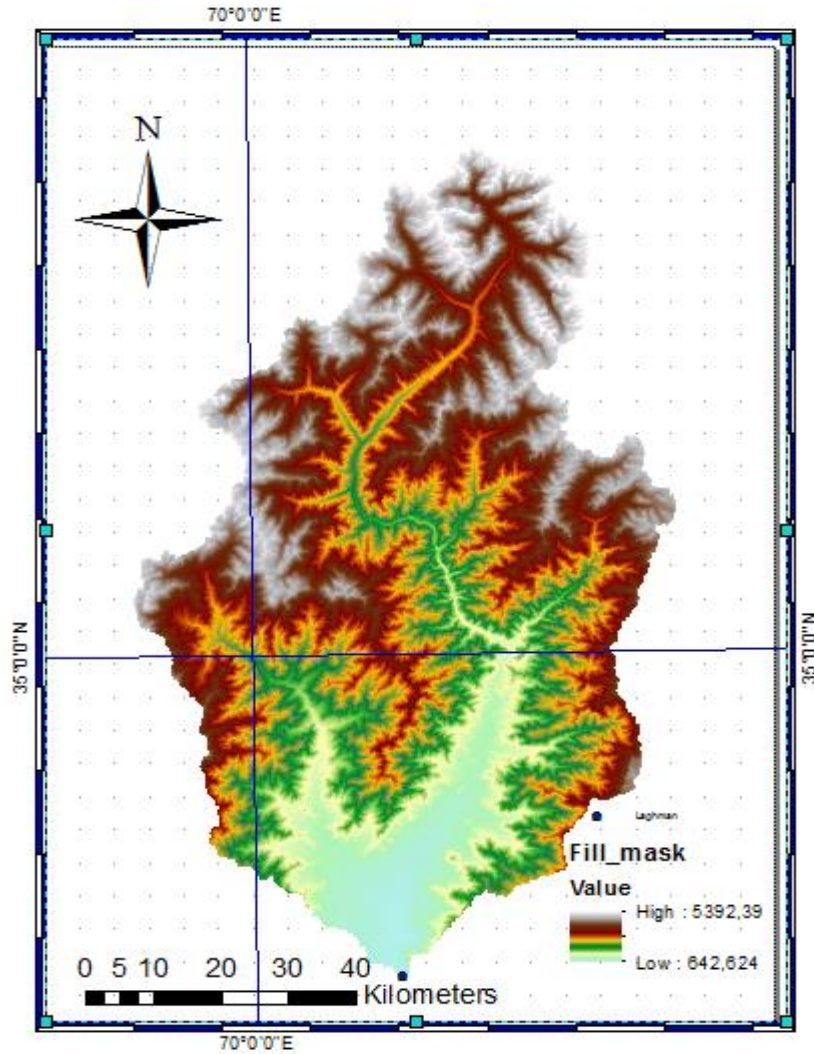
“Extract by Mask” komutu ile açılan pencerede “Input raster” kısmında ayrılan tabaka dosyası belirtilmektedir. Bu kısmında her bir ayrılacak olan tabakanın sayısal yükseklik modeli, akım yönü ve akım toplaması belirtilmektedir. “Input raster or feature mask data” bölümünde, havza sınırlanan “watershed” tabaka belirtilmektedir. “Output raster” bölümünde ise oluşacak olan tabaka ismi, her bir tabaka için ayrı ayrı yazılmaktadır (Şekil 3.14).

Kabil ana su havzalarından Lağman havzasının sınırları kullanılarak sayısal yükseklik modeli, akım yönü ve akım toplama “Extract by Mask” komutu ile tabakalarından ayrılarak, sırası ile Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’deki gibi elde edilmiştir.

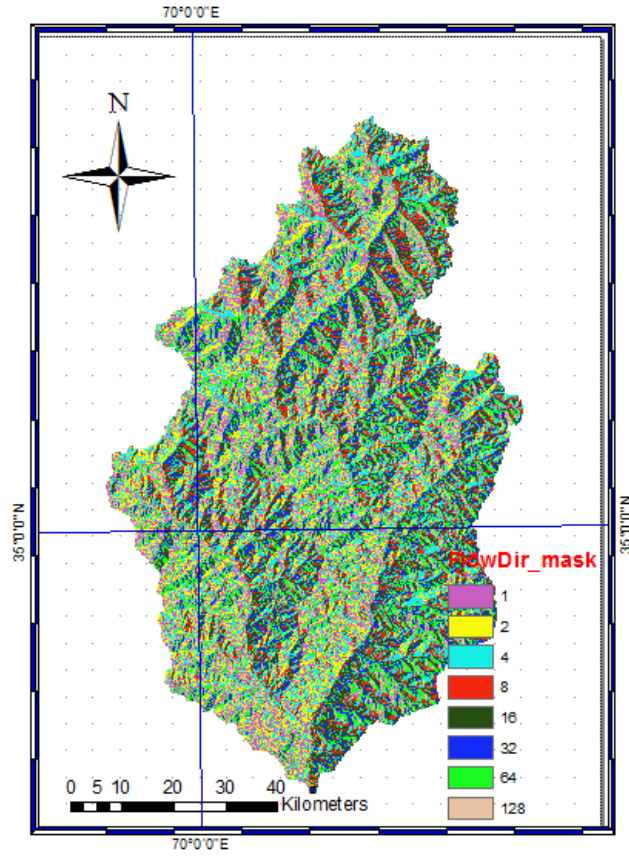




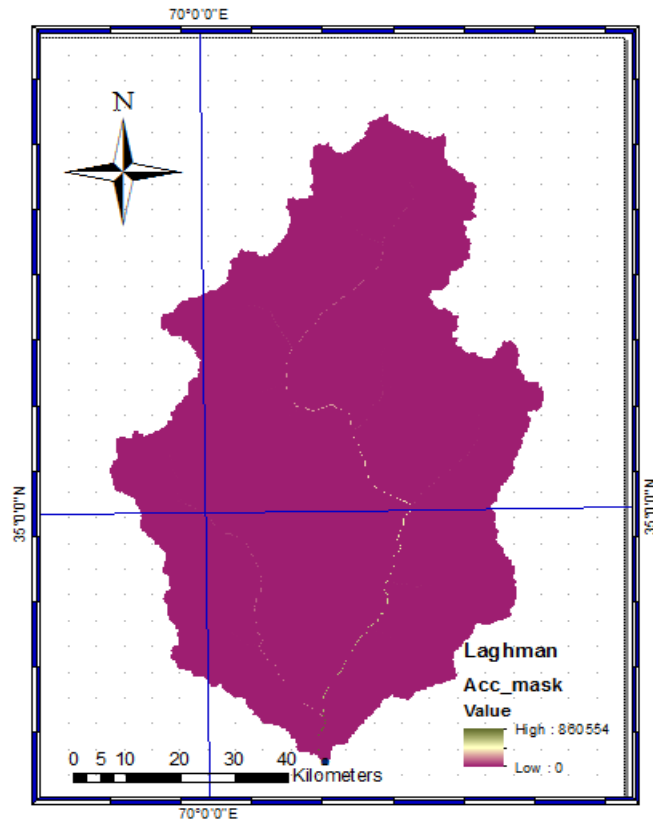
Şekil 3.14: Extract by Mask komutunun parametreleri



Şekil 3.15: “Extract by Mask” ile havzanın sayısal yükseklik modeli



Şekil 3.16: “Extract by Mask” ile havzanın akım yönu

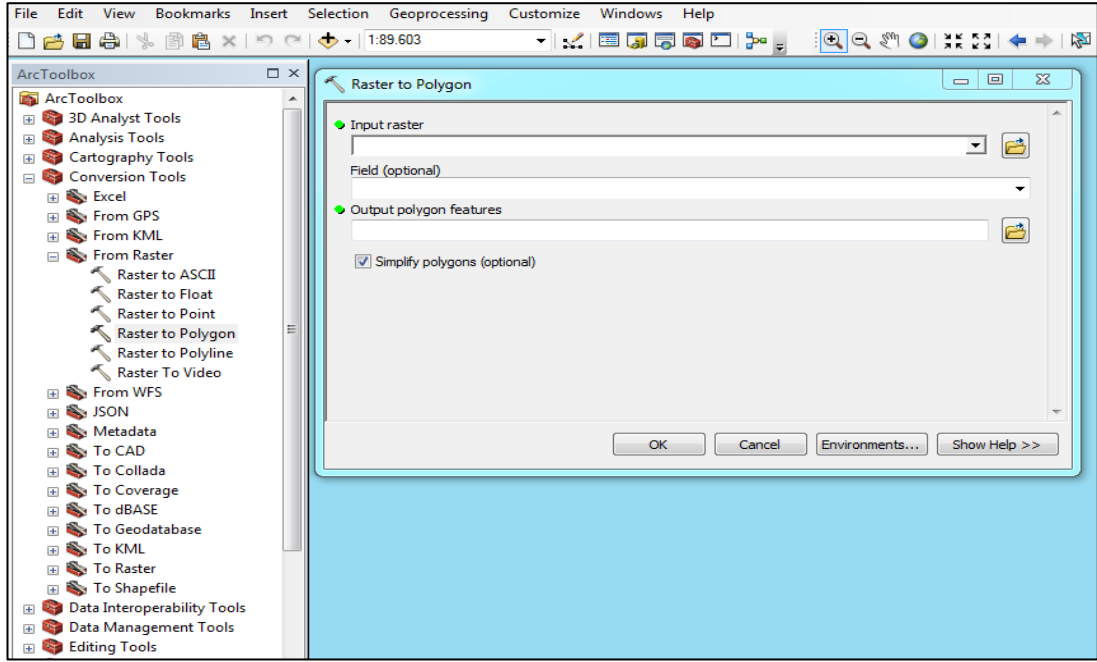


Şekil 3.17: “Extract by Mask” ile akım toplama



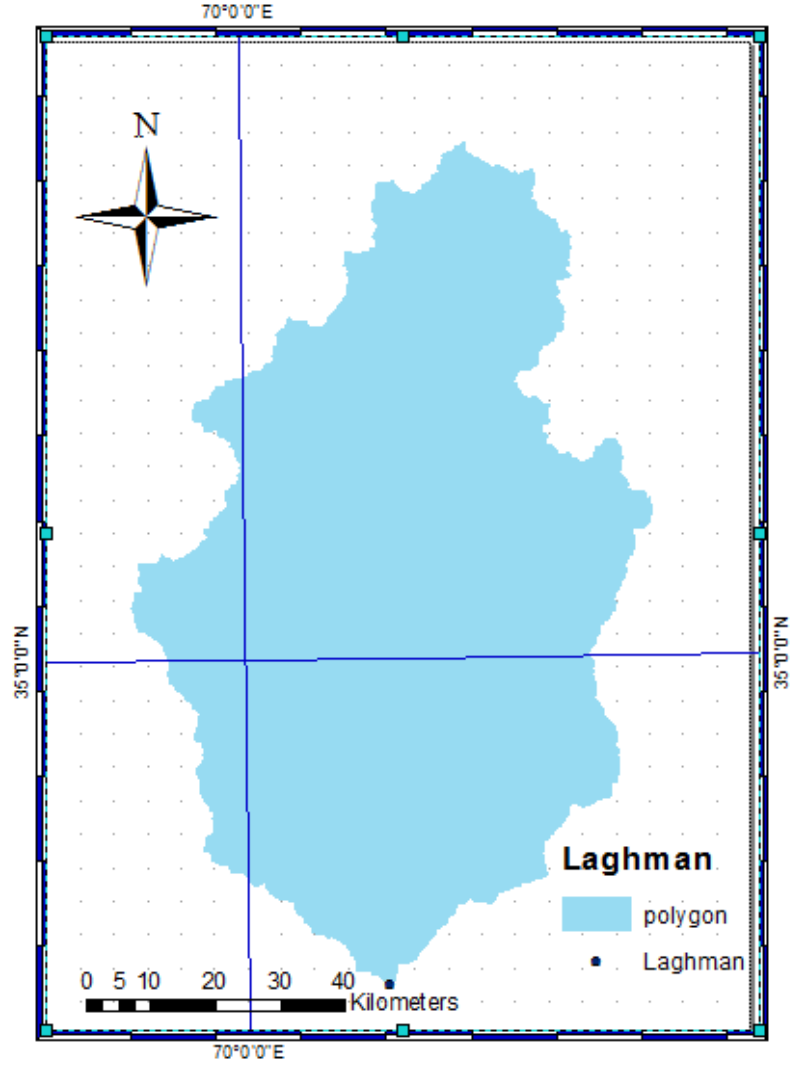
### 3.8.2 Havza Alanının Poligona Çevrilmesi

Havza alanının poligona çevrilmesi için ArcGIS programı üzerinde geliştirilen raster verileri, vektör formatına dönüştürülmektedir. Şekil 3.18'deki poligon parametrelerini elde etmek için Standart araç çubuğu "StandardToolbar"da yer alan ArcToolbox'ın "Conversion Tools" araç kutusunun "From Raster" bölümündeki "Raster to Polygon" komutu çalıştırılmaktadır.



Şekil 3.18: Raster to Polygon komutunun aşamaları ve parametreleri

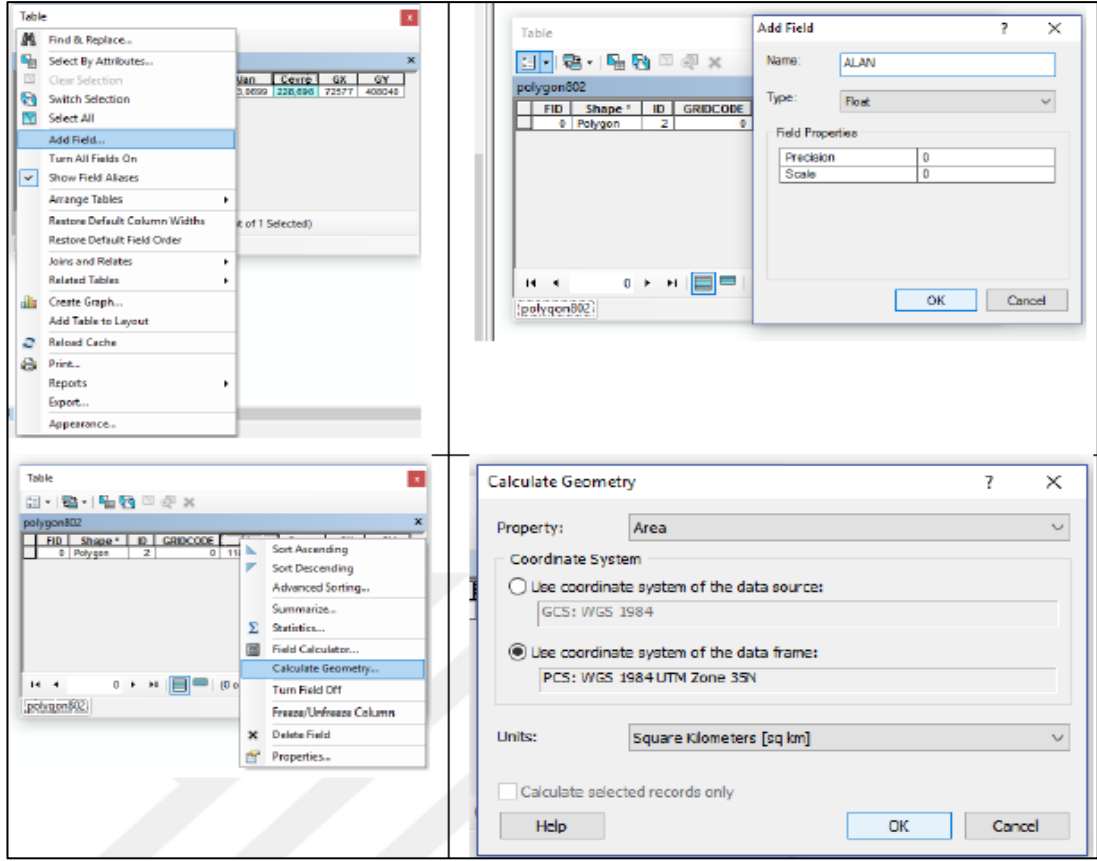
"Raster to Polygon" komutu iki kere tıklanarak açılan pencerede, "Input raster" kısmında "watershed" komutu ile elde edilen raster formatındaki dosya ismi, "Field (Opsiyonel)" kısmında "Value" verilmektedir. "Output polygon features" bölümünde oluşturulacak dosyanın ismi verilmektedir. "Simplfy polygons" (Opsiyonel) seçeneğinin aktif bırakılmasıyla, elde edilen poligonun daha az çıkıntılı çizgileri olması sağlanmaktadır. Şekil 3.19'da havza, poligona çevrilmiştir.



Şekil 3.19: Havzanın poligona çevrilmesi

### 3.8.3 Havza Alanı Hesaplama

Havza alanını hesaplamak için, elde edilen havzanın poligon formatındaki tabaka özellikleri “Öznitelik Tablosu”nda “Attribute Table” (Şekil 3.20) “Add Field Komutu” ile ALAN hesaplamak için ondalık sayı (float) tipinde bir “Field” sütunu eklemektedir. Sütunun sağ üst köşesine tıklanır, Calculate Geometry komutundan açılan pencerede “Property” kısmında “Area” seçilerek havza alanı elde edilir.



