



**AKIM GÖZLEM İSTASYONLARININ MEKANSAL OPTİMİZASYONU
İÇİN BİR MODEL GELİŞTİRİLMESİ**

Levent BÜTÜN

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Levent BÜTÜN

16/05/2025

AKIM GÖZLEM İSTASYONLARININ MEKANSAL OPTİMİZASYONU İÇİN BİR MODEL GELİŞTİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Levent BÜTÜN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2025

ÖZET

Su kaynakları yöneticilerinin planlama ve tasarım faaliyetlerinde kullanılmak üzere çeşitli hidrolojik çalışmalar sonucunda elde edilecek veri ve bilgilerin etkili ve güncel kullanımı için gelişim, kontrol ve yeniden düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bir havza üzerinden toplanan hidrometrik bilgiler rezervuarların tasarımı, su dağıtım sistemleri, sulama şebekeleri, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisinin incelenmesi vb. gibi çeşitli su kaynakları projelerinin tasarımı için temel girdileri oluşturur. Daha iyi su kaynakları planlaması, yönetimi ve uygun bilgileri sağlayabilmek için iyi bir hidrometrik ağ tasarımı gerektirmektedir. Bu çalışmada ideal bir ağ tasarımının yapılabilmesi için arazi kullanımı ve havza özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılan morfometrik parametreler kullanılarak bir optimizasyon yöntemi önerilmiştir. Önerilen bu yöntem yaygın olarak kullanılan ve gözlem istasyonlarının veri setlerine dayanarak istatistiksel analizler gerektiren yöntemlerden farklı olarak arazi kullanımlarını ve istasyon yağış havzalarının birbirlerinden farklılıklarına odaklanmış, potansiyel veri setlerinin tekrarlanması azalmasını ve bilgi kazanımlarının artmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Kuzey Ege havzasının bir alt havzası olan Karadere Havzası için morfometrik analizler CBS yazılımları sayesinde hesaplanmış, hidrolojik toprak grupları ve diğer parametreler ile beraber değerlendirilerek potansiyel istasyonların temsil ettikleri havzaların özellikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar özellikle havza şekil parametrelerinin kullanılan yöntemde daha etkili olduğu, farklılıkların en fazla bu özelliklerden meydana geldiğini göstermiştir. Pareto optimal sonuçlar değerlendirildiğinde sistem olarak değerlendirilen potansiyel istasyonlarından ideal seçimlerin yapıldığı görülmüştür. Seçim yapılan istasyonlar değerlendirildiğinde mevcut durumda bulunan istasyonların seçimlerde ilk sıralarda yer almadığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan önerilen yöntemle bir sıralama ve değerlendirme yapılabildiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 91106
Anahtar Kelimeler : Optimizasyon, akım gözlem, morfometrik, Kuzey Ege
Sayfa Adedi : 117
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

DEVELOPMENT OF A SPATIAL OPTIMIZATION MODAL FOR THE FLOW OBSERVATION STATIONS

(Ph. D. Thesis)

Levent BÜTÜN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2025

ABSTRACT

Development, control, and reorganization are needed for effective and up-to-date use of data and information obtained as a result of various hydrological studies to be used in planning and design activities of water resources managers. Hydrometric information collected from a basin constitutes basic inputs for the design of various water resources projects such as reservoir design, water distribution systems, irrigation networks, examination of the effects of climate change on water resources, etc. A good hydrometric network design is required for better water resources planning, management, and providing appropriate information. In this study, an optimization method is proposed using morphometric parameters used in determining land use and basin characteristics to make an ideal network design. This proposed method, unlike the widely used methods requiring statistical analyses based on data sets of observation stations, focuses on land use and differences between station precipitation basins and is designed to reduce the repetition of potential data sets and increase information gains. Morphometric analyses were calculated by means of GIS software, and the characteristics of the basins represented by potential stations were evaluated together with hydrological soil groups and other parameters for Karadere, a sub-basin of the North Aegean basin. The results showed that especially the basin shape parameters were more effective in the method used and the differences mostly occurred from these features. When the Pareto optimal results were evaluated, it was seen that ideal selections were made from the potential stations evaluated as a system. When the stations where selections were made were evaluated, it was determined that the current stations were not at the top of the selections. It was seen that a ranking and evaluation could be made with the proposed method from the obtained results.