Şekil 3.20: Havza alanının hesaplama aşmaları

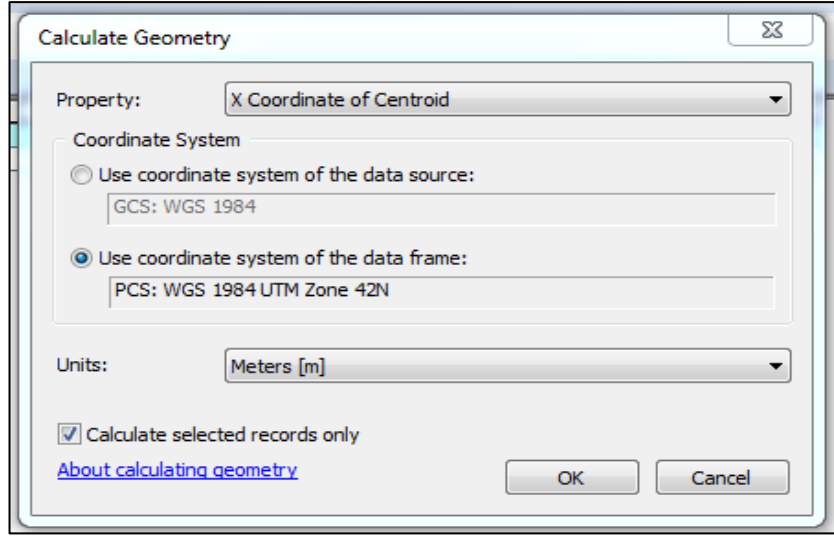
### 3.8.4 Havza Çevre Uzunluğu Hesaplama

Alan parametresi gibi çevre de çok kullanılan bir fizyografik parametre olarak bilinir. Havzanın çevre hesabı, alan hesaplama gibi elde edilir. “Attribute Table” “Add Field” komutu ile çevre hesaplamak için ondalık sayı “float” tipinde bir “Field” sütunu eklemektedir. Sütunun sağ üst köşesi tıklanır, “Calculate Geometry” komutundan açılan pencerede “Property” kısmında “Perimeter” seçilerek havza çevre uzunluğu elde edilir.

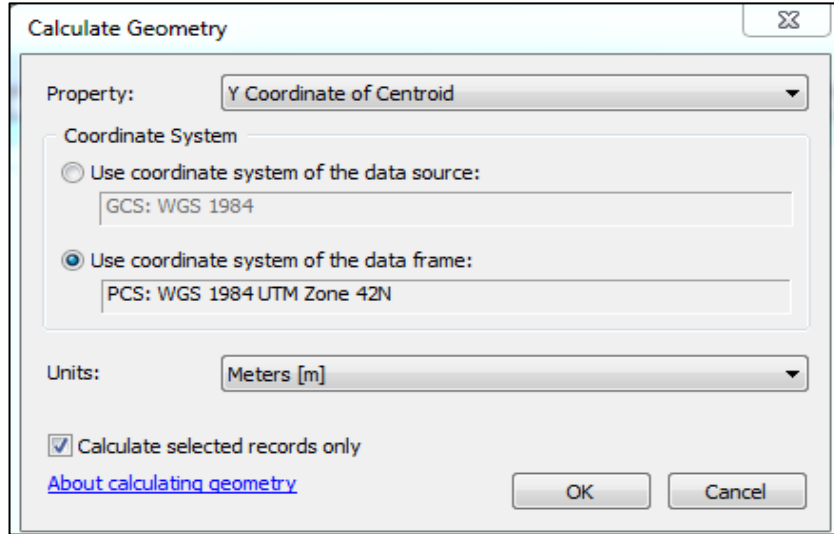
### 3.8.5 Havzanın Ağırlık Merkezinin Bulunması

Havzanın ağırlık merkezinin bulunması için alan ve çevre hesaplama işlemlerinde takip edilen yol kullanılmaktadır. Havzanın poligon formatındaki tabakanın öznitelik tablosunda, “Add Field” komutu ile “Long Integer” seçeneği seçilip iki “Field” tabaka oluşturulmaktadır. “Calculate Geometry” penceresinden x ve y koordinatları için Şekil 3.21’de “X Coordinate of Centroid” ve Şekil 3.22’de “Y Coordinate of Centroid” komutları kullanılarak elde edilir. “Coordinate system”

kısımında projeksiyonlu “PCS” ve “units” kısmında ise birim olarak “Meters [m]” seçilmektedir.



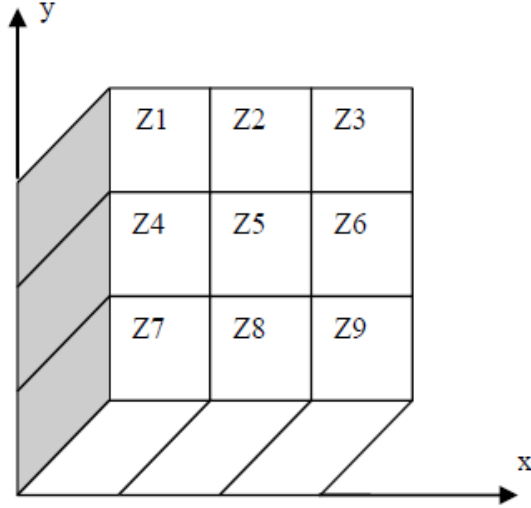
Şekil 3.21: Ağırlık merkezinin X koordinatının bulunması



Şekil 3.22: Ağırlık merkezinin Y koordinatının bulunması

### 3.8.6 Eğim Hesaplama

Bu çalışmada, eğim hesaplamak için Horn metodu kullanılmıştır. Horn metodu, Şekil 3.23'te 3x3'lük hücre modelinin kot farklı değerleri, Doğu-Batı ve Kuzey-Güney yönündeki ile hesaplanmaktadır. Doğu-Batı eğimi (G) ve Kuzey-Güney eğimi (H), denklem (3.1) ve denklem (3.2)'de sırasıyla gösterilmektedir (Doğmaz, 2018).



Şekil 3.23: 3x3'lük hücre modeli

$$G = \frac{[(Z3+2Z6+z9)-(Z1+2Z4+Z7)]}{8\Delta x} \quad (3.1)$$

$$H = \frac{[(Z1+2Z2+Z3)-(Z7+2Z8+Z9)]}{8\Delta y} \quad (3.2)$$

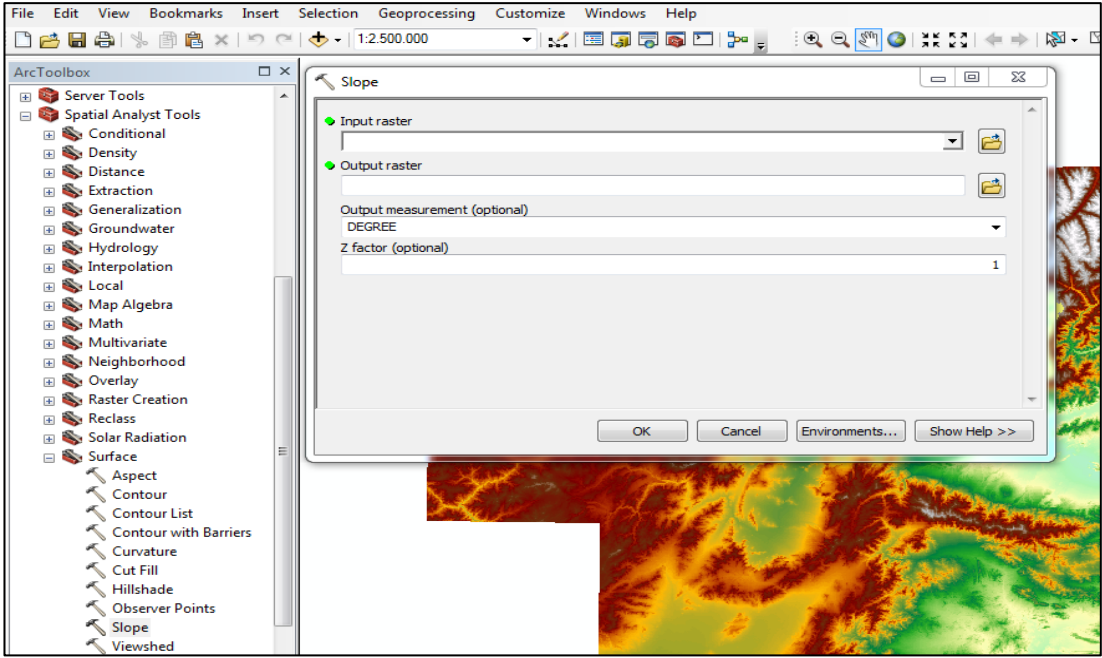
Z hücre yüksekliği,  $\Delta x$  hücre genişliği,  $\Delta y$  hücre yüksekliğini göstermektedir. Denklem (3.3)'te gösterildiği gibi eğim, derece cinsinden hesaplanmaktadır.

$$Eğim = \frac{\pi\sqrt{G^2+H^2}}{180} \quad (3.3)$$

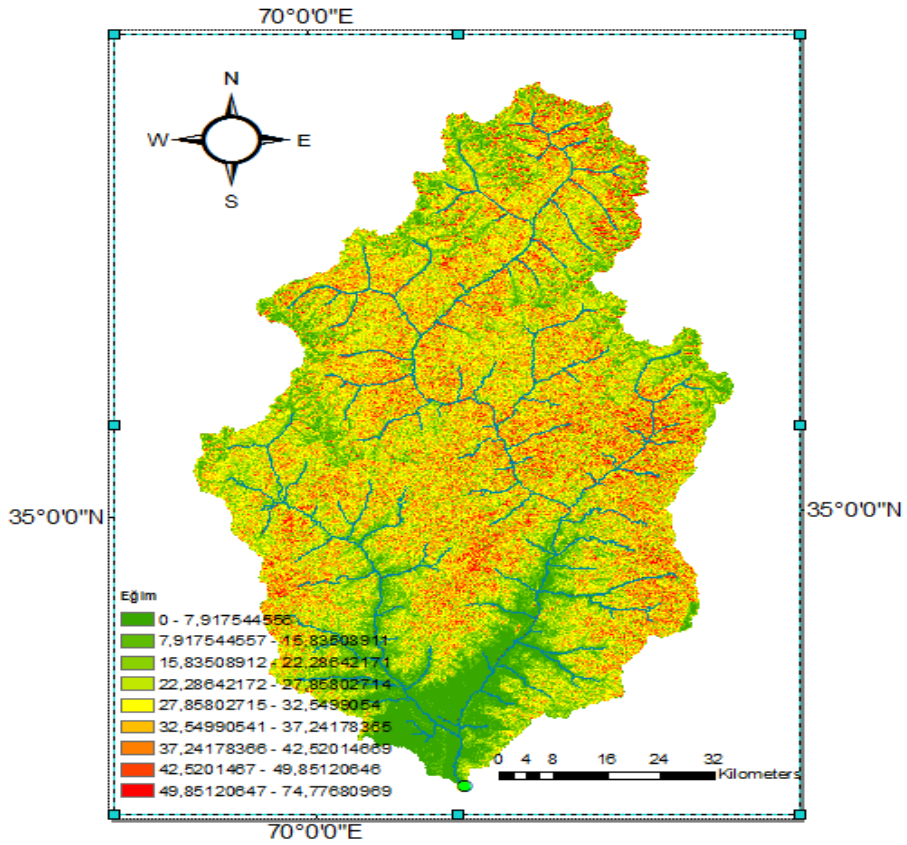
Eğim hesaplamak için ArcToolbox bölümünde yer alan “Spatial Analyst Tools” kısmında “Surface” bölümündeki “Slope” komutu çalıştırılmaktadır.

“Slope” komutunun parametreleri, Şekil 3.24'teki gibi “Input raster” bölümünde “extract by mask” komutuyla elde edilen havzanın çıkarılmış dosyası verilmektedir. “Output raster” bölümünde, oluşturulacak eğim tabakası için isim yazılmaktadır. “Output measurement” kısmında, eğimin derecesi “DEGREE” yüzdesi “PERCENT-RICE” olmak üzere iki seçenek yer almaktadır. Bu çalışmada “DEGREE” yani eğim, derece cinsinden hesaplanmaktadır. x, y koordinat değerleri ve yükseklik değeri, metre ile işlemi hesaplamak için “Z factor” bölümünde varsayılan değer olan 1 olarak değil, metre/derece oranı 0.000009 verilmektedir. Not: Dünyanın çevresi 40000 km ve 360 derecedir. Yani 1 derecenin uzunluğu yaklaşık 111

kilometredir. Sonuç olarak  $1/111111 = 0.000009$  elde edilir. Havzanın eğim haritası, yüzde cinsinden Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.24: Slope komutunun parametreleri



Şekil 3.25: Havzanın eğim haritası

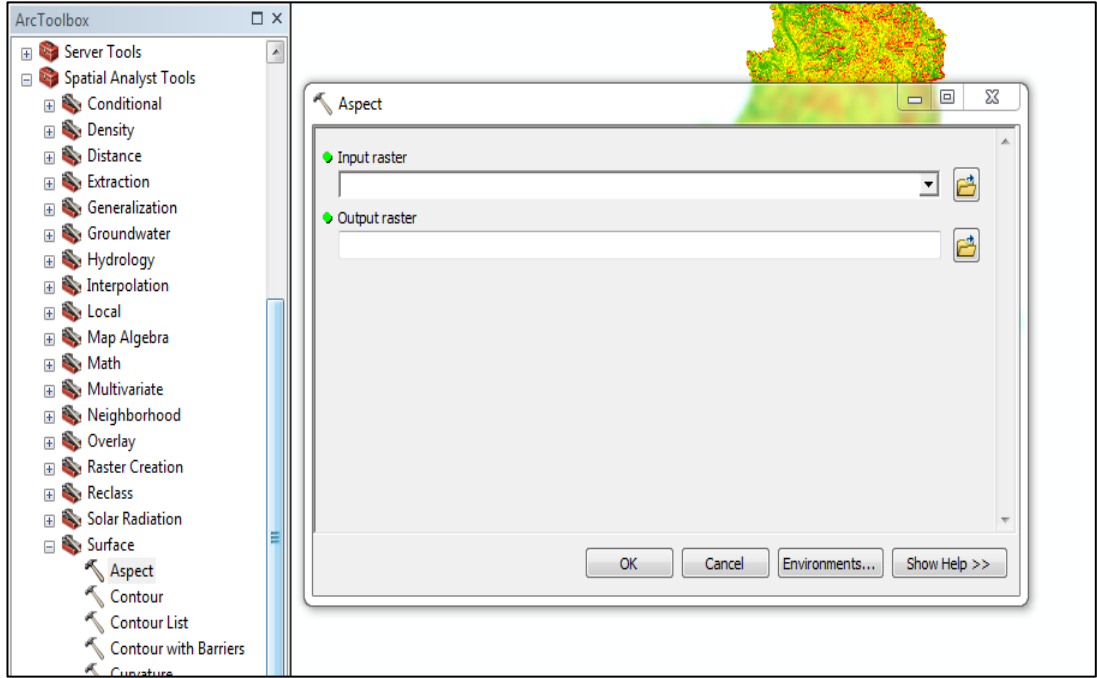
### 3.8.7 Bakı

Bakının matematiksel yönden derece cinsinden hesaplanması, Denklem (3.4)'te gösterilmiştir.

$$\text{Yön} = 2 \arctan \frac{-G}{\sqrt{G^2+H^2}+H} \left( \frac{180}{\mu} \right) \quad (3.4)$$

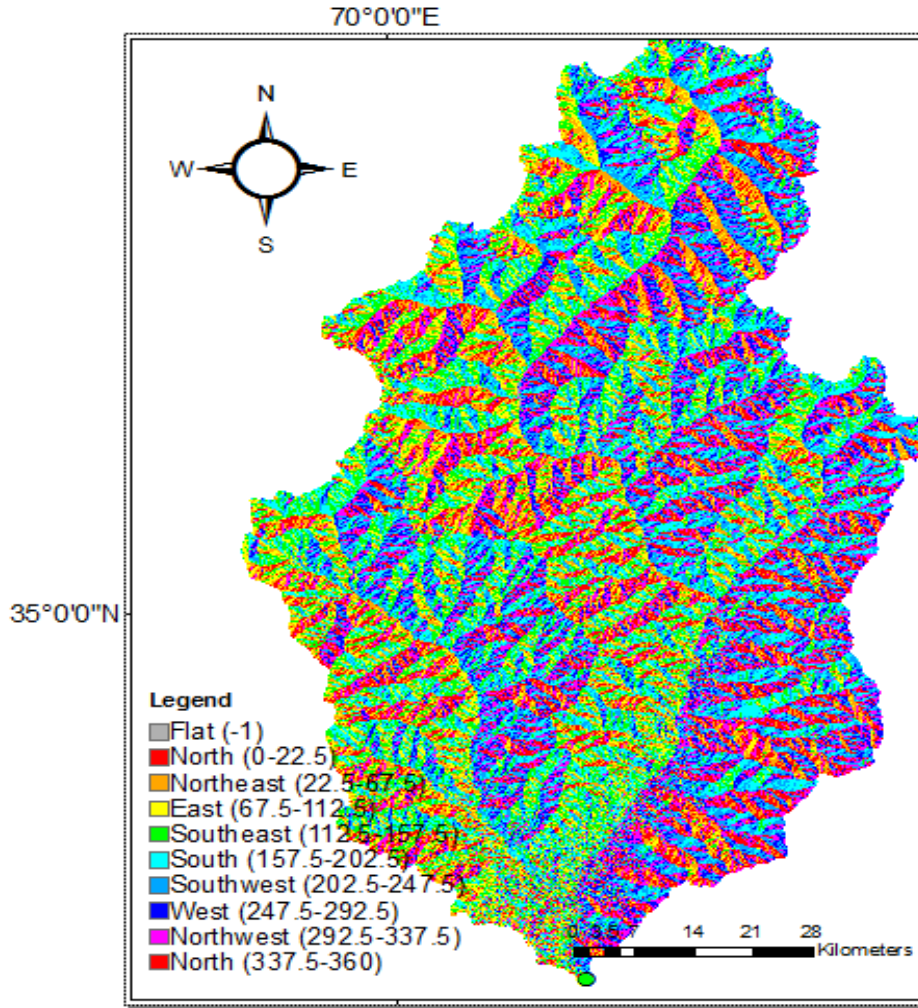
EĞER yön > 90° İSE Bakı = (450 – Yön) DEĞİLSE Bakı = (90 – Yön)

Bakı parametrelerini elde etmek için ArcToolbox'da “Spatial Analyst Tools” kısmında “Surface” bölümünde bulunan “Aspect” komutu kullanılmaktadır. “Aspect” komutunun parametreleri, Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26: Aspect komutunun Menüsü