Science Code : 91106

Key Words : Optimization, stream observation, morphometric, North Aegean

Page Number : 117

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Çalışma süreci boyunca desteğini benden esirgemeyen danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT'e teşekkürü bir borç bilirim. Yorumları ve görüşleri ile çalışmama daima ışık tutan, yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Ali Melih YANMAZ'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım. Süreç boyunca yorumları ve desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Can Elmar BALAS'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından desteklenmiştir. 6256 ID numaralı bu çalışmaya yapılan katkıları nedeniyle Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimine teşekkür ederim.

Süreç boyunca sabırları ve destekleri ile daima yanımda hissettiğim değerli ailemin her bir ferdine ayrı ayrı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
HARİTALARIN LİSTESİ	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Hidrolojide Optimizasyon Uygulamaları	5
2.3. Literatür Değerlendirmeleri.....	24
2.4. Literatür Çıkarımları	30
3. ÇALIŞMA ALANI.....	33
3.1. Giriş.....	33
3.2. Çalışma Alanı	33
3.3. Coğrafi Bilgi Sistem Analizleri.....	35
3.4. Morfometrik Analizler	46
3.5. Hidrolojik Toprak Grup Analizleri	46
4. YÖNTEM	67
4.1. Giriş.....	67
4.2. Yöntem Akış Şeması.....	67

Sayfa

4.3. Morfometrik Parametreler.....	70
4.4. Hidrolojik Toprak Grupları ve Yüzey Eğri Numaraları.....	76
4.5. Optimizasyon	81
4.5.1. Çok amaçlı optimizasyon	82
4.5.2. Amaç fonksiyonları ve kısıtlar.....	83
4.6. Analizler	84
5. BULGULAR.....	89
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR	101
EKLER.....	109
ÖZGEÇMİŞ	116

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Çalışma Alanı.....	34
Harita 3.2. Çalışma Alanı Sayısal Yükseklik Modeli	35
Harita 3.3. Akım Yönü.....	36
Harita 3.4. Akım Toplanma	38
Harita 3.5. Çalışma Alanı Akarsu Hattı ve Strahler Derecelendirmesi	38
Harita 3.6. Potansiyel İstasyonlar ve Alt Havzalar	39
Harita 3.7. Pİ-1 Temsil Havzası ve Akım Ağları.....	42
Harita 3.8. Pİ-2 Temsil Havzası ve Akım Ağları.....	43
Harita 3.9. Pİ-3 Temsil Havzası ve Akım Ağları.....	43
Harita 3.10. Pİ-4 Temsil Havzası ve Akım Ağları.....	44
Harita 3.11. Pİ-5 Temsil Havzası ve Akım Ağları.....	44
Harita 3.12. Pİ-6 Temsil Havzası ve Akım Ağları.....	45
Harita 3.13. Pİ-7 Temsil Havzası ve Akım Ağları.....	45
Harita 3.14. Çalışma Alanı Arazi Kullanım Haritası.....	47
Harita 3.15. Pİ-1 için Arazi Kullanım Haritası	49
Harita 3.16. Pİ-2 için Arazi Kullanım Haritası	49
Harita 3.17. Pİ-3 için Arazi Kullanım Haritası	50
Harita 3.18. Pİ-4 için Arazi Kullanım Haritası	50
Harita 3.19. Pİ-5 için Arazi Kullanım Haritası	51
Harita 3.20. Pİ-6 için Arazi Kullanım Haritası	51
Harita 3.21. Pİ-7 için Arazi Kullanım Haritası	52
Harita 3.22. Çalışma Alanı BTG Haritası	53
Harita 3.23. Pİ-1 BTG Haritası	53
Harita 3.24. Pİ-2 BTG Haritası	54