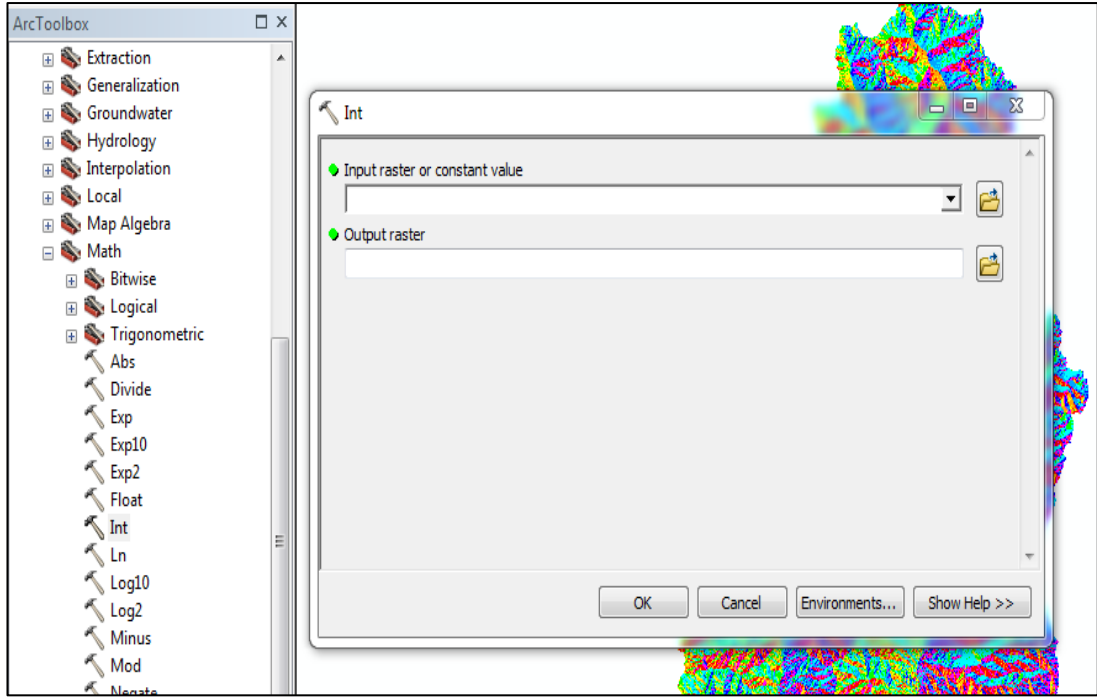
“Input raster” bölümünde, havzanın sınırlandırılmış “extract by mask” ile elde edilen dosyası verilmektedir. “Output raster” kısmında elde edilecek bakı tabakası için isim yazılmaktadır. Aspect komutunun parametreleri kullanılarak elde edilen Bakı, Şekil 3.27’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.27:** Bakı

Bakı tabakasının raster hücrelerinin değerlerinin, tam sayıya ve sayılabilir ondalık sayıya dönüştürülmesi, “kesikli değişken” ile sağlanmaktadır. Bu işlemi elde etmek için ArcToolbox’da yer alan “Spatial Analyst Tools” altındaki “Math” kısmında “Int” komutu çalıştırılmaktadır. “Int” komutunun parametreleri, Şekil 3.28’de verilmiştir. Bakı açısı değerlerine göre hücrelerin yönleri, Tablo 3.2’de verilmiştir. Lağman havzasının bakı haritası, Tablo 3.2’deki açı değerlerine göre sınıflandırılmış olarak Şekil 3.29’da gösterilmiştir.





**Şekil 3.28:** Int komutunun Menüsü

**Tablo 3.2:** Bakı açılarına göre yönler

Bakı Açısı (Derece)	Yön
-1	Düz (Yatay)
338-22	Kuzey
23-67	Kuzey Doğu
68-112	Doğu
113-157	Güneydoğu
158-202	Güney
203-247	Güney Batı
248-292	Batı
293-337	Kuzey Batı

Her bir açı değerine karşılık kaç adet hücrenin bulunduğu, bakı haritasının veri tabanında yer almaktadır. Her bir açı için karşılık gelen hücre sayıları toplanır. Lağman havzası için yönler göre ve toplam hücre sayısı, Tablo 3.3'te verilmiştir.

**Tablo 3.3:** Lağman havzanın yönlere göre hücre sayıları

Yön	Hücre Sayısı
Düz (Yatay)	228
Kuzey (338-22)	115754
Kuzeydoğu (23-67)	86841
Doğu (68-112)	86107
Güneydoğu (113-157)	128119
Güney (158-202)	144885
Güneybatı /203-247)	105858
Batı (248-292)	90165
Kuzeybatı (293-337)	102598
TOPLAM	860555

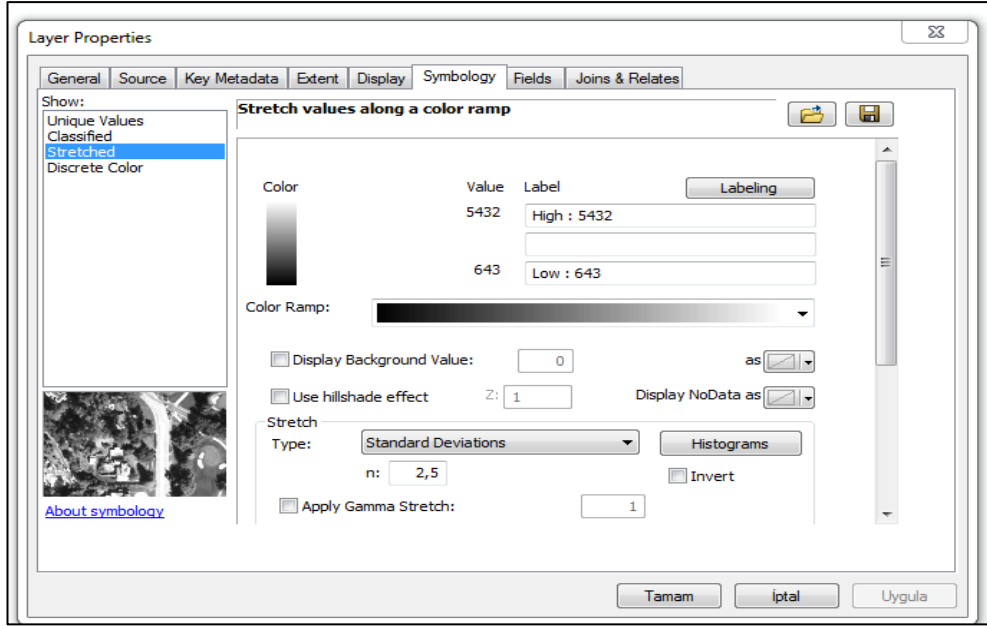
Çalışma kapsamında havzanın kuzey, güney, doğu ve batı yönlerine bakan hücrelerinin sayıları toplanarak toplan hücre sayısına bölünmüştür. Hücre sayılarının yüzdeleri, havza fizyografik parametreleri olarak elde edilmiştir. Tez çalışmasında Lağman havzasının ana yönler için hücre sayısı ve yüzdeleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

**Tablo 3.4:** Lağman havzasının ana yön hücre sayılarının toplam hücre sayısına oranı

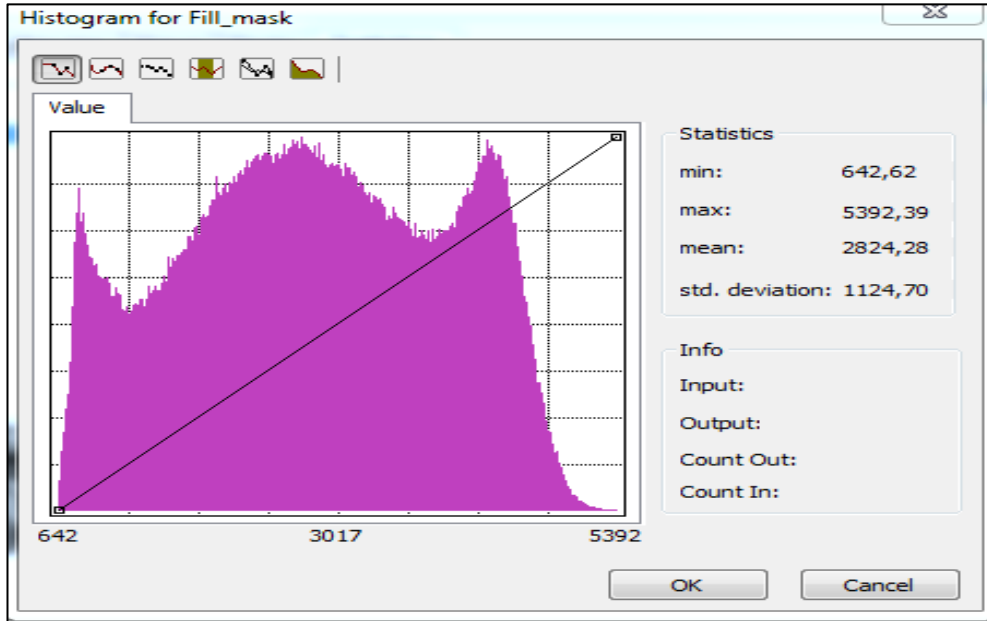
Yön	Hücre	Oran
Kuzey	305193	0.355
Doğu	301067	0.350
Güney	378862	0.440
Batı	298621	0.347

### 3.8.8 Ortalama Yükseklik, Maksimum Yükseklik, Minimum Yükseklik, Kot-Rölyef Oranı

Havzaya ait yükseklik değerleri, en büyük yükseklik ( $Z_{maks}$ ), ortalama yükseklik ( $Z_{mean}$ ) ve en küçük yükseklik ( $Z_{min}$ ) değerleri, “extract by mask” komutuyla elde edilen havzanın sınırlandırılarak çıkarılmış olan sayısal yükseklik modelinden elde edilir. ArcGIS programı, raster tabakaların hücre değerlerinin temel istatistik bilgilerini, “Tabaka Özellikleri” (“Layer Properties”) bölümünde yer alan “Symbology” sekmesinde “Histogram” komutuyla açılan pencerede göstermektedir (Şekil 3.29). Lağman havzasının sayısal yükseklik modelinin istatistikleri, Şekil 3.30’da gösterilmektedir.



Şekil 3.29: Raster tabakada istatistiklerin hesaplanması



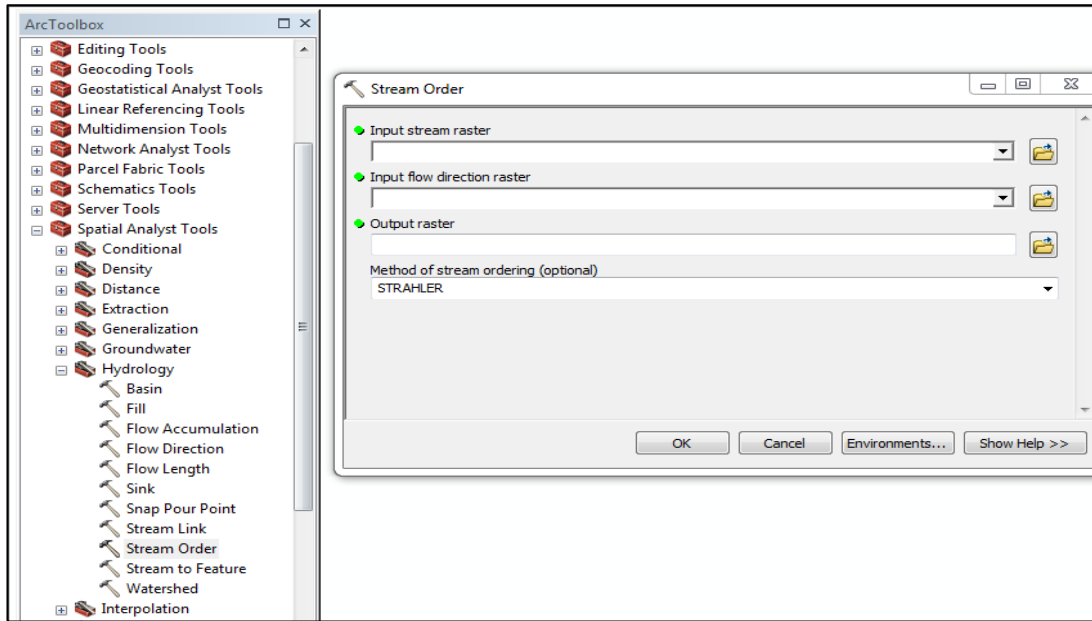
Şekil 3.30: Lağman havzının sayısal yükseklik modelinin istatistikleri

Geomorfolojik parametrelerinden olan hipsometrik integrali elde etmek için Kot – Rölyef oranı (E) (Denklem 3.5) kullanılmış, Lağman havzasının Kot – Rölyef oranı, E = 0.459 olarak elde edilmiştir.

$$E = \frac{(\text{ortalama kot} - \text{Minimum kot})}{(\text{Maksimum kot} - \text{Minimum kot})} = \frac{Z_{\text{mean}} - Z_{\text{min}}}{Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}} \quad (3.5)$$

### 3.8.9 Akarsu Çatallanma Oranının (Stream Order) Hesaplanması

Akarsu çatallanma değeri, geomorfolojik bir parametredir. Horton, Strahler ve Shreve gibi farklı yöntemlerde çatallanma oranları, akarsuların sıralanmasını temsil etmektedir. ArcGIS programında akarsu çatallanma değeri, ArcToolbox'da yer alan "Spatial Analyst Tools" altındaki "Hydrology" kısmında "Stream Order" komutu ile hesaplanmaktadır. "Stream Order" komutunun parametreleri, Şekil 3.31'de görülmektedir.

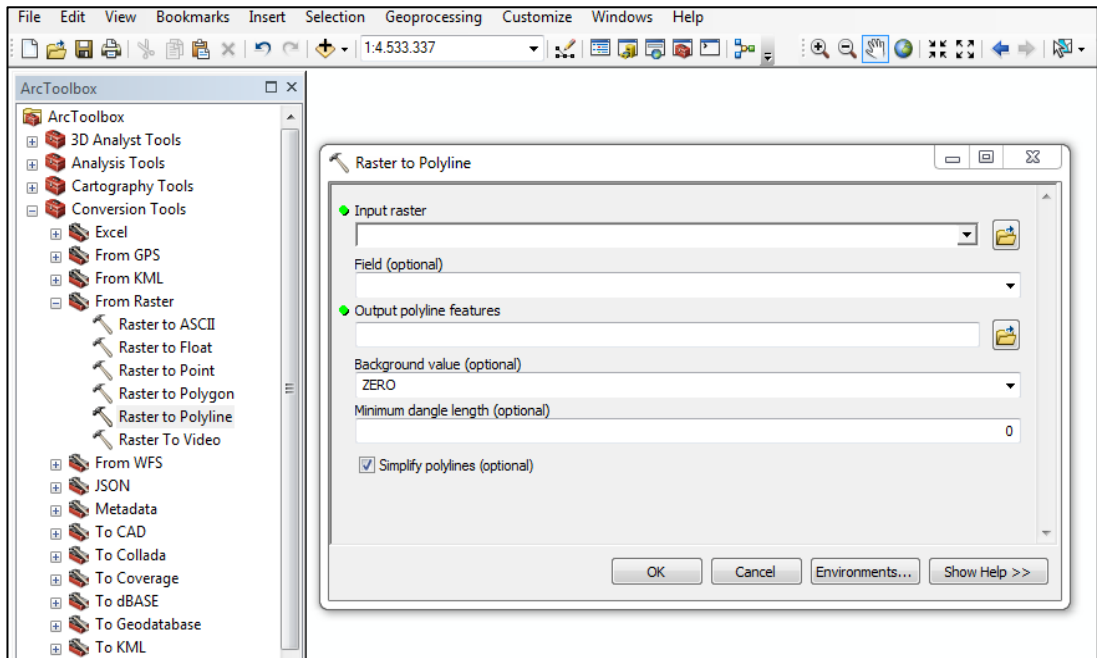


Şekil 3.31: Stream Order komutunun parametreleri

"Input stream raster" bölümünde, "extract by mask" komutuyla elde edilen havza sınırlandırılarak çıkarılmış olan akım toplama ("flow accumulation") tabakası tanımlanmaktadır. "Input flow direction raster" bölümünde "Extract by mask" komutu ile kesilen akım yönü havzanın sınırlandırılan dosyası "Flow direction" tanımlanmaktadır. "Output raster" kısmında ise "Stream Order" komutu ile oluşan raster tabakaya isim verilmektedir. "Method of stream ordering" bölümünde ise "Strahler" ve "Shreve" seçenekleri bulunmaktadır. Bu tez kapsamında, Strahler çatallanma değerleri hesaplanmıştır.