Harita	Sayfa
Harita 3.25. Pİ-3 BTG Haritası	54
Harita 3.26. Pİ-4 BTG Haritası	55
Harita 3.27. Pİ-5 BTG Haritası	55
Harita 3.28. Pİ-6 BTG Haritası	56
Harita 3.29. Pİ-7 BTG Haritası	56
Harita 3.30. Çalışma Alanı HTG Haritası	57
Harita 3.31. Pİ-1 HTG Haritası	58
Harita 3.32. Pİ-2 HTG Haritası	58
Harita 3.33. Pİ-3 HTG Haritası	59
Harita 3.34. Pİ-4 HTG Haritası	59
Harita 3.35. Pİ-5 HTG Haritası	60
Harita 3.36. Pİ-6 HTG Haritası	60
Harita 3.37. Pİ-7 HTG Haritası	61
Harita 3.38. Çalışma Alanı Eğri Numaraları	62
Harita 3.39. Pİ-1 CN Dağılımı	62
Harita 3.40. Pİ-2 CN Dağılımı	63
Harita 3.41. Pİ-3 CN Dağılımı	63
Harita 3.42. Pİ-4 CN Dağılımı	64
Harita 3.43. Pİ-5 CN Dağılımı	64
Harita 3.44. Pİ-6 CN Dağılımı	65
Harita 3.45. Pİ-7 CN Dağılımı	65
Harita 5.1. Potansiyel İstasyon Sıralaması (Morfometrik Parametrelere Göre)	94

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Arazi Kullanım Kod Lejantı (Corine).....	48
Çizelge 4.1. Morfometrik Parametreler	71
Çizelge 4.2. Toprak Gruplarının Tarifi (Engineering, 1951).....	76
Çizelge 4.3. Büyük Toprak Grupları ve Toprak Özelliklerinin Kombinasyonuna Göre Hidrolojik Toprak Grupları (Özer, 1990).....	77
Çizelge 4.4. Büyük Toprak Grupları ve Sembolleri (Özer, 1990).....	78
Çizelge 4.5. Hidrolojik Toprak Gruplarına Göre Eğri Numaraları (Halley, White ve Watkins, 2000).....	79
Çizelge 4.6. Alt Havza Öznitelik Tablosu	85
Çizelge 4.7. Dallanma Oranı Hesaplarının Çizelgesi	85
Çizelge 4.8. Morfometri ve Toprak Özellikleri ile Öznitelik Tablosu	86
Çizelge 4.9. İşlem Süre Çizelgesi	87
Çizelge 5.1. Öznitelik Tablosu ve Varyans Değerleri	89
Çizelge 5.2. Yönteme Göre Seçilen İstasyonlar	90
Çizelge 5.3. Eğri Numaraları ile Öznitelik Tablosu ve Varyans Değerleri	95
Çizelge 5.4. Eğri Numaraları ve Morfometri Parametrelerinin Değerlendirildiği Optimum Sonuçlar.....	95

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekiller	Sayfa
Şekil 3.1. D8 yönlü akış algoritması çalışma prensibi.....	37
Şekil 3.2. Havzaları alt havzalara ayırma sürecinde kullanılmak üzere hazırlanan CBS modeli.....	41
Şekil 4.1. Akış Diyagramı.....	69
Şekil 5.1. Optimal Sonuçlar	91
Şekil 5.2. Eğri Numaraları ve Morfometrik Parametrelere Göre Optimum Sonuçlar ...	96

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Havza alanı
CN	Eğri numarası
C _r	Dairesellik Oranı
C _c	Sıklık Katsayısı
D _d	Drenaj Yoğunluğu
F _f	Biçim Faktörü
F _s	Akarsu Sıklığı
H	Entropi
km	Kilometre
km ²	Kilometrekare
L	Havza uzunluğu
m	Metre
N _u	u mertebesindeki akarsu sayısı
P	Havza çevresi
R _b	Dallanma Oranı
S _f	Şekil Faktörü
S ²	Varyans
T	Tekstür Oranı
Q	Debi
W	Havza Genişliği
ρ	Ro Katsayısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process)
AS	Ortalama Puan (Average Score)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCDA	Combined Cluster and Discriminant Analysis
CNHN	Canadian National Hydrometric Network
CORINE	Coordination of Information on the Environment
CP	Birleşik Programlama (Composite Programming)
CRDEMO	Combined Regionalization and DEMO
CUI	Havza Fayda Endeksi (Catchment Utility Index)
DEMO	Dual Entropy-Multiobjective Optimization
GEV	Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (Generalized Extreme Value)
GTS	Jeoistatistiksel Alan-Zaman (Geostatistical Temporal-Spatial)
HBV	Hydrologiska Byråns Vattenballansavdelning
HTG	Hidrolojik Toprak Grubu
IHA	Indicators of Hydrologic Alteration
MCA	Çok Kriterli Analiz (Multi-Criteria Analysis)
MIMR	Maximum Information Minimum Redundancy
MMR	Massachusetts Askeri Rezervi (Massachusetts Military Reserve)
MOEAs	Multi-objective evolutionary algorithms
NBI	Normal Boundary Intersection
NC	Normal Constraint
NI	Dahil Edilme Sayısı (Number of Inclusions)
NN	En yakın komşu (Nearest Neighbor)
NSGA-II	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II
PM	Performans Ölçümü (Performance Measure)
PS	Fiziksel Benzerlik (Physical Similarity)
RPA	Referans Noktası Yaklaşımı (Reference Point Approach)
SFWMD	Güney Florida Su Yönetimi Bölgesi
SPO	Successive Pareto Optimization
SSI	Mevsimsel Akış Bilgileri (Seasonal Streamflow Information)
SVM	Destek Vektör Makine (Support Vector Machine)
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli

Kısaltmalar**Açıklamalar**

TI	Dönüşüm Bilgisi (Trans-Information)
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
WMO	World Meteorological Organization- Dünya Meteoroloji Örgütü
WMP	Water level monitoring design in polders
WS	Ağırlıklı Toplam (Weighted Summation)



1. GİRİŞ

Günümüzde su kaynaklarını yönetenler, planlama ve tasarım faaliyetlerinde kullanılmak üzere, çeşitli hidrolojik çalışmalar sonucunda elde edilen veri ve bilgilerin güncel kalabilmesi ve etkili kullanımı için gelişim, kontrol ve yeniden düzenlemelere daha fazla ihtiyaç duymaktadırlar. Hem Dünya'nın birçok ülkesinde hem de Türkiye'de su kaynakları ve bu kaynakların yönetilmesi konusunda çalışma yapan kurum ve kuruluşların birçoğu, mevcut istasyonlardan elde edilen ve kurulması planlanan istasyonlar için elde etmeyi öngördüğü verilerin sağlıklı, yeterli ve ekonomik olarak temin edilmesini ön planda tutmaktadır. Elde edilecek hidrometrik veriler doğrultusunda su kaynaklarının planlaması, yönetimi ve tahminler hakkında çalışmalar yapılması ve yapılacak çalışmaların başarılı olması, bu verilerin elde edildiği istasyonların performanslarına ve aktarılan verilerin doğruluğuna bağlıdır. Bu nedenle araştırmacılar son zamanlarda istasyonların güncelliğini ve yeterliliğini araştırarak farklı yaklaşımların incelenmesine ilgi göstermektedirler. İstasyonların zamanla gereken ihtiyaçları karşılayıp karşılamaması konusuna ek olarak bu istasyonların konumları, sayıları ve gerekliliklerine dair araştırmaların da literatürde yerlerini almaya başladığı görülmektedir. Keum, Kornelsen, Leach ve Coulibaly (2017) çok veri toplamanın su kaynağı sorunlarını verimli bir şekilde çözebileceğinin beklendiğini ancak bu durumun her zaman doğru olmadığını, yanlış yerde veya yanlış zamanda, ilgisiz, yetersiz veya verimsiz verilerin bir veri kümesinin kalitesini düşürebileceğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Agarwal ve diğerleri (2020) genel anlayışın istasyon sayısı ne kadar fazla olursa, alansal ortalama tahminlerin ve herhangi bir ölçüm yapılmayan konumdaki nokta tahminlerinin niceliğinin o kadar güvenilir olduğunu, bununla birlikte daha fazla sayıda istasyonların kurulum, işletme ve bakım maliyetini yükselttiğini, bu durumun fazla bilgi sağlayabileceğini fakat bu nedenlerden dolayı gözlem açısından elde edilen bilgi içeriğinin artmayacağını ifade etmişlerdir.

Yöneticiler ve idareciler tarafından yapılan birçok tasarım ve planlamaların başlıca kısıtlayıcısı olarak maliyet gelmektedir. İstasyonların kurulumu, işletilmesi, bakımı, arıza durumunda onarımı ve kontrolü maliyet açısından oldukça etkilidir. Mishra ve Coulibaly (2009) artan nüfusun, su ihtiyaçları ve su kaynakları üzerinde meydana getirdiği baskı nedeniyle su kaynaklarının daha iyi planlaması ve yönetiminin sağlanması için uygun bilgilerin elde edilmesi ve daha yeterli bir hidrometrik ağ tasarımı gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca konu ile ilgili yöneticilerin çoğunun hidrometrik ağlar için

finansmanı azaltmayı kısa vadede bir kazanç olarak düşündüklerini ancak uzun vadede önemli bir kayıp olarak görüldüğünü ifade etmişlerdir.