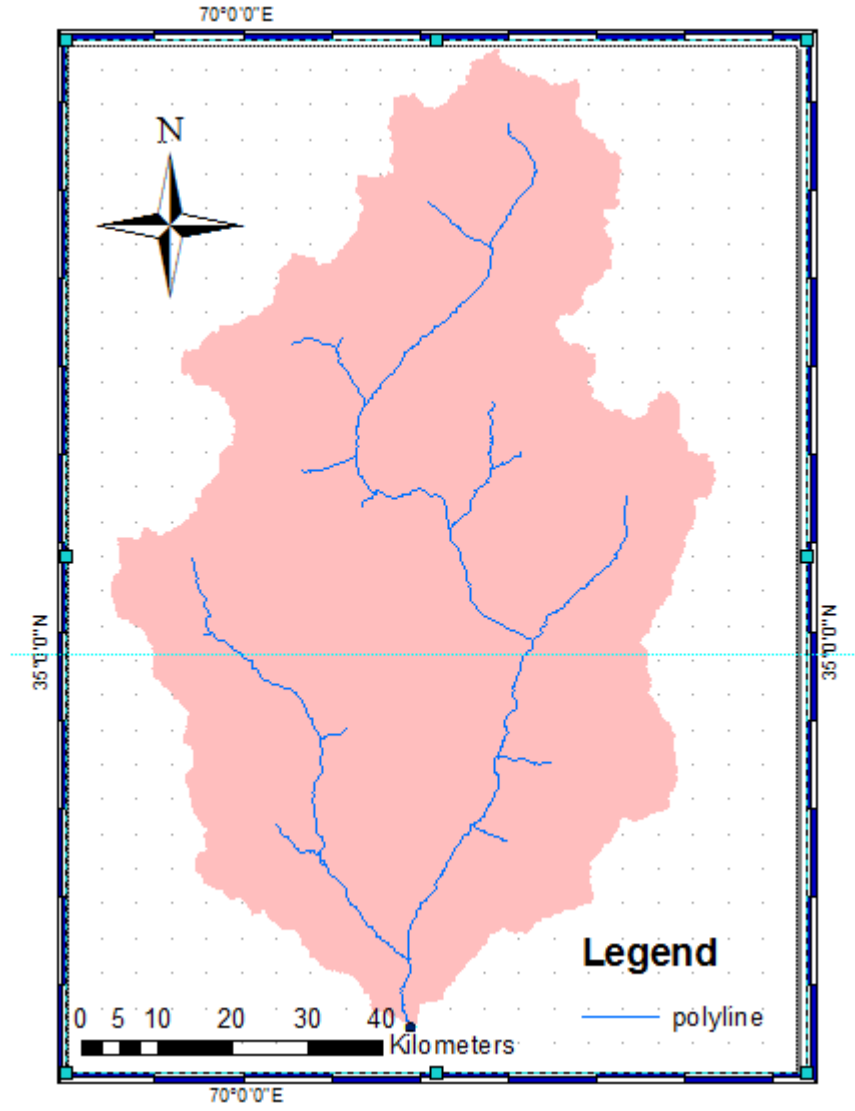
### 3.8.10 Akarsu Uzunluğu Hesaplama

En uzun akarsu kolu, havza çıkışından başlayarak membaya kadar uzanan akarsu koludur. Havzanın önemli fizyografik parametrelerinden olan ana kol uzunluğunu hesaplamak için, elde edilen (“flow accumulation”) tabakası 15000’den küçük olan raster formatındaki akarsu tabakasının vektör olarak çizgi formatına (polyline) çevrilir. Akarsuları vektör bir tabakaya dönüştürme işlemi, ArcToolbox’da Yer alan “Conversion Tools” kısmında “From Raster” bölümünün “Raster to Polyline” komutu ile çalıştırılmaktadır. Vektör olan tabakaya dönüştürme işleminin parametreleri, Şekil 3.32’de görülmektedir.



Şekil 3.32: Vektör formatına dönüştürme işleminin parametreleri

“Input raster” bölümünde, havzanın akım toplama tabakasındaki 15000’den küçük olan hücrelerin silinmesi sonucu elde edilen raster tabaka verilmektedir. “Output polyline features” bölümünde, dönüştürülen çizgi (polyline) formatındaki tabakanın dosya ismi yazılmaktadır. Opsiyonel seçeneklerde bir değişiklik yapılmamıştır. Havzanın çizgi formatındaki akarsularını gösteren harita, Şekil 3.33’te verilmiştir.



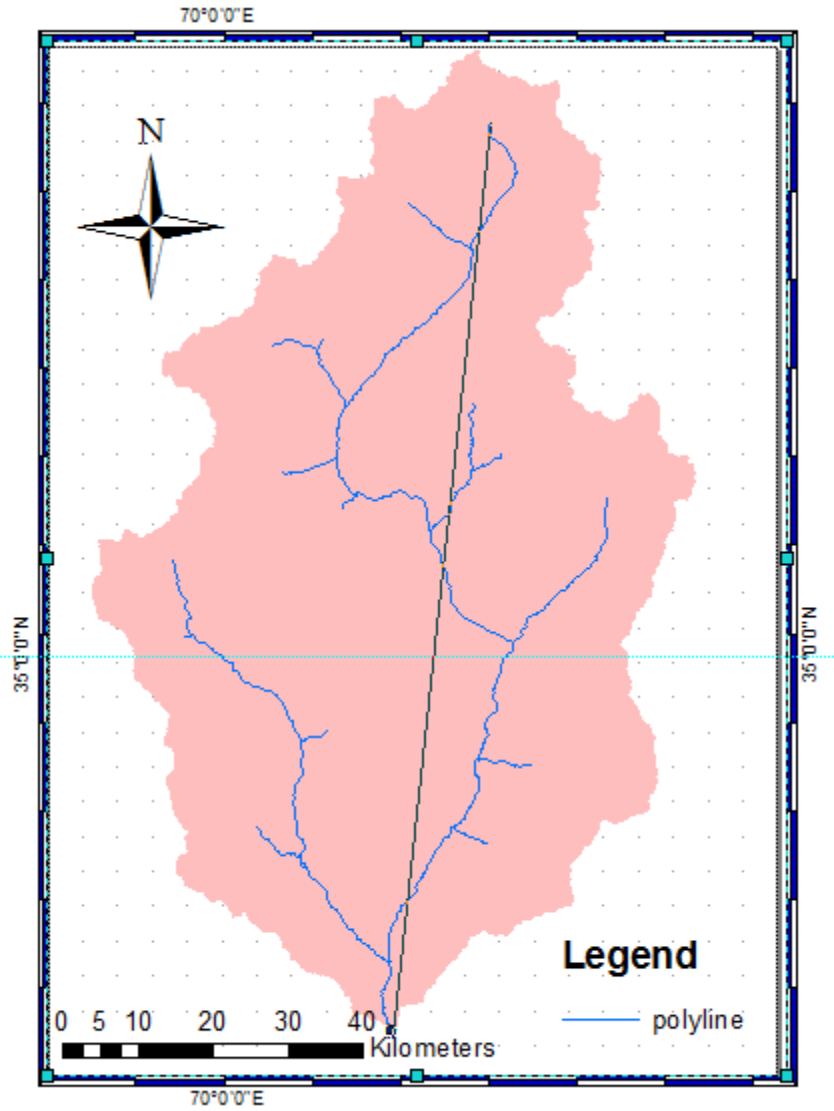
**Şekil 3.33:** Havzanın vektör formatına çevrilmiş akarsuları

Akarsuları vektör formatına çevirme işlemleri yapıldıktan sonra, elde edilen haritanın öznitelikler tablosunda (attribute table), uzunluk isimli ondalık sayı (float) formatında bir sütun (field) oluşturularak “Calculate Geometry” komutu ile çizgi uzunlukları hesaplanmaktadır. Havza çıkış noktasından başlayarak membaya doğru en uzun olanı, ana kol olarak seçilmektedir.

### 3.8.11 Akarsu Ana Kol Kuş Uçuşu Uzunluğu

Kuş uçuşu uzunluk, havza gözlem noktası ile havza ana kol başlangıç noktasının, düz bir çizgi ile birleştirilmesiyle elde edilen uzunluktur. Bu uzunluğun hesaplanması, ArcGIS programının “Measure” komutu ile elde etmektedir. Tez

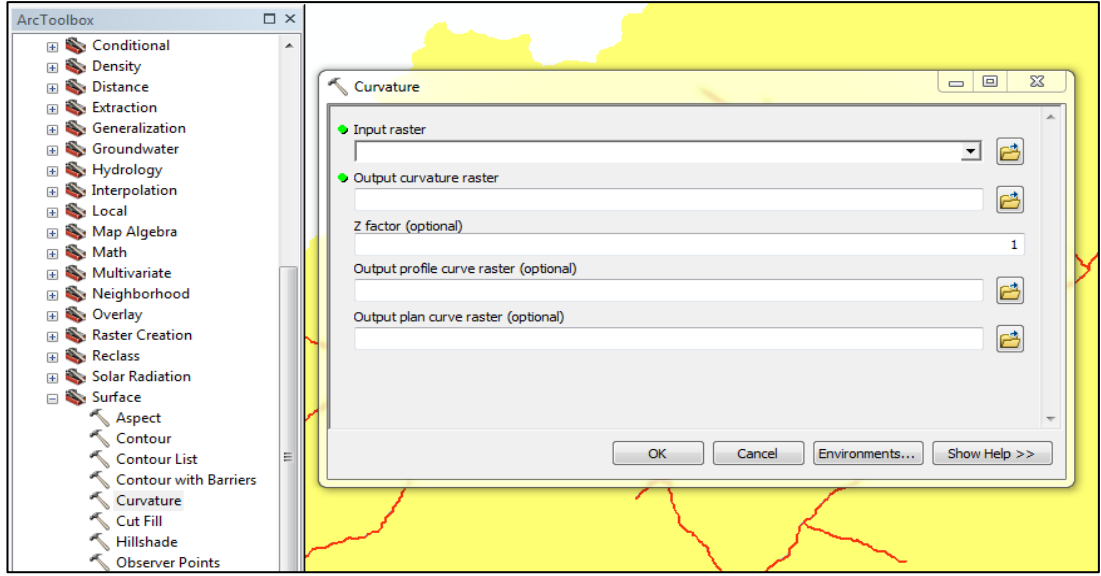
çalışmasında Lağman havza için akarsu kuş uçuşu uzunluğu, (STRL) 97.034357 km olarak ölçülmüş ve Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



Şekil 3.34: Lağman havzası için akarsu kuş uçuşu uzunluğu

### 3.8.12 Eğrilik (Curvature)

Eğrilik, eğimin birinci, yüksekliğin ikinci türevi olarak tanımlanır. Tez çalışmasında, havzaların ortalama profil eğriliklerini ("profile curvature") hesaplamak için ArcGIS programında "Profile Curvature" ArcToolbox'da yer alan "SpatialAnalyst Tools" bölümünde bulunan "Surface" bölümündeki "Curvature" komutu çalıştırılmaktadır. Curvature komutunun parametreleri, Şekil 3.35'te verilmiştir.



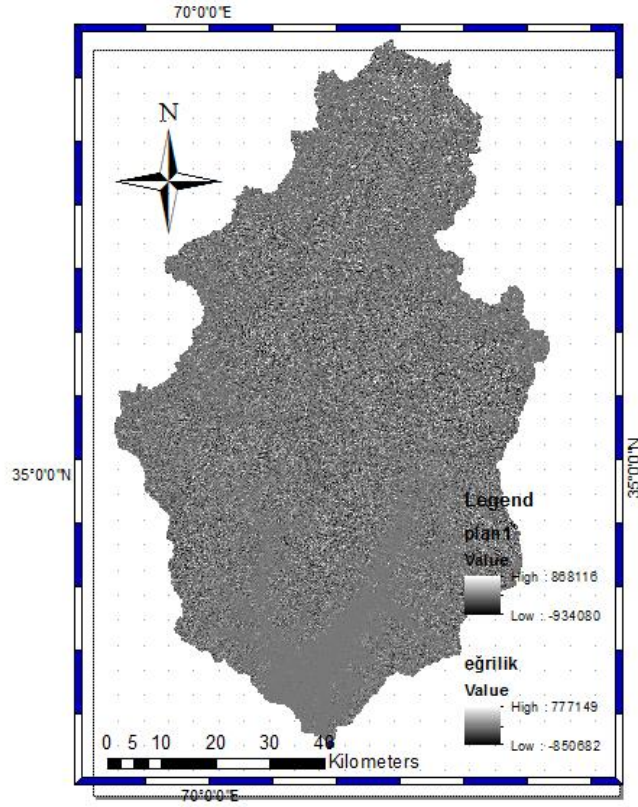
**Şekil 3.35:** Curvature komutunun parametreleri

“Input raster” kısmında “extract by mask” komutuyla elde edilen sayısal yükseklik modeli tabakası tanımlanacaktır. “Output raster” kısmında elde edilecek eğrilik tabakası için isim verilmektedir. “Z factor” kısmında ise sayısal yükseklik modelinin x ve y koordinatlarının birimi ile yükseklik birimi arasındaki oran tanımlanmalıdır.

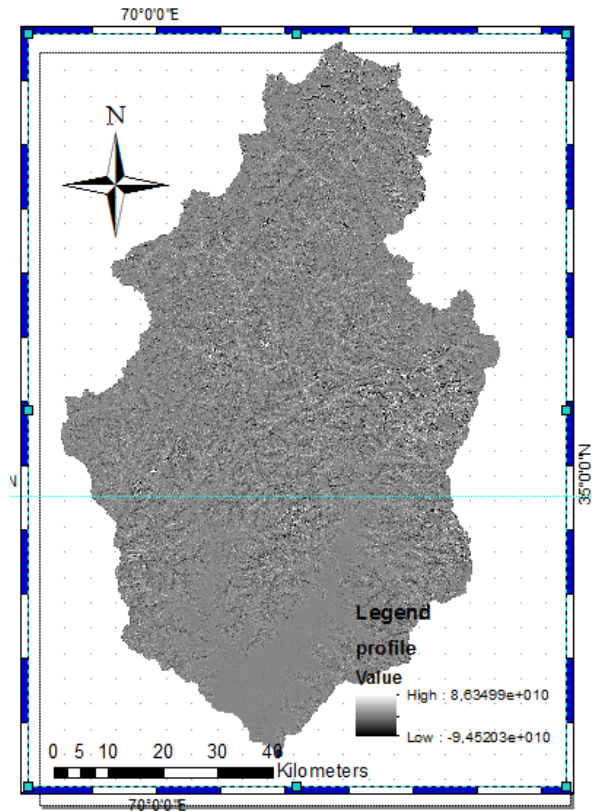
ArcGIS programı ile iki farklı eğrilik hesaplamaktadır. Bunlar “plan curvature” veya “profile curvature”; tek tek veya her ikisi birden oluşturulabilir.

Bu tez kapsamında Lağman havzasının (profile curvature ve plan curvature) haritası Şekil 3.35’te ve Şekil 3.36’da gösterilmiştir.





Şekil 3.36: Profile eğrilğin hesaplanması



Şekil 3.37: Plan eğrilğin hesaplanması

## 4. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi, istatistik biliminin en önemli konularından biridir. Regresyon, değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu ilişkiyi matematiksel fonksiyonlar olarak temsil etmek için regresyon analizi kullanılmaktadır. Regresyon denklemi, regresyon analizi tarafından tanımlanan fonksiyonun sonucudur. Bu denklem içerisinde bulunan bağımlı değişken ve bağımlı olanı tanımlayan, bağımsız değişkenlerdir. Analizin amacı, denklem içerisinde yer alan bağımsız değişkenlerin katsayılarını bulmaktır (Pekpınarlı, 2005).

Bağımlı değişkenler için (y) sembolü ve bağımsız değişkenler için (x) sembolü kullanılmaktadır. Bu çalışmada bağımlı değişkenler, ortalama debi ve maksimum debilerdir. Bağımsız değişkenler ise havza fizyografik parametreleri olarak belirlenmektedir. Not: Havza fizyografik parametreleri, 2. bölümde elde edilen parametrelerdir.

### 4.1 Parametrelerin (Katsayıların) Tahmini

Bir regresyon modeli elde etmek için genel olarak en küçük kareler ve en büyük olasılık (maximum likelihood) şeklinde adlandırılan iki yaklaşımdan birisi kullanılmaktadır. Hata, bir varsayım söz konusu olduğu zaman en büyük olasılık, hata teriminin dağılışı ile ilgili herhangi bir varsayım söz konusu değilse en küçük kareler tekniği ele alınarak parametreler tahmin edilmektedir ([www.frekans.com.tr/tr\\_analizler.html](http://www.frekans.com.tr/tr_analizler.html)).

### 4.2 Regresyon Analizi Yöntemleri

Bağımsız değişken sayısına göre;

1. Doğrusal regresyon analizi (Tek bağımsız değişken)
2. Çoklu regresyon analizi (Birden çok bağımsız değişken)

Fonksiyon tipine göre;

1. Doğrusal regresyon analizi
2. Doğrusal olmayan regresyon analizi olarak gruplara ayrılmaktadır.

### 4.3 Doğrusal Regresyon Analizi

“Tek değişkenli regresyon analizi bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen analiz tekniğidir. Bu analizle bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil eden bir doğru denklemi formüle edilmektedir. Korelasyon analizinde olduğu gibi, regresyon analizinde üzerinde durulan ilişki, değişkenler arasındaki doğrusal ilişkidir” ([www.frekans.com.tr/tr\\_analizler.html](http://www.frekans.com.tr/tr_analizler.html)).

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki, aşağıdaki eşitlikle (Denklem 4.1) ifade edilmektedir.

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon \quad (4.1)$$

$y$ : bağımlı değişken olup belli bir hataya sahip olduğu kabul edilir.

$x$ : bağımsız değişken olup hatasız ölçüldüğü kabul edilir.

$\alpha$ : sabit olup  $x = 0$  olduğunda  $y$ 'nin aldığı değerdir.

$\varepsilon$ : tesadüfi hata terimidir.

$\beta$ : regresyon katsayısı olup,  $x$ 'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişmesine karşılık  $y$  de kendi birimi cinsinden meydana gelecek değişme miktarını ifade eder.

Regresyon analizi sonuçlarının değerlendirilmesinde sıklıkla ciddi hatalar yapılmaktadır. En yaygın hata ise regresyon analizi sonuçlarının analizinde  $x$  bağımsız değişkeninin,  $y$  bağımlı değişkenine sebep olduğu şeklindeki hatalı yorumlardır. Diğer yandan bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında (pozitif ve negatif) bir ilişki söz konusu olduğu zaman, bağımsız değişkenin bağımlı değişkenin sebebi olduğu sonucuna varılamaz. “İki değişken arasında bir ilişkinin olabilmesi için sebepsellik şart değildir. İlişkinin sebebi belki de iki değişkenin üçüncü bir değişkenle olan ilişkilerinden kaynaklanıyor olabileceği gibi, söz konusu ilişki tamamen tesadüfi olarak da ortaya çıkmış olabilir. Sebepsellik ile ilişkiselliğin aynı şeyler olmadığı

unutulmamalıdır. Regresyon analizi değişkenler arasındaki ilişkinin yapısı ve derecesi ile ilgilenmektedir” (Meşe, 2012).

#### 4.4 Çoklu Regresyon Analizi

Çözülen problemde bağımsız değişken sayısının birden fazla olması durumunda, çok değişkenli regresyon analizi ile işlem yapılmaktadır (Eğri, S. 2016). Çok değişkenli regresyon denklemi (4.2),  $y$  bağımlı değişken ve  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$  m tane bağımsız değişken olmak üzere,

$$y = a + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_mx_m + \varepsilon \quad (4.2)$$

Burada  $m$ , değişken sayısıdır.  $a, a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$  çoklu doğrusal regresyon denkleminin katsayılarıdır ve normal dağılıma sahip rastgele değişkenlerdir.  $x_1, x_2, \dots, x_m$  değerleri, örneklemden elde edilen bağımsız değişkenlerdir.  $y$  ise  $y$  değişkeninin modelden elde edilen değeridir.