Mevcut istasyonların konumlarının uygun olup olmadığının, bölgedeki ölçüm ihtiyaçlarını karşılaması bakımından gelişen teknoloji ve değişen şartlara uyum sağlayıp sağlamadığının, işletilmeye devam edilmesi veya kaldırılması kararının verilmesi ve yeni kurulması planlanan bir istasyonun ne kadar gerekli olduğu gibi sorular yöneticilerin tasarım sırasında karşılaştığı sorunlardandır. Çalışma ömrünün dolması, gereksinimlerin karşılanamaması veya diğer sebeplerden dolayı hidrometrik istasyonların kullanımına son verilebilmektedir. Örneğin Mishra ve Coulibaly (2009) birçok ülkede hidrometrik gözlem istasyon sayılarının azaldığını belirtmektedir. Şebeke yoğunluğundaki azalmanın nedenleri çeşitli olmakla birlikte; yetersiz finansman, kurumsal yetersizlikler, uzun dönemli hidrolojik verilere yeteri kadar değer verilmemesi ve bazı durumlarda da savaş veya doğal afetler gibi problemler örnek olarak verilebilir (Mishra ve Coulibaly, 2010).

Gelişen teknoloji ve değişen zaman ihtiyaçları ile birlikte tasarım ve planlama sürecinde istasyonların bireysel olarak değerlendirilmesinden ziyade bir ağ olarak değerlendirilerek belirli bir bölge için en uygun ağ tasarımını yapmanın gerekliliği doğmuştur.

Ağ değerlendirme terimi, herhangi bir istasyon değiştirilmeden ağ kalitesinin değerlendirildiği durumlarda kullanılırken ağ tasarımı, istasyonlarda bazı değişiklikleri öneren genel bir terimdir. Özellikle *ağ tasarımı*; ağ azaltma, ağ genişletme veya ağın yeniden tasarımını içerir. Bazı istasyonların ağdan çıkarılması gerektiğinde *ağ azaltma* uygulanır. Öte yandan, finansal esneklik yeni gözlem istasyonu kurulumuna izin veriyorsa, mevcut ağa *ağ genişletme* adı verilen başka istasyonlar da eklenebilir. *Ağın yeniden tasarımı*, istasyon sayısını değiştirmeden istasyonların yeniden düzenlenmesi anlamına gelir (Keum ve diğerleri, 2017).

Ağ tasarımının ayrılmaz bir parçası olan mekânsal yoğunluğun yanı sıra, ağın tasarımında başka birçok parametre de dikkate alınmalıdır. Özellikle kullanıcıların mevcut ihtiyacı, akım değişkenliği, bakım maliyetleri, erişilebilirlik, istasyon sahasının güvenliği ve politika gibi diğer parametreler göz önüne alındığında en uygun örnekleme tasarım seçiminde yaşanan sorunlar daha da karmaşık hale gelmektedir (Mishra ve Coulibaly, 2009).

Karşılaşılan sorunları en aza indirme ve en uygun ağ sistemleri tasarlama ihtiyacı hidrometrik gözlem istasyonları için ideal ağ tasarımı ve optimizasyon kavramının

kullanılmasına yardımcı olmuştur. Yeni kurulması planlanan istasyonlar ve sistem olarak ağlar için tasarım sürecinde, mevcut ağ sistemlerinde ise yeniden değerlendirme ve gözden geçirme faaliyetlerinde belirlenen amaçlara ulaşmayı hedefleyen çalışmalar ile sorunlar giderilmeye çalışılmıştır. Bu amaçlar genellikle maliyet, bakım onarım maliyeti ve gereksiz veri temini gibi konularda en azı hedeflerken verimlilik ve bilgi aktarımı gibi konularda da en yüksek değerleri hedeflemektedir.