##### 4.4.1 Bağımsız Değişkenlerin Modelden Çıkarılması-Geriye Doğru Adım Adım Çoklu Doğrusal Regresyon

Tez kapsamında model geriye doğru adım adım çoklu doğrusal regresyon ele alınmıştır. Anlamlı olan bağımsız değişkenlerin modelde bulunması, her adımda yeni bir değişken ekleyerek ve/veya daha önce seçilmiş bir değişkenin modelden çıkarılmasıyla işleyen model tercih edilmiştir. Yöntem ile işlem yapıldığında, aralarında kuvvetli ilişkiler bulunmayan bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkeni en çok etkileyen (modelde bulunması anlamlı) değişkenler belirlenmiş olmaktadır. Bu yüzden, modelde bulunması gereken tüm bağımsız değişkenler ile kurulan modelde çoklu doğrusal bağlantı saptanmışsa, bu duruma neden olan bağımsız değişkenlerin elenmesi için kullanılacak bir yöntem olmaktadır (Doğmaz, 2018).

Adım adım regresyon, iki tür yaklaşım analizinden oluşmaktadır. Birincisi, ileri doğru adım adım regresyon; ikincisi ise geriye doğru adım adım regresyondur. Bu çalışmada, ele alan analizde geriye doğru adım adım regresyon modeli ile işlem yapılmıştır.

Geriyeye doğru adım adım regresyonda, öncelikle bütün bağımsız değişkenler birlikte değerlendirilir ve bir regresyon analizi yapılır. Bağımsız değişkenler için denklem (4.3) ile hata kareleri toplamı elde edilmektedir ( $RSS_2$ ). Daha sonra bir bağımsız değişken ele alınır ve bütün parametreler için hata kareleri toplamı elde edilir ( $RSS_1$ ). Elde edilen değerler, denklem 4.3'te yerine konularak elde edilen parametrenin F değeri hesaplanmıştır (Denklem 4.4). Elde edilen parametre tekrar hesaba katılır ve başka bir parametre için hesap yapılarak aynı yöntemle bu durum için de F değeri hesaplanır (Doğmaz, 2018).

Tüm parametreler tek tek çıkarılır ve elde edilen F değeri ile karşılaştırılır; parametre regresyon analizinde en küçük F değerinden çıkartılır. Bu parametre modelden çıkarıldıktan sonra, aynı işlem geriye kalan parametrelerle tekrarlanır.

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1x_{i,1} - b_2x_{i,2} - b_3x_{i,3} - \dots - b_kx_{i,k}) \quad (4.3)$$

$$F = \frac{\frac{RSS_1 - RSS_2}{P_2 - P_1}}{\frac{RSS_2}{n - P_2}} \quad (4.4)$$

$p_1, p_2$ : parametre sayısı,

$n$ : veri sayısı

#### 4.4.2 Regresyon Modelinin Performans Analizi

Tez kapsamında elde edilen regresyon modellerinin performansı için üç farklı gösterge ele alınmıştır. Bunlar, determinasyon (belirlilik) katsayısı, tahminin standart hatası ve düzeltilmiş determinasyon katsayısıdır.

##### 4.4.2.1 Belirlilik Katsayısı ( $R^2$ ) ve Düzeltilmiş Belirlilik Katsayısı ( $R^2_{adj}$ )

“Parametreler tahmin edildikten ve en küçük kareler doğrusu belirlendikten sonra, bu doğrunun  $x$  ve  $y$ 'nin gözlem değerlerini ne kadar iyi tahmin ettiği bulunmalıdır. Yani gözlemlerin, regresyon doğrusu etrafındaki dağılımları hesaplanmalıdır. Gözlemler doğruya ne kadar yakınsa,  $y$ 'deki değişimin bağımsız değişkendeki değişimleri izah etmesi de o kadar başarılıdır. Bu başarının bir ölçüsü,

bağımlı değişkendeki toplam değişimin (varyansın) yüzde kaçının bağımsız değişken(ler) x tarafından açıklanabildiğini gösteren korelasyon katsayısının karesi olan determinasyon (belirlilik) katsayısı ( $R^2$ )'dir. Denklem (4.5) yardımıyla belirlilik katsayısı hesaplanabilir” (Doğmaz, 2018).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.5)$$

$\bar{y}$ : gözlenen değerlerin ortalaması,

$n$ : veri sayısı,

$y_i$ : gözlenen değerler,

$\hat{y}_i$ : modelden elde edilen sonuçlar.

$R^2$  kullanımı çoklu modellerde uygun olmadığında, çoklu modellerde, modele yeni bir değişken değer ilave edildiği zaman  $R^2$  değeri her zaman artış göstermektedir. Bu yüzden düzeltilmiş çoklu belirlilik ( $R^2_{adj}$ ) katsayısı ile işlem yapılmaktadır” (Denklem 4.6)

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-p-1} \quad (4.6)$$

$R^2$ , çoklu belirlilik katsayısı;

$n$ , örnek olarak seçilen gözlem sayısı

$p$ , modeldeki değişken sayısı

$R^2$  ile  $R^2_{adj}$ , 0 ile 1 arasında değerler alır. 1'e yakın değerler olması regresyon modelinin uygun olduğunu göstermektedir.

#### 4.4.2.2 Tahminin Standart Hatası (SEE)

Kareler toplamı (SSE) hesaplama işlemleri yapıldıktan sonra, tahminin standart hatası elde edilebilmektedir. SSE, regresyon doğrusu ile noktalar arasındaki farkların karelerinin toplamını verir (Denklem 4.7).

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.7)$$

Bir veriye ne kadar uyduğunu göstermek için regresyon doğrusu, bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Eğer hata sıfıra yaklaşıyorsa hata değişkeninin standart sapması da küçük olur. Bu yüzden, hata değişkeninin standart sapma değeri, doğrusal model kullanmanın uygunluğunun bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. SEE'deki değer (Denklemler 4.8), standart sapmanın tahmincisi olarak kullanılmaktadır (Doğmaz, 2018).

$$SEE = \sqrt{\frac{SEE}{n-2}} \quad (4.8)$$

## 5. HAVZA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Kabil ana havzasına ait alt havzaların fizyografik parametreleri, bu bölümde CBS yazılımı ile belirlenmiştir.

Önceki bölümde bahsedildiği gibi, Kabil havzasında 20 yıldan daha fazla gözlem değerine sahip havzaların fizyografik parametreleri hesaplanmıştır.

Bölüm 3'te, fizyografik parametrelerin hesap aşamaları detaylı olarak açıklanmış ve Lağman havzası için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Uygulama alanında gözlem değeri olan 9 adet alt havzaya ait fizyografik parametreler, Tablo 5.1'de verilmiştir. Tablolarda verilen havza fizyografik parametreleri, CBS yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.



**Tablo 5.1:** Havza fizyografik parametrelerinin değerleri

NO	Parametre	Havza Alan	Havza Çevre	Havza Yükseklik		Havza Ağırlık merkezi		Havza Uzunluğu	Ana Kol uzunluğu	Ana kol kuş uçuşu uzunluğu	Sinüozite	Akarsu çatallanma oranı	Ağırlık merkezi ile çıkış nokta arasında mesafesi
		(A)	(P)	H <sub>ort</sub>	H <sub>mak</sub>	X	Y						
	AGİ	km <sup>2</sup>	km	(m)	(m)	UTM	UTM	(LB) km	km	km	Boyutsuz	(S T R)	km
1	Nawabad	13947.5	709.46	3189.40	7479.92	710000	3934000	296.488	300.178	182.49	1.645	10	89.432
2	Pul-i-Behsod	39335.5	1483.15	2676.02	5429.72	523459	3829810	534.283	539.322	272.93	1.976	10	104.65
3	Sultan Por	2608.76	302.583	2355.27	4686.86	579300	3785260	114.411	119.123	85.46	1.394	8	46.75
4	Pul-i-Qarghayi	6212.62	453.283	2824.28	5432	615455	3885492	187.290	191.727	124.83	1.536	10	63.801
5	Naghlo	27826.2	1365.48	2794.78	5429.72	491296	3822770	438.918	450.785	221.91	2.031	10	78.576
6	Bagh-I-omomi	3544.29	379.148	3641.76	5429.72	574617	3923550	136.165	143.239	107.068	1.338	9	59.63
7	Tangi-I-gulba	3539	377	2360.28	7695	574540	3923690	136.050	145.192	107.997	1.344	8	58.861
8	Bag-I-lala	434.887	100.676	3041.68	4717.79	514000	3905000	41.355	47.321	24.41	1.939	8	16.41
9	Pul-i-Ashawa	4038.89	342.184	3066.96	4829.38	468278	3864380	146.653	151.342	92.57	1.635	9	46.15

**Tablo 5.1 (devam):** Havza fizyografik parametrelerinin değerleri

NO	Parametre	Havza çıkış nokta koordinatları		Havza çıkış noktasının kotu	Havza Rölyefi	Havza Eğim	Kot Rölyef oranı	Kuzey Oranı	Doğu Oranı	Güney Oranı	Batı Oranı	Maksimum Debi	Ortalama Debi
		X	Y	M	(R <sub>f</sub> )	%	KR	DR	GR	BR	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	Boyutsuz
1	Nawabad	694144	3855100	792.03	6687.89	25.45	0.359	0.330	0.365	0.339	3232	508	0.358
2	Pul-i-Behsod	634193	3812060	555.456	4874.26	30.78	0.375	0.357	0.378	0.329	878	151	0.435
3	Sultan Por	619085	3808960	684.584	4002.28	15.01	0.501	0.413	0.310	0.263	730	4.65	0.417
4	Pul-i-Qarghayi	634107	3812180	643	4789	22.28	0.455	0.378	0.358	0.322	98.6	10.02	0.459
5	Naghlo	565819	3833040	1002.98	4426.74	27.12	0.355	0.350	0.440	0.347	676	57	0.405
6	Bagh-I-omomi	526008	3891420	1660.19	3769.53	23.14	0.363	0.350	0.373	0.337	990	84.3	0.526
7	Tangi-I-gulba	526315	3890730	1605	6090	24.22	0.369	0.345	0.418	0.372	41.8	3.88	0.124
8	Bag-I-lala	520021	3889790	1695.85	3021.94	23.00	0.371	0.342	0.332	0.312	400	48.05	0.445
9	Pul-i-Ashawa	512940	3882850	1605.65	3223.73	17.33	0.352	0.400	0.385	0.370	210.0	20.2	0.453

Tablolarda verilen sonuçlara göre, CBS yardımıyla hesaplanan, havzanın analizlerde kullanılan havza alanı parametresi, alt havzalar için 434.887 km<sup>2</sup> ile 1180.6 km<sup>2</sup> arasında ve havza çevreleri, 100.676 km ile 1483.15 km arasında değişmektedir. Tabloda verilen havza kot değerlerine göre, havza maksimum kot değeri 4686.86m ile 7479.92 m arasında ve buna benzer şekilde alt havzalar için hesaplanan ortalama kot ( $H_{ort}$ ) değerleri incelendiğinde, 2355.27 m ile 3641.76 m arasında değişiklik göstermektedir.

Havzada hidrografın şeklini etkileyen ve konsantrasyon süresi ve havzaya ait boyutsuz büyüklüklerin hesaplanmasında kullanılan havza uzunluğu ( $L_b$ ) parametreleri incelendiğinde, alt havzalar için havza uzunluğunun 41.355 km ile 534.283 km arasında değiştiği görülmüştür.

Strahler havza rölyefi, havza içindeki en yüksek ve en düşük yükseklik arasındaki maksimum dikey farkı göstermektedir. Tarif edildiği parametre, havzadaki arazinin geçirgenliği ve gelişiminde, havza arazi şekillerinin ortaya konulmasında, yüzey ve yeraltı su akışı, drenajın oluşumu hususlarında önemli etkisi olan bir parametre olarak belirlenmektedir.

Bu parametrenin elde edilmesinden de görüldüğü gibi, kot farkının fazla olduğu yani yüksek rölyef değeri, arazide dik eğimlerin olduğuna, bu hususun da yüksek akım eğimlerine ve hızlarına sebep olması nedeniyle geçiş süresinin azalmasına, pik taşkın debisinin artmasına sebep olmaktadır (Uçar, 2018).

Tez çalışmasında havza rölyefi değeri, akım gözlem değeri olan alt havzalar için 3021.94 ile 6687.89 değerleri arasında değişmektedir.

Tabloda verilen Rölyef Oranı ( $R_r$ ) parametresi için elde edilen sonuçlara göre, akım gözlem değeri olan alt havzalar için 0.124 ile 0.526 değerleri arasında değişim göstermektedir.

Akarsu Ana Kol Uzunluğu, ( $L_m$ ) parametresi gözlem değeri olan alt havzalarda 47.321 km ile 539.322 km arasında değişmektedir. Tez çalışmasında tabloda verilen değer parametreleri, ArcGIS uygulaması kullanılarak elde edilmiştir.

## 5.1 Regresyon Analizi Bulguları

Kabil havzalarının fizyografik parametrelerini hesaplayabilmek ve parametrelerden elde edilen sonuçları analiz etmek için regresyon analizi ile işlem yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında yer alan 9 havzadan Lağman havzası üzerinden Bölüm 3'te detaylı bir şekilde adım adım gösterilerek, 9 havzanın regresyon analizi yapılabilmesi için gereken havza fizyografik parametreleri elde edilmiş ve Tablo 5.2'de verilmiştir. Kabil alt havzaları için elde edilen fizyografik parametreler, tanımlayıcı istatistikler,  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile Pearson korelasyon katsayıları birlikte gösterilmiştir.

**Tablo 5.2:** Parametrelerin tanımlayıcı istatistikleri ve  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile Pearson korelasyon katsayıları.

Parametre	Ortalama	Standart Sapma	Maks	Min	Pearson Korelasyon Katsayıları	
					$Q_{ort}$	$Q_{maks}$
A	11276.405	13503.17758	434.89	39335.50	0.227	0.294
P	612.5516	487.43693	100.68	1483.15	0.222	0.271
H_ORT	2883.3811	408.41518	2355.27	3641.76	0.360	0.374
H_MAX	5681.1233	1128.33281	4686.86	7695.00	0.450	0.536
GX	561216.1111	73266.56345	468278.00	710000.00	0.693	0.675
GY	3874883.5556	52624.77985	3785260.00	3934000.00	0.274	0.376
LB	225.7348	11	41.36	534.28	0.294	0.357
L_ANAKOL	232.0254	164.82993	47.32	539.32	0.288	0.350
L_KUŞUÇ	135.5183	76.59012	24.41	272.93	0.354	0.411
$R_r$	0.4024	0.11381	0.12	0.53	-0.031	0.047
$R_f$	4542.8189	1230.9680	3021.94	6687.89	0.542	0.616
SLP	23.1478	4.76083	15.01	30.78	0.258	0.389
SIN	1.6487	0.27493	1.34	2.03	0.151	0.061
G_AGI	7144.6066	21246.164	16.41	63801.00	-0.273	-0.206
AGI_X	581403.5556	65665.867	512940.00	694144.0	0.660	0.661
AGI_Y	3852903.333	36791.271	3808960.0	3891420.0	-0.061	-0.022
AGİ_KOTU	1138.3044	493.52785	555.46	1695.85	-0.325	-0.310
STR	9.1111	0.92796	8.00	10.00	0.403	0.478
BAKİ_K	0.3889	0.05235	0.35	0.50	-0.208	-0.325
BAKİ_D	0.3628	0.02811	0.33	0.41	-0.437	-0.437
BAKİ_G	0.3732	0.03972	0.31	0.44	-0.121	-0.033
BAKİ_B	0.3323	0.03281	0.26	0.37	-0.067	0.086
$Q_{ort}$	98.5667	160.71556	3.88	508.00	1	0.968
$Q_{maks}$	806.2667	971.57474	41.80	3232.00	0.968	1

Tez kapsamında beşinci bölümde, kabil havzalarının fizyografik parametreleri arasında çoklu doğrusal regresyon analizi çalışması yapılmıştır. Regresyon katsayılarını tahmin etmek için değişkenlerin alt kümesi elde edildikten sonra artıkları incelemek vb., için çoklu regresyon analizi gerçekleştirilmelidir. Regresyon modelinin

performans analizi için ilk başta her bir havza için uzun dönem anlık maksimum debi ( $Q_{maks}$ ) ve ortalama debi ( $Q_{ort}$ ) ile yüksek korelasyonu olan parametreler arasında geriye doğru adım adım regresyon analizi için tüm değişkenler model denkleminde dahil edilir. Regresyon modelinin her bir aşamasında F değerine göre birer tane parametre işlemden çıkartılarak son parametre kalana kadar işlem devam ettirilmiştir. Regresyon modelinin performans analizi için gereken parametreler ( $R^2$ ,  $R^2_{adj}$  ve SEE), Sigma Plot programıyla geriye doğru adım adım regresyon analizi sürecinin her aşamasında hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında, adım adım çoklu regresyon ile işlem yapılmıştır. Bu yöntemin kullanılma amacı, ileri seçim ve geriye doğru eleme yönteminin birleşiminin sonuçlarının elde edilmesidir. Çalışmada Kabil alt havzaları için her birinin havza fizyografik parametreleri, asıl değerleriyle  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  arasında yapılan regresyon modellerinin performans parametrelerinin modellere göre değişim göstererek en iyi modelin elde edilmesi ile belirlenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan veriler, Kabil alt havzaları fizyografik parametreleri yıllık istatistiklerinden alınmıştır. Alınan veriler, SigmaPlot programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Havza fizyografik parametreleri ile  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  arasında en yüksek korelasyonu olan parametreler arasında geriye doğru adım adım regresyon analizi ile elde edilen sonuçlar, Tablo 5.3'te verilmiştir. Analizde  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile en yüksek korelasyonu olan parametrelerin her biri için kaldırıldıkları adım sayıları ve en iyi model katsayıları belirlenmiş ve Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.3:** Havza fizyografik parametreleri ile  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  arasında en yüksek korelasyonu olan parametreler.

NO	Parametrenin Sembolü	Parametrenin Açıklaması
1	A	Havza alanı ( $km^2$ )
2	P	Havza çevre uzunluğu (km)
3	L_ANA KOL	Akarsu Ana Kol uzunluğu
4	L_KUŞ UÇ	Akarsu ana kol kuş uçuşu uzunluğu
5	AGİ KOT	Havza çıkış noktasının kotu
6	S T R	Akarsu çatallanma oranı
7	SLP	Havza eğimi

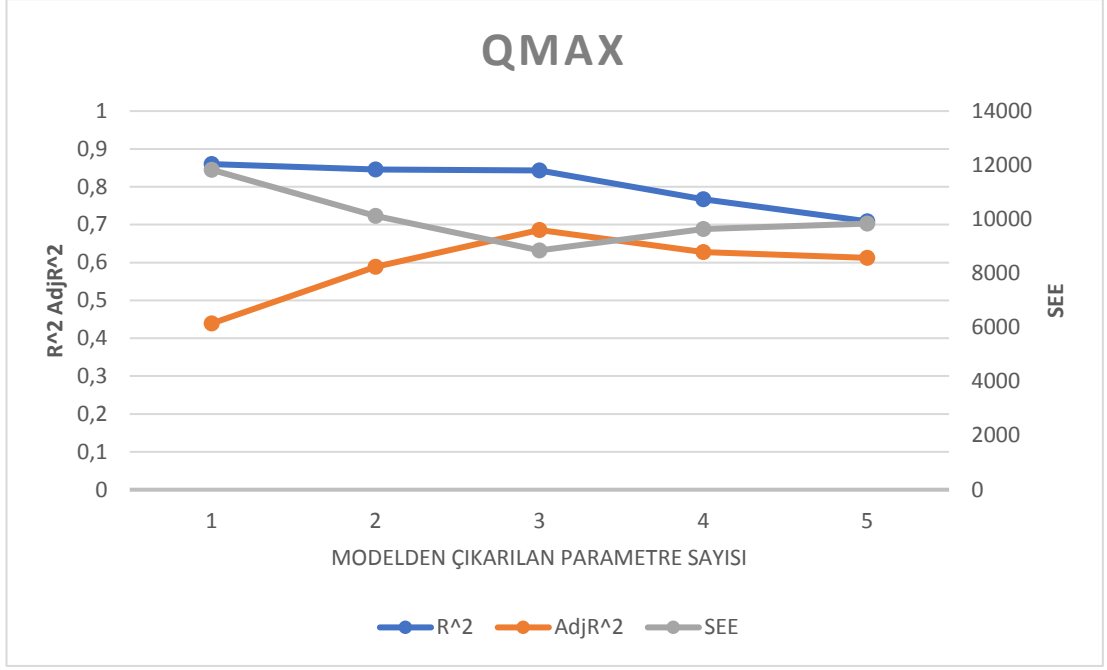
**Tablo 5.4:** Parametrelerin kaldırıldığı adım numaraları ve en iyi modellerin katsayıları.

Parametre	Q <sub>maks</sub> için kaldırıldığı adım sayısı	Q <sub>maks</sub> için en iyi modelin katsayıları	Q <sub>ort</sub> için kaldırıldığı adım sayısı	Q <sub>ort</sub> için en iyi modelin katsayıları
SABİT		5566,293		-285.512
A	3		4	
P	4			-1.656
L_ANA KOL		-102,686		4.969
L_KUŞ UÇ	2		3	
AGİ_KOT		-30,146	1	
(S T R)	5	6611,200	2	
SLP	1		5	10.594

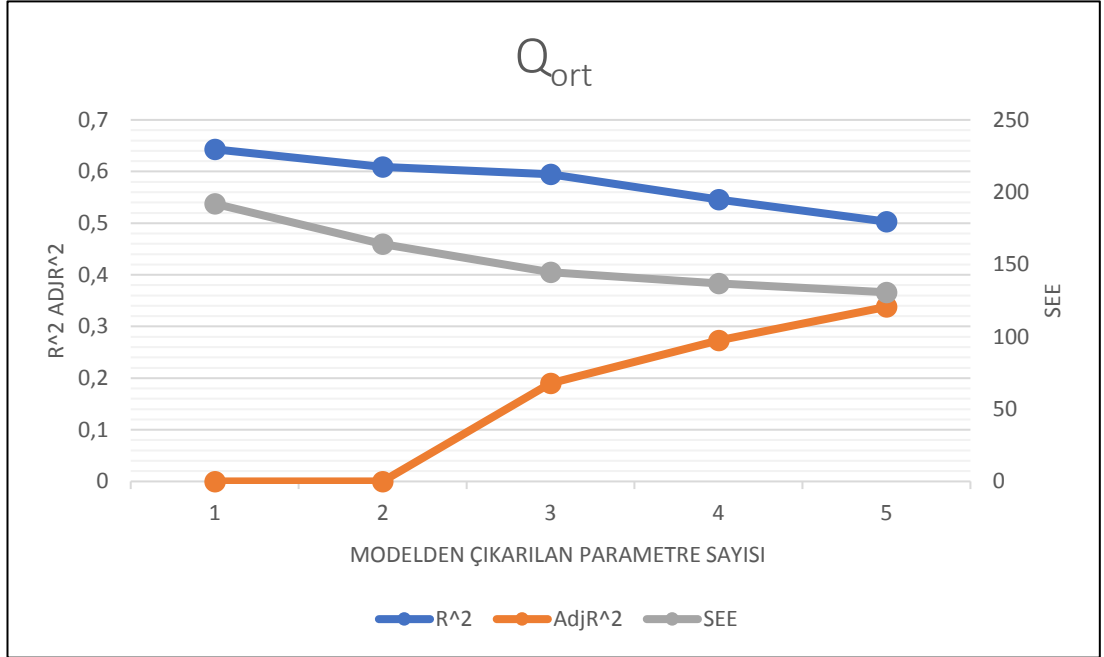
Tez çalışmasında, uygulama alanında akım gözlem istasyonu olan 9 adet alt havza için Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de gösterilen havza fizyografik parametreleri, CBS yazılımı ile belirlenmiştir.

Regresyon modelinin performans analizi için ilk başta her bir havza için uzun dönem anlık maksimum debi (Q<sub>maks</sub>) ve ortalama debi (Q<sub>ort</sub>) ile yüksek korelasyon hesaplanmış ve Tablo 5.5’te gösterildiği gibi 9 adet fizyografik parametre belirlenmiştir.

Geriye doğru adım adım regresyon analizinde seçilen 7 adet fizyografik parametreden Q<sub>maks</sub> için en iyi modelin katsayıları; Havza alanı (A), Havza çevresi (p), Havzadaki akım gözlem istasyonunun kotu (AGİ\_KOT), Havzanın akarsu ana kol uzunluğu (L\_ANA KOL), Havzanın akarsu ana kol kuş uçuşu uzunluğudur (L\_KUŞ UÇ). Havzanın çıkarılmış akım toplama haritasından elde edilen (STR) ve havzanın eğimi (SLP), Tablo 5’te gösterilmiştir. En iyi modelin seçiminde belirlilik katsayısı (R<sup>2</sup>), düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R<sup>2</sup>adj) ve Standart Tahmin Hatası (SEE) değişimi ile Q<sub>maks</sub> ve Q<sub>ort</sub> arasında geriye doğru adım adım regresyon analizi sonucunda en iyi modelin hangisi olduğu Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterildiği gibi Q<sub>maks</sub> için 3 parametrelili olan Model 4 ve Q<sub>ort</sub> için 5 parametrelili olan Model 2, en iyi modeller olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Q<sub>maks</sub> için performans analizi



Şekil 5.2: Q<sub>ort</sub> için performans analizi.

Benzer işlem, parametrelerin küp köklerinin tersleri alınarak elde edilen değerler için de yapılmış ve Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.5:** Parametrelerin kp köklerinin terslerinin tanımlayıcı istatistikleri ve  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile aralarındaki Pearson korelasyon katsayıları

Parametre	Ortalama	Standart Sapma	Maks	Min	Pearson Korelasyon Katsayıları	
					$Q_{ort}$	$Q_{maks}$
A	0.0619	0.03045	0.13	0.03	0.157	0.157
P	0.1337	0.03784	0.09	0.21	0.195	0.133
H_ORT	0.0705	0.0033	0.00800	0.0600	0.472	0.171
H_MAX	0.0564	0.0034	0.0600	0.0500	-0.279	-0.402
GX	0.0122	0.00051	0.01	0.01	0.089	0.366
GY	0.0064	0.00003	0.01	0.01	-0.242	-0.373
LB	0.1837	0.04934	0.29	0.12	0.202	0.162
L_ANAKOL	0.1805	0.04588	0.28	0.12	0.207	0.153
L_KUŞUÇ	0.2121	0.5577	0.34	0.15	0.129	0.128
R <sub>r</sub>	1.3967	0.23277	2.01	1.24	0.711	0.758
R <sub>f</sub>	0.0612	0.00541	0.07	0.05	-0.15	-0.051
SLP	0.3541	0.02656	0.41	0.32	0.084	-0.178
SIN	0.8511	0.04684	0.91	0.79	0.38	0.127
G_AGI	0.2397	0.09639	0.39	0.03	-0.242	0.403
AGI_X	0.012	0.00044	0.01	0.01	0.389	0.695
AGI_Y	0.0064	0.00002	0.01	0.01	-0.232	-0.707
AGİ KOTU	0.0998	0.01539	0.12	0.08	-0.284	-0.706
STR	0.4798	0.0166	0.5	0.46	0.351	0.416
BAKI_K	1.3744	0.05552	1.42	1.26	-0.104	0.594
BAKI_D	1.4037	0.0351	1.45	1.34	-0.12	0.296
BAKI_G	1.392	0.04962	1.48	1.31	-0.297	-0.607
BAKI_B	1.3008	0.43606	1.56	0.15	-0.434	0.342
$Q_{ort}$	0.1451	0.06889	0.29	0.07	1	0.605
$Q_{maks}$	0.2381	0.18637	0.64	0.03	0.605	1

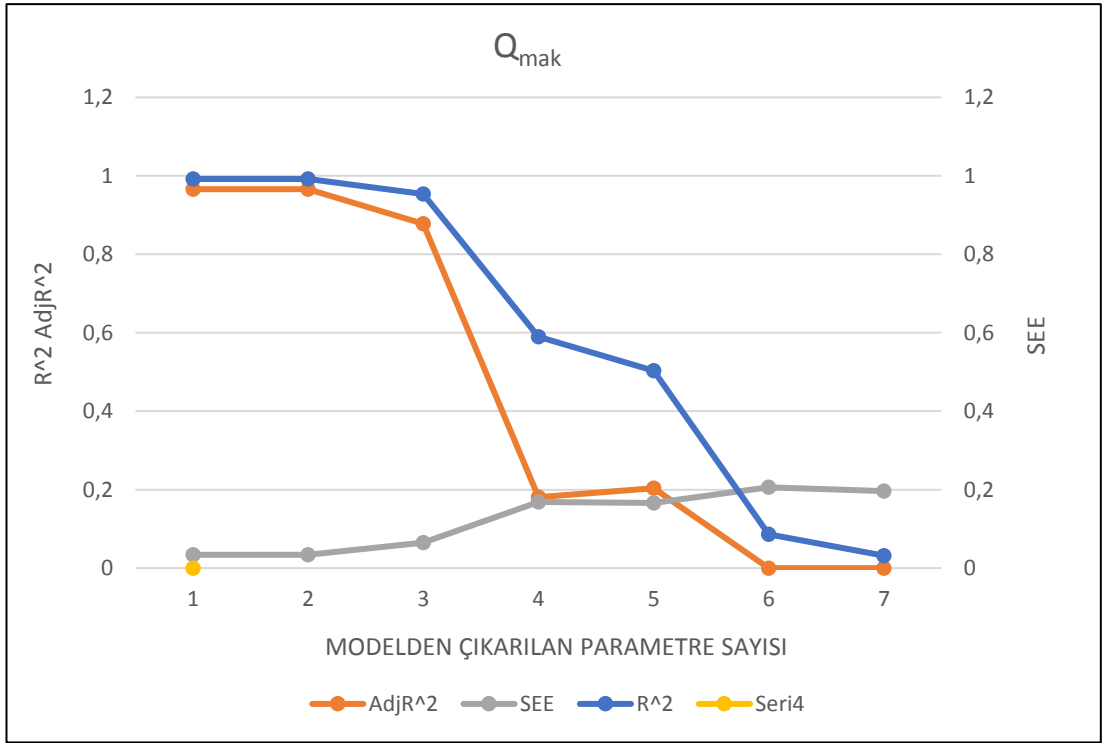
SigmaPlot programı ile regresyon analizi için CBS programı aracılığıyla her havza için fizyografik parametreler elde edilmiştir. Regresyon analizi yapmak için ArcGIS programı kullanılarak bulunan fizyografik parametreler ile her bir havzanın  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  değerleri arasında yüksek korelasyona sahip parametreler belirlenmiştir.  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile Tablo 5.6’da verilen en yüksek korelasyona sahip olan parametreler arasında, SigmaPlot programı ile regresyon analiz işlemi yapılmıştır. Tablo 5.6’da  $Q_{maks}$  için en iyi modelin seçiminde F değeri 3.90 olduğundan dolayı adım sayısı yediden dörde düşürülmüştür.  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile seçilen yüksek korelasyon olan parametreler arasında regresyon analiz sonucunda elde edilen  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile yüksek korelasyonu olan parametrelerin her biri için kaldırıldıkları adım sayıları ve en iyi model katsayıları belirlenip Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

**Tablo 5.6:** Parametrelerin küp köklerinin tersleri ile yapılan regresyon analizinin sonuçları

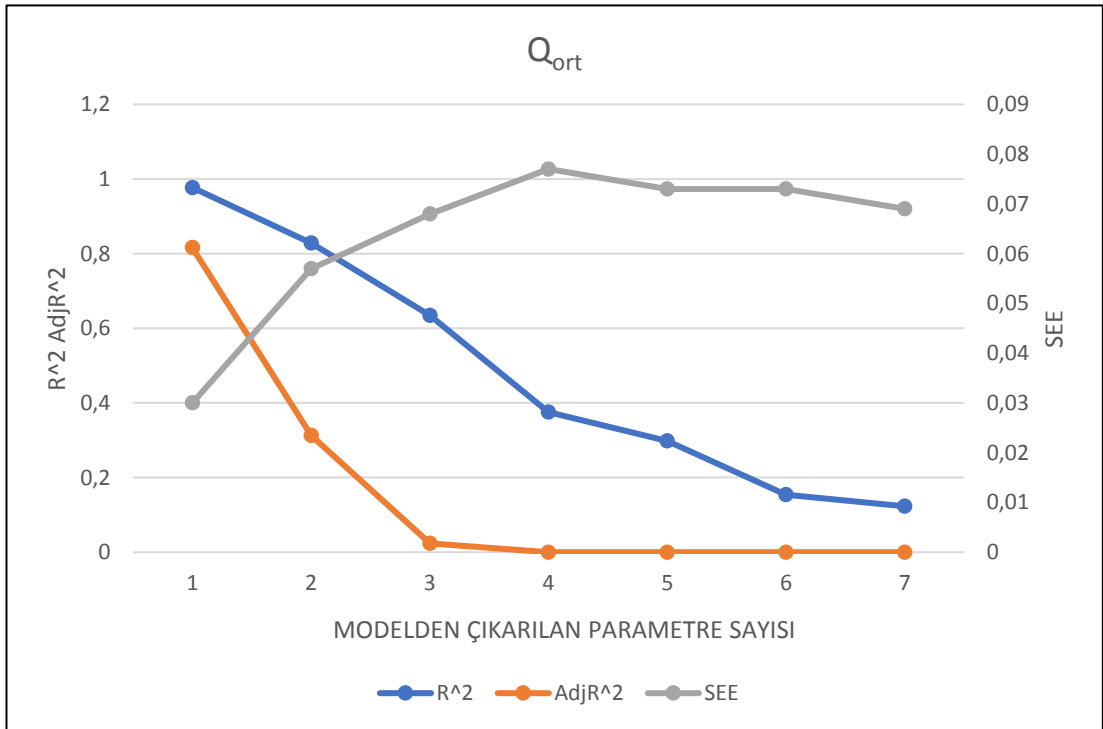
Parametre	$Q_{maks}$ için kaldırıldığı adım sayısı	$Q_{maks}$ için en iyi modelin katsayıları	$Q_{ort}$ için kaldırıldığı adım sayısı	$Q_{ort}$ için en iyi modelin katsayıları
SABİT		0.817		-0.938
A	6	1.537	6	-0.626
P	1		1	
L_ANA KOL	3			
L_KUŞ UÇ	4		3	
AGİ_KOT	2		2	
(S T R)			4	2.339
SLP	5	-1.904	5	

Regresyon modelinin performans analizi için ilk başta her bir havza için uzun dönem anlık maksimum debi ( $Q_{maks}$ ) ve ortalama debi ( $Q_{ort}$ ) ile yüksek korelasyon hesaplanmış, Tablo 5.2’de gösterildiği gibi 7 adet fizyografik parametre belirlenmiştir. Regresyon analizinde seçilen 7 adet fizyografik parametreden  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  için en iyi modelin katsayıları; Havza alanı (A), Havza çevre uzunluğu (P), Havzadaki akım gözlem istasyonunun kotu (AGİ\_KOT), Havzanın akarsu ana kol uzunluğu (L\_ANA KOL), Havzanın akarsu ana kol kuş uçuşu uzunluğu (L\_KUŞ UÇ), Havzanın eğimi (SLP), çatallanma oranı (STR) Tablo 5.6’da verilmiştir. En iyi modelin seçiminde belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), düzeltilmiş belirlilik katsayısı ( $R^2_{adj}$ ) ve Standart Tahmin Hatası (SEE) değişimi ile  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  arasında geriye doğru adım adım regresyon analizi sonucunda en iyi modelin hangisi olduğu Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te gösterildiği gibi  $Q_{maks}$  için 5 parametrelili olan Model 2 ve  $Q_{ort}$  için 2 parametrelili olan Model 5, en iyi modeller olarak gösterilmiştir.