Genel olarak *optimizasyon* izin verilen bir küme içinden gerçek veya tamsayı değişkenlerinin değerlerini sistematik olarak seçerek gerçek bir işlevi en aza indirmeye veya en üst düzeye çıkarmaya çalıştığı problemlerin incelenmesini ifade eder. Ağ tasarımında optimizasyonun temel uygulaması, maliyeti en aza indirerek bilgiyi en üst düzeye çıkartmaktır (Mishra ve Coulibaly, 2009). Bununla birlikte Langbein (1979), ağ tasarımının veri doğruluğunu elde etmenin minimum maliyeti gibi resmi optimizasyon şemalarına dayanması gerekmediğini de belirtmiştir. Bir tasarımın, tasarım kriterlerinin bir karışımını barındırmak için yargısal analizlere dayanabileceğini vurgulamıştır. Gözlem sayısı, gözlem periyodunun sıklığı veya uzunluğu ve modelin doğası gereği ilgili faktörlere karşı hata varyansının hassasiyetini gösteren analizlerin, açık bir optimum aranmasa bile ağın iyileştirilmesi için taktikler hakkında fikir vereceğini ifade etmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı belirlenen çalışma alanı içerisindeki istasyonların değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla yeni bir yöntem geliştirmek ve uygulama sonuçlarını değerlendirmektir. Geliştirilen yöntem akım gözlem istasyonlarını ve dolayısıyla akımı etkileyen birtakım parametrelerin havza üzerindeki etkilerini yorumlayarak potansiyel istasyonların önceliklendirilmesi, sayılarının sisteme etkisi ve ideal değerlerin elde edilmesine odaklanmıştır. Kuzey Ege havzasının bir alt havzası olan Karadere üzerinde yapılan çalışmalarda CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yöntemleri kullanılarak çalışma alanı alt havzalara ayrılmış, alt havzaların çıkış noktalarına da potansiyel istasyonlar konumlandırılmıştır. Her bir alt havzanın seçilen morfometrik parametreleri ve CN (Curve Number-Eğri Numaraları) değerleri CBS kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir alt havzanın sisteme olan etkisinin değerlendirilmesi için belirlenen parametrelere göre varyans değişimlerinin tamamını hesaplayabilecek bir MATLAB alt programı geliştirilmiş ve tüm kombinasyonların değerlendirildiği bir hesaplama yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde, çok amaçlı karar verme ilkelerine göre seçilecek istasyon sayısını ve toplam varyans değerini minimize eden olasılıklar tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar optimal ağ tasarımı kapsamında değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Çalışma, gözlem istasyonlarının optimizasyonu konusunda morfometrik parametreleri kullanarak istasyonların temsil ettiği havzaları bireysel olarak değerlendirerek özgünlüğünü kazanmaktadır. Konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalardaki amaç fonksiyonlarından farklı olarak varyans minimizasyonunu kullanmasıyla literatürdeki yerini kazanmıştır.



2. LİTERATÜR

2.1. Giriş

Literatürde yer alan konu kapsamındaki çalışmalar bu bölüm içerisinde incelenmiştir. Çalışmalar incelenirken çalışma konusu, kullanılan metot, uygulanan yöntem, varsa ilgili bölge veya bölgeler ve elde edilen bulguların sonuçları tartışmalar ile birlikte değerlendirilmiştir. Hidrolojide optimizasyon uygulamalarının gelişimini daha net görebilmek için bu bölümün devam eden kısımlarında kronolojik olarak optimizasyon uygulamaları verilmiştir. Geliştirilen yöntemde kullanılan parametrelerin ve gereksinimlerin kullanıldığı çalışmalar ise bu bölümün son başlıklarında sunulmuştur. Böylece çalışma kapsamında incelenen çalışmalar, çalışma amacı, geliştirilen yöntem, yönelim, yöntemin özgünlüğü ve gelişimdeki sürecin işleyişi anlatılmıştır.