Şekil 5.3: Q<sub>maks</sub> için performans analizi



Şekil 5.4: Q<sub>ort</sub> için performans analizi

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Afganistan birçok su kaynağına sahiptir ve coğrafyası, bunların kullanılması için önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak yetersiz altyapı ve kapasite eksikliği, Afganistan'ın su kaynaklarını depolama, uygun şekilde yönetme ve geliştirme kabiliyetini sınırlamaktadır.

Akarsu ve dere havzalarının fizyografik parametrelerinin saptanması için SYM'ler mozaik biçimde olabildiği gibi düzensiz üçgen ağı şeklinde de kullanılabilir. Ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri programları üzerinden raster ve TIN sistemi içerisindeki SYM'ler işlenebilir. Bunun yanı sıra, bunların birbirlerine dönüştürülmesi de gerçekleştirilebilir.

Bir havzanın çok sayıda fiziksel parametreleri bulunmakta ve bu parametreler, ArcGIS yazılımı kullanılarak elde edilmektedir. ArcGIS yazılımı kullanılarak elde edilen havza parametrelerine ait sonuçların değerlendirilmesi amacıyla, Afganistan'da bulunan 5 ana büyük havzada yer alan Kabil ana havzasının alt havzaları taranmış ve elde edilen veri neticesinde 20 yıl ve daha fazla süre ölçüm verisine sahip istasyonların mevcut olması sebebiyle uygulama alanı olarak ele alınmıştır. Uygulama alanında akım gözlem değeri ölçümü olan 9 adet alt havzanın her birinden elde edilen anlık maksimum debi ( $Q_{maks}$ ) ve ortalama debi ( $Q_{ort}$ ) değerleri ile havza fizyografik parametreleri arasında çeşitli doğrusal modeller incelenmiş ve CBS yazılımı ile toplam 25 adet parametre belirlenmiştir. Bunlar;

- Havza parametreleri; Havza Alanı (A), Havza Çevresi (P), Havza Ortalama Kot ( $H_{ort}$ ) Havza Maksimum Kotu ( $H_{mak}$ ), Havza Minimum Kotu ( $H_{min}$ ), Havza Uzunluğu ( $L_b$ ), Havza Ağırlık Merkezi X Koordinatı, Havza Ağırlık Merkezi Y Koordinatı, Havza Rölyefi ( $R_f$ ), Rölyef Oranı ( $R_r$ ),

- Akarsu drenaj parametreleri; Akarsu Ana Kol Uzunluğu ( $L_m$ ), Akarsu Mertebesi (U), Akarsu Sayısı ( $N_u$ ), Akarsu Uzunluğu ( $L_u$ ), Çatallanma Oranı ( $R_b$ ),

ArcGIS yazılımı ile elde edilen havza fizyografik parametrelerinden 7 adet parametre analizde kullanılmıştır. Tablo 5.2’de gösterildiği gibi  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile en yüksek pozitif veya negatif korelasyonu olan 7 adet havza fizyografik parametresi elde edilmiştir.  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile Tablo 5.3’te verilen en yüksek korelasyona sahip olan parametreler arasında, SigmaPlot programıyla geriye doğru adım adım regresyon analizi yapılmıştır. Analizde ilk önce bütün parametreler seçilmiştir. Sonra sıra ile parametrelerin formülden kaldırabilmesi için en küçük kareler (F) değerine göre eleme yapılmıştır. İlk önce en küçük kısmi korelasyon katsayısına sahip parametre incelenmiştir. Öngörülen değerlerden büyük değere sahip parametreler elenmiştir. Geriye doğru kademeli bir şekilde doğrusal regresyon analizi ile sistematik olarak doğrusal modeller oluşturulmuştur.

Tablo 5.3’teki değerlere dayanarak anlık maksimum debi ( $Q_{maks}$ ) ve ortalama debi ( $Q_{ort}$ ) değerleri ile havza fizyografik parametreleri arasında doğrusal olmayan ilişki görünmektedir. Tez çalışmasında doğrusal regresyon analizi yapıldığı için  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  değerleri ile havza fizyografik parametreleri arasında doğrusal ilişkileri bulmak için doğrusallaştırma yöntemlerinden “Parametrelerin küp köklerinin tersi” yöntemi ile yapılan doğrusal regresyon analizinde daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

En iyi modelin seçiminde SigmaPlot programıyla  $Q_{maks}$  ve  $Q_{ort}$  ile en yüksek korelasyonu olan 7 adet parametre ile geriye doğru adım adım regresyon analizi sonucunda, belirlilik katsayısının ( $R^2$ ), düzeltilmiş belirlilik katsayısı ( $R^2_{adj}$ ) ve Standart Tahmin Hatası (SEE) yanında daha az etkili olduğu görülmektedir. Geriye doğru adım adım regresyon analizinin, her modelde parametre sayısı değiştiği için düzeltilmiş belirlilik katsayısı ve standart tahmin hatası değişimi kullanılmalıdır.

## 7. KAYNAKLAR

Akar, İ. ve Maktav, D., “Taşkın araştırmalarında çok kriterli karar verme analizi ve hidrolojik modellemelerin uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu ile karşılaştırılması”, *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS)*, 13-15 Ekim 2008, Kayseri, Türkiye, (2008).

Allouche, J., “The governance of Central Asian waters: national interests versus regional cooperation”, In *Disarmament Forum* (Vol. 4), (2007).

Al-Qaysi, N. H. H., “Delineation of the Watersheds Basin in the Konya City and Modelling by Geographical Information System”, *Journal of International Environmental Application and Science*, 11 (3), 303-311, (2016).

Basin, K. R., *Towards Kabul Water Treaty: Managing Shared Water Resources–Policy Issues and Options*, (2010).

Branch, U. P. C., *History of Environmental Change in the Sistan Basin*, (2006).

Bromand, M. T., “Impact assessment of climate change on water resources in the Kabul River Basin, Afghanistan”, Doctoral dissertation, *Ritsumeikan University*, (2015).

Bunn, S. E., & Arthington, A. H., “Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity”, *Environmental management*, 30 (4), 492-507. (2002).

Castiglioni, S., Castellarin, A. and Montanari A., “Prediction of low-flow indices in ungauged basins through physiographical space-based interpolation”, *Journal of Hydrology*, 378, 272-280, (2009).

Dengiz, O. and Göl, C., “Effect of physiographic factors and some hydro-physical soil properties on river follow in Uludere cathment”, *BALWOIS*, 27-31 May 2008, Ohrid, Republic of Macedonia, (2008).

Doğmaz, M., “Batı Akdeniz bölgesi akarsularının akım karakteristiklerinin havza fizyografik parametreleri ile belirlenmesi”, Master's thesis, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2018).

Dubey, S. K., Sharma, D., and Mundetia, N., “Morphometric analysis of the Banas River Basin using geographical information system, Rajasthan, India”, *Hydrology*, 3 (5), 47-57, (2015).

Farzand, A., *Blood money for flood victims*, (2010).

Giard, J., “Water flows across political boundaries, brings conflict with it” *Dakotafire magazine*, (2014).

Horsman, S., “Afghanistan and transboundary water management on the Amu Darya: a political history”, *Central Asian Waters*, 63. (2005).

Johnson, L. E., *Geographic Information Systems in Water Resources Engineering*, Boca Raton, FL: CRC Press, (2009).

King, M., & Sturtewagen, B., *Making the Most of Afghanistan's River Basins*. EastWest Institute, Ippsala, (2010).

Lyon, J. G., *GIS for Water Resources and Watershed Management*, London: Taylor & Francis, (2003).

Magesh, N. S., Jitheshlal, K. V., Chandrasekar, N., and Jini, K. V., “GIS based morphometric evaluation of Chimmini and Mupily watersheds, parts of Western Ghats, Thrissur District, Kerala, India”, *Earth Science Informatics*, 5 (2), 111-121, (2012).

Meşe, M., “Ege Bölgesi Akarsularının Akım Karakteristiklerinin Havza Fizyografik Parametreleri ile Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2012).

Micklin, P. P., “Desiccation of the Aral Sea: a water management disaster in the Soviet Union”, *Science*, 241 (4870), 1170-1176. (1988).

Micklin, P., “The Aral Sea disaster”, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35, 47-72. (2007).

Miliaresis, G. and Illipoulou, P., “Clustering of Zagros ranges from the globe DEM representation”, *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 5, 17-28, (2004).

Nafees, M., Ghulam K and Khan S., “Investigation of Chemical and ecological evaluation of Adezai River, *Peshawar University teacher association Journal (PUTAJ)*, 9 (1), 77-82, (2002).

Nafees. M., “Environmental Study of Kabul River and its Tributaries in North West Frontier Province (Now Khyber Pukhtunkhwa), Pakistan”, M.Phil Thesis, *Department of Environmental Sciences, University of Peshawar*, (2004).

Noroian, N. D., “Prior Appropriation, Agriculture and the West: Caught in a Bad Romance”, *Jurimetrics*, 51 (2), 181–215 (2011).

Pande, C. B. and Moharir, K., “GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River Basin, Maharashtra India”, *Applied Water Science*, 7 (2), 861-871, (2017).

Pareta, K. and Pareta, U., “Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna basin, India using ASTER (DEM) data and GIS”, *International journal of Geomatics and Geosciences*, 2 (1), 248, (2011).

Peavy, H. S., Dowe, D. R and Tchobanoglous, G., *Environmental Engineering*, New York: Mi-Graw Hill publisher, 12, (2015).

Pekpınarlı, H., “Discharge estimations with regression analysis using basin parameters and gis techniques”, Master Thesis, *Middle East Technical University*, Ankara, (2005).

Reis, M., Karademir, N. ve Oğuz, H., “Kahramanmaraş yöresi Keklik Deresi yağış havzasında dere akımlarını etkileyen fizyografik etmenlerin irdelenmesi”, *I. Ulusal Batı Karadeniz Ormancılık Kongresi Bildiriler Kitabı*, 5-7 Kasım 2009, Bartın Üniversitesi, (2009).

Rousta, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Zhang, H., Liou, Y. A., Mushore, T. D., & Gupta, A., “Impacts of drought on vegetation assessed by vegetation indices and meteorological factors in Afghanistan”, *Remote Sensing*, 12 (15), 2433, (2020).

Rycroft, D. W., & Wegerich, K., “The three blind spots of Afghanistan: Water flow, irrigation development, and the impact of climate change”, In *China and Eurasia Forum Quarterly* (Vol. 7, No. 4, pp. 115-133). (2009).

Sanborn, S. C. and Bledsoe, B. P., “Predicting streamflow regime metrics for ungauged streams in Colorado, Washington and Oregon”, *Journal of Hydrology*, 325, 241-261, (2006).

Sreedevi, P. D., Owais, S. H. H. K., Khan, H. H. and Ahmed, S., “Morphometric analysis of a watershed of South India using SRTM data and GIS”, *Journal of the geological society of India*, 73 (4), 543-552, (2009).

Sreedevi, P. D., Sreekanth, P. D., Khan, H. H. and Ahmed, S., “Drainage morphometry and its influence on hydrology in an semi arid region: using SRTM data and GIS”, *Environmental earth sciences*, 70 (2), 839-848, (2013).

Strahler, A. N., “Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks”, *Handbook of Applied Hydrology*, New York: McGraw-Hill, 4-39, (1964).

Topaloğlu, F., “Estimation of instantaneous peak flows in Seyhan river basin using regional regression procedures”, *Turk J Agric For*, 26, 47-55, (2002).

Uçar, A., “Hidrolojik modelleme için havza parametrelerinin coğrafi bilgi sistemler ile belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, (2018).

Viviroli, D., Mittelbach, H., Gurtz, J. and Weingartner, R., “Continuous simulation for flood estimation in ungauged mezoscale catchments of Switzerland-Part II: Parameter regionalization and flood estimation results”, *Journal of Hydrology*, 377, 208-225, (2009).

Whish-Wilson, P., “The Aral Sea environmental health crisis”, *Journal of Rural and Remote Environmental Health*, 1 (2), 29-34. (2002).

Wolf, A. T., & Newton, J. T., *Case study of trans-boundary dispute resolution: The Indus water treaty*, Oregon State University Collage of Science, (2008).

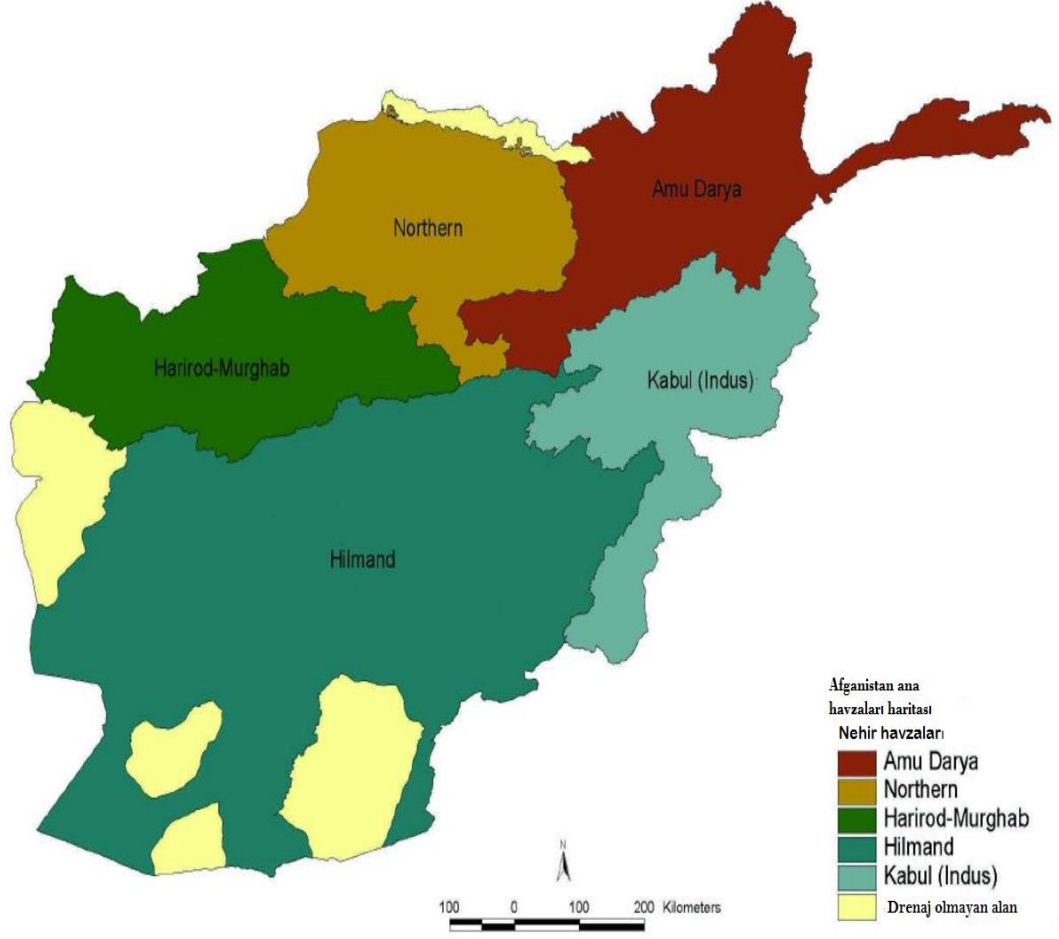
Young, G., Shah, B., & Kimaite, F., *UN Water Report. Status report on integrated water resources management and water efficiency plans*, (2008).