2.2. Hidrolojide Optimizasyon Uygulamaları

Langbein (1979) bir konferans değerlendirmesi olarak veri ağı tasarımı konusunu irdelemiştir. Çalışmada, veri sistemlerinin tasarımında verimlilik ve etkinliğin; verilerin toplanma şekli, gözlem noktaları ve sayıları, maliyetleri ve faydaları ile ilişkilendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca yapılan konferansta; konu ile ilgili temel hususlar, istatistiğin rolü, ekonomi, hidrolojik verilerin önemi hem konuma hem de zamana bağlı bir problem olma durumu, ölçüm tekniği, verilerin transferi ve çalışma sahası gibi konular detaylı olarak tartışılmıştır. Sonuç olarak konu ile ilgili çalışmalarda hidrologistlerin en büyük katkıyı sağlayacakları, diğer konuların yardımcı parametreler olduğu ayrıca vurgulanmıştır. Langbein (1979) sonuçları değerlendirdiğinde öne çıkan varsayımlardan birinde pratik ağı tasarımının hidroloji, arazi ve verilerin belirli kullanımları tarafından sınırlandırıldığı belirtmiştir. Bu konuda ağı tasarımının veri planlaması ve planlama ile ilişkili yatırım maliyetleri ve önceki deneyimlerin de önemli olduğu belirtilmektedir. Burada verilerin ne kadar uzun olacağı, kalitesi, nerede ne zaman ve ne kadar süreli kullanılabileceği önemlidir. Bu konuların da optimizasyonda kısıtlayıcı olarak kullanılması öne çıkmaktadır. Konferansta belirtilen bir diğer konu ise “ne kadar çok veri o kadar iyi” anlayışıdır. Bu durumda tüm zamanlarda elde edilen tüm verilerin kullanımının daha iyi olacağı önerilmektedir. Fakat Davis, Duckstein ve Krzysztofowicz (1979) bu durumun her zaman geçerli olmayacağını, fazla verilerin optimum olmayan veya uygun çözüm tekniği

üretmeyen kararlara sebep olabileceğini vurgulamıştır. “Veri” ve “Bilgi” kavramları arasındaki ayrıma büyük önem verilmektedir. Veri hem zamana hem de konuma göre değişen sayısal gerçeklerin bulunduğu bir küme olarak tanımlanırken bilgi ise bu sayısal gerçeklerin analizi ve yorumlanmış sonuçlarıdır. Böylece hidrolojik veriler analiz sonuçlarına göre hidrolojik bilgiyi üretmektedir. Bununla birlikte üretilen bilginin çalışmanın seyrine göre ileriki aşamalarda bir veri olarak kullanılması da mümkündür.

Hidrometrik veri istasyon ağlarının optimizasyon uygulamalarının bazıları ağ yerleşimlerinin ağ kontrol edecek olan teknisyenlerin ulaşimleri konusunda gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Pelletier ve Simonovic (1988) hidrometrik bir ağın alan işletme problemini formüle etmek ve çözmek için geliştirilmiş yeni bir yaklaşım sunmuştur. Yaptıkları bu çalışma ile problemin çözümü için optimizasyon tekniklerinin ilk kez kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu nedenle bu çalışma, dal ve sınır algoritması (Branch and Bound Algorithm) kullanarak bir hidrometrik ağ çalışmasını optimize etmeye yönelik ilk girişimdir. Çalışmalarında optimal çözümü elde etmek için *gezgin satıcı algoritması* (Traveling Salesman Algorithm) kullanmışlardır. Uygulama alanı olarak Manitoba'daki Dauphin alanı seçilmiş ve "optimal" bir çözüm elde edilmiştir. Problemi belirli bir alan içinde bir hidrometrik gözlem ağını çalıştırmak için en uygun rotayı belirlemek olarak tanımlamışlardır. Eğer bu rota optimal ise, ağın işletme maliyeti azalacaktır. Yöntem bu çalışmada *gezici hidrometrik teknisyen problemi* olarak anılmıştır. Çalışmada her teknisyen tarafından kullanılan rotalar, deneyim ve eğitime dayalı olarak optimize edilmiştir. Elde edilen optimal sonuç mevcut saha uygulaması ile karşılaştırıldığında sonuçların gerçekçi olduğu görülmüştür.

Simonovic, Pelletier ve Barlishen (1988) belirli bir bölge içindeki hidrometrik gözlem ağları için optimal rotanın belirlenmesi amacıyla çalışmışlardır. Bu optimizasyon probleminin temel amacı ise ağ işletme maliyetinin düşürülmesidir. Çalışmada problemin bir günlük iş eşdeğerine bölünmesine dayanan iki orijinal algoritma sunulmaktadır. Sunulan algoritmaların her ikisinde de optimizasyonu daha verimli hale getirmek için sezgisel kurallar kullanılmıştır. Sezgisel algoritmalar, teknisyenin bir gün içinde hizmet verebileceği ağ parçası için en uygun atamayı üretmek amacıyla kullanılan Eastman (1958)'in dal ve sınır tekniğine dayanmaktadır. Çalışmadaki iki farklı yaklaşım kullanılsa da dikkate alınan ağ sistemleri aynıdır. Ancak elde edilen sonuçlar aynı ağ üzerinde uygulanan “Gezgin Satıcı Algoritması” ile karşılaştırıldığında farklılıklar göstermiştir. Uygulanan yöntem sayesinde çözüm hızı oldukça artmış, kişisel bilgisayarların kapasiteleri ile uyumlu hale getirilmiştir.