# **EKLER**

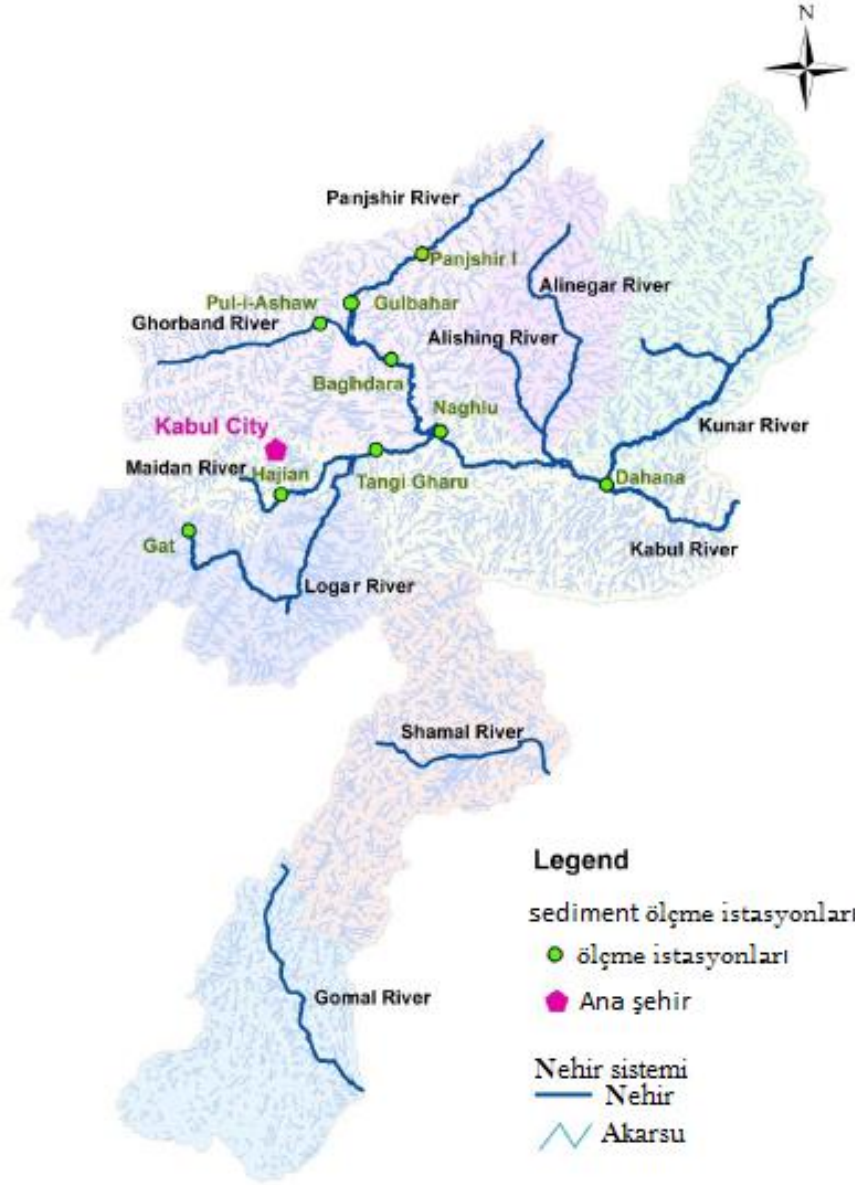


## 8. EKLER

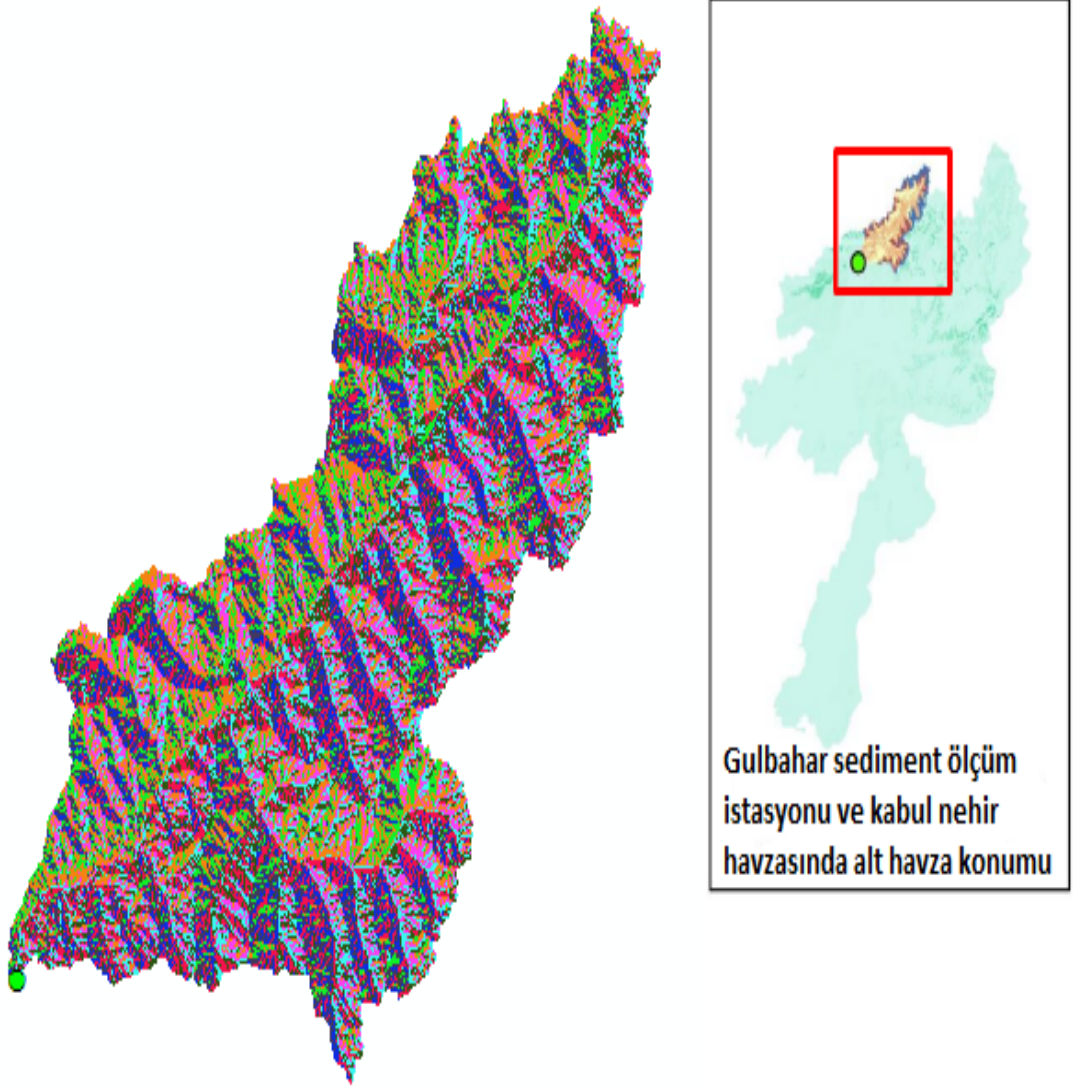
### EK A Kabil Havzalarının Konum Haritaları



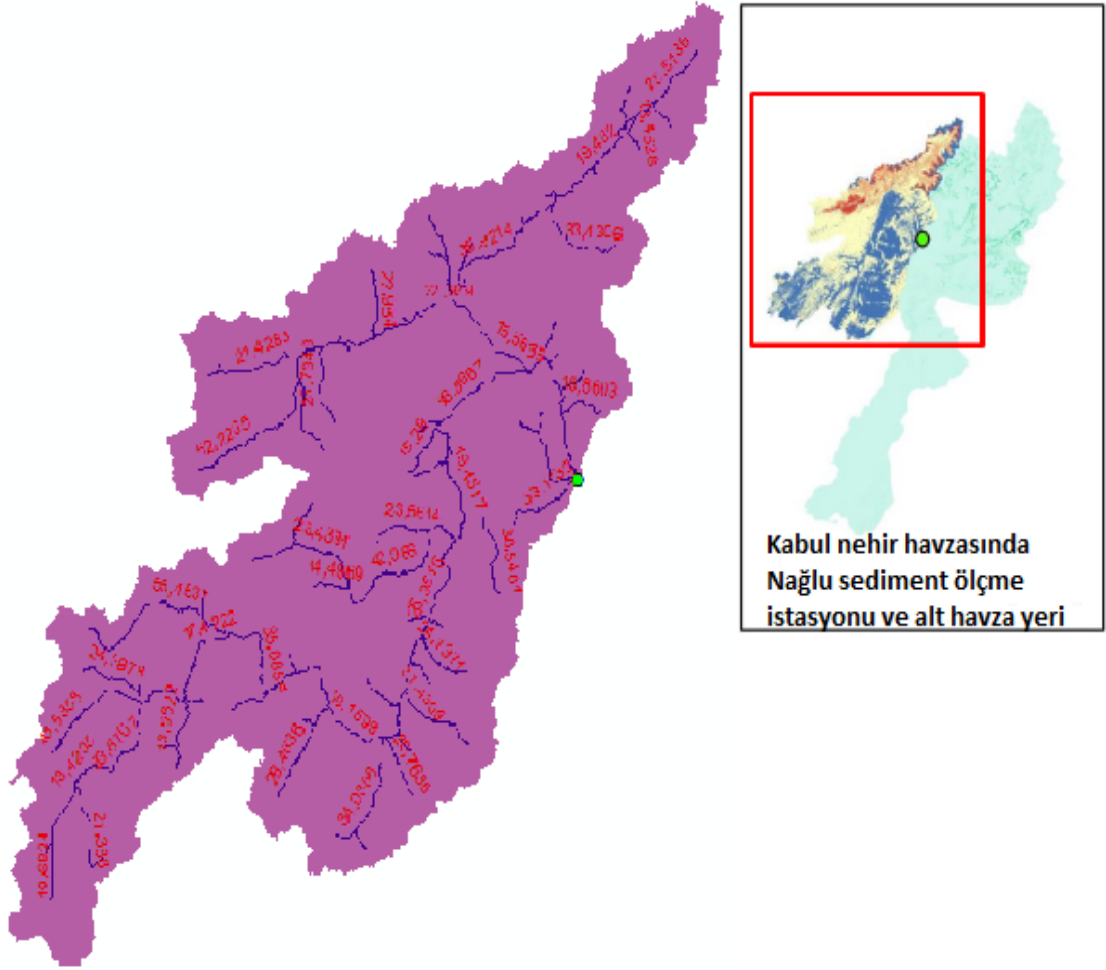
Şekil A. 1: Afganistan haritasındaki büyük havzaların konumu



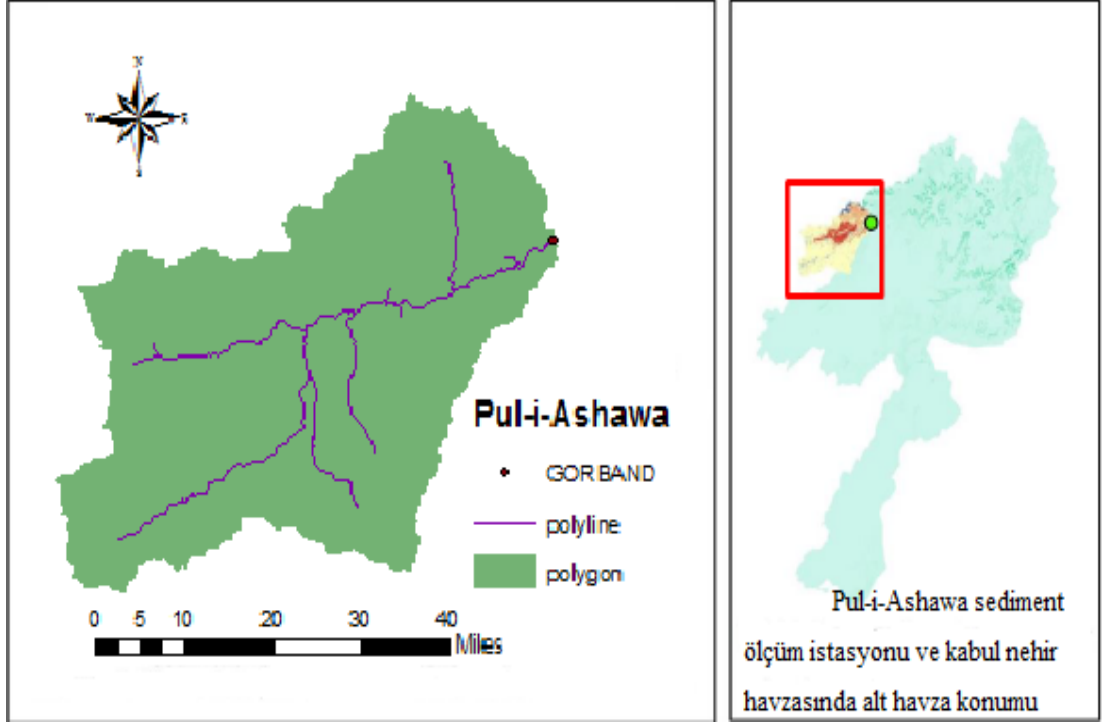
Şekil A. 2: Kabil nehri havzasındaki sediment ölçüm istasyonlarının konum haritası



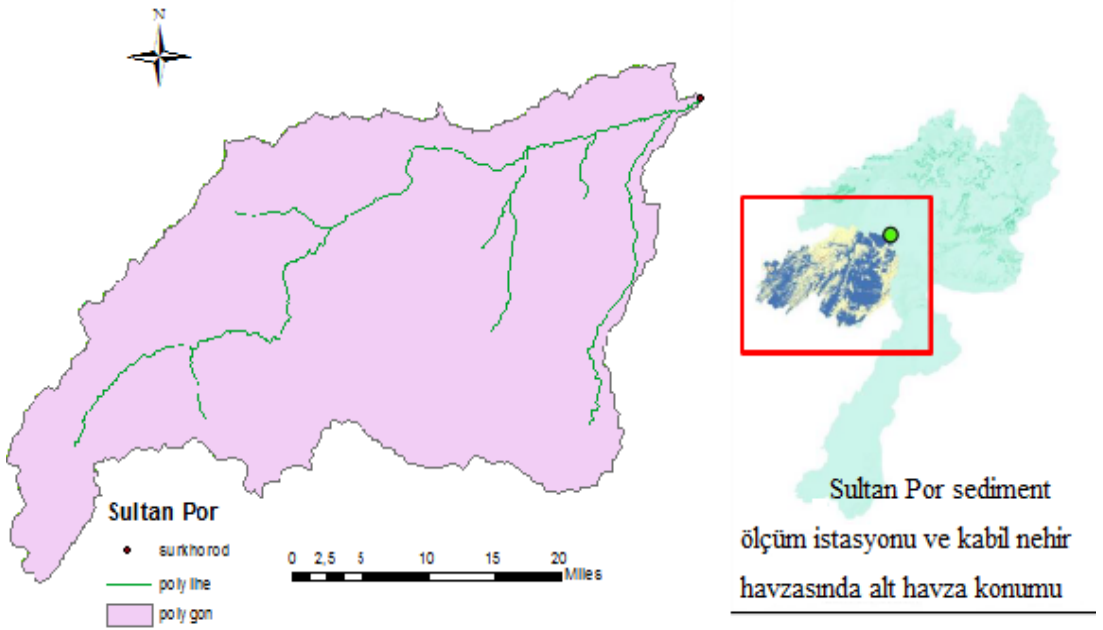
**Şekil A. 3:** Kabil nehri havzasındaki Gulbahar Panjshir alt havzasının konum haritası



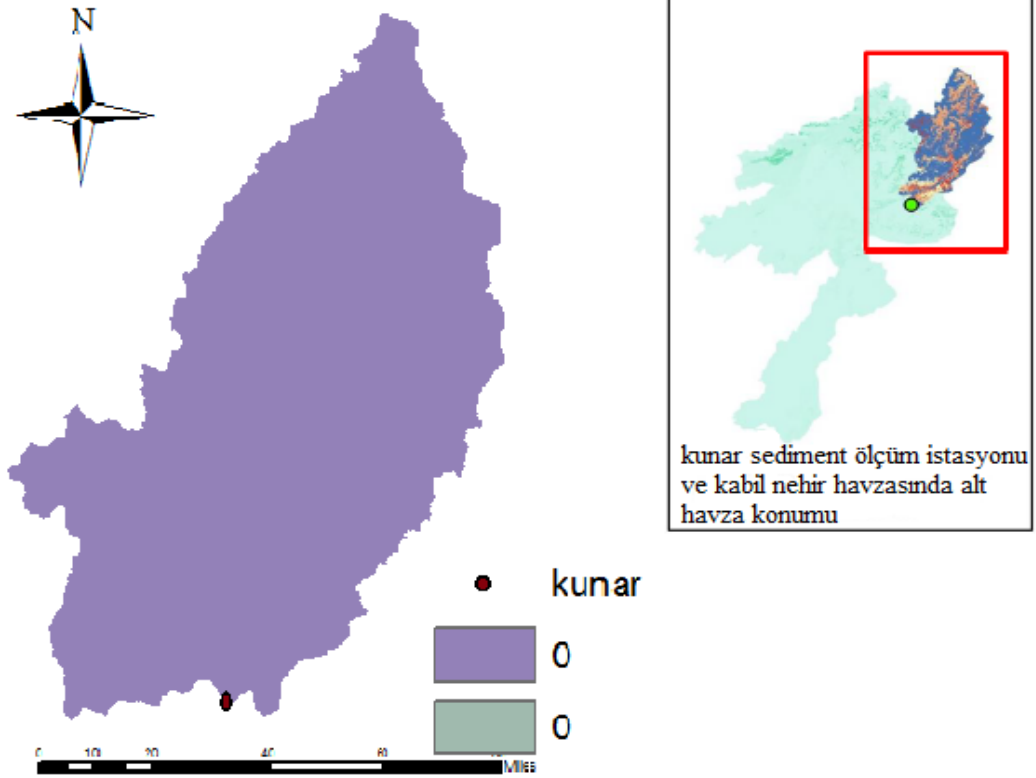
**Şekil A. 4:** Kabil nehri havzasındaki Nağlu alt havzasının konum haritası



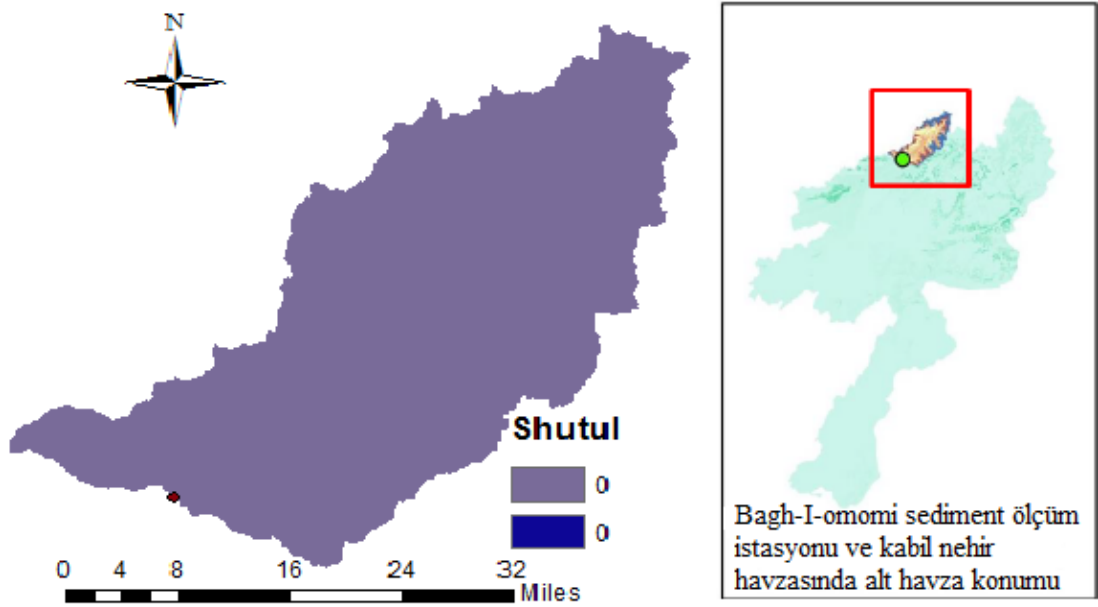
**Şekil A. 5:** Kabil nehri havzasındaki Pul-i-Ashawa Ghorband alt havzasının konum haritası



**Şekil A. 6:** Kabil nehri havzasındaki Sultan Por Surkhrrod alt havzasının konum haritası



Şekil A. 7: Kabil nehri havzasındaki Kunar Nawabad alt havzasının konum haritası



Şekil A. 8: Kabil nehri havzasındaki Bagh-1-Omomi alt havzasının konum haritası