Husain (1989) çalışmasında bir havzadaki hem ölçüm alınan hem de ölçüm alınmayan ağlardaki bölgesel hidrolojik belirsizliği ve bilgiyi tahmin etmek için entropi kavramını kullanan basit bir metodoloji sunmaktadır. Metodoloji iki kısımda incelenmiştir. Bunlardan ilki, “yoğun ağdan bilgilerin en yüksek düzeyde transferi” kriter kabul edilmiş ve optimum istasyon seçimi gerçekleştirilmiştir. İkincisi dağınık haldeki mevcut ağın verileri kullanılarak ağın genişletilmesidir. Optimum hidrolojik ağ tasarımı için elde edilen yöntem, Sleeper Nehri Deneysel Havzasındaki 29 yağış ölçeri barındıran hidrometri ağından elde edilen veriler kullanılarak test edilmiştir. İstasyon ağındaki azalmanın sağlanması amacıyla havza üç alt bölgeye ayrılmış ve her bir alt bölgedeki optimum istasyonlar ve bunların yerleri belirlenmiştir. Şebeke genişletme metodolojisini uygulamak için sadece 13 istasyondan oluşan şebeke kullanılmış ve istasyonlar birleştirilerek uygun üçgen elemanlar oluşturulmuştur. Hat parçaları üzerinde çeşitli noktalarda hidrolojik bilgiler hesaplanmış ve bilgi konturları çizilerek kritik bilgi bölgeleri belirlenmiştir.

Harmancıoğlu ve Alpaslan (1992) verimliliği ve bir ağın maliyet etkililiğinin değerlendirilmesini ele almak için bilgi teorisinin Entropi ilkesine dayanan istatistiksel bir prosedür önermiştir. İstatistiksel tabanlı Entropi teknikleri kullanılarak hidrometrik ağda verimlilik ve maliyet değerlendirilmiştir. Entropi ilkesinin gözlem ağı tasarımında uygulanabilirliği Türkiye'deki Porsuk Nehir havzası üzerinde araştırılmıştır. Ele alınan havzanın Türkiye’de işletilen tüm diğer ağlar arasında en az eksik veri setine sahip olduğu vurgulanmıştır. Analizlerde havzada bulunan 10 adet istasyondan 4’ü kısa dönem verilere sahip olmaları nedeniyle kullanılmamıştır. Su kalitesi değerlendirmesi için kirliliğin ana göstergesi olarak oksijen çözünürlüğü (Oxygen Demand), klorür (Chloride) ve elektrik iletkenliği (Electrical Conductivity) gibi üç farklı ana parametre değerleri kullanılmıştır. Çalışmada istasyonlardan elde edilen veriler hem zamansal frekans hem de mekânsal frekans olarak değerlendirilmiştir. Analizler sonuçları, Entropi yaklaşımının mevcut bir ağı değerlendirmek için oldukça iyi bir yöntem olduğunu göstermiştir. Çalışmada ayrıca bu yöntemin uygulanması için eski rasatların mevcut olması gerekliliği vurgulanmaktadır. Bununla birlikte yöntemin uygulanması sırasında sayısal zorlukların meydana geldiği, özellikle kovaryans matrisinin seçilen örnek boyutları çok küçük olduğunda determinantın küçük geldiği ve Entropi ölçümlerinin bu tür durumlarda güvenilir olmadığı vurgulanmıştır. Entropi ilkesinin, verimlilik ve fayda/maliyet parametrelerinin nicel değerlendirmesine izin verdiği için bazı matematiksel zorluklara rağmen hidrolojik ağ tasarım problemlerinde kullanılabilecek bir yöntem olduğu belirtilmektedir. İzleme uygulamaları bilginin bir

fonksiyonu şeklinde ve nicel olarak değerlendirilebildiğinden mevcut ağı teknik (zamansal, mekânsal ve birleşik zamansal-mekânsal) özelliklerinin değerlendirilmesinde Entropi ilkesinin uygulanmasının oldukça iyi sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

Cameron ve Hunter (2002) çalışmalarında, uzun süreli izlenen (Long-Term Monitoring) ağların optimizasyonu için mekânsal ve zamansal bir algoritma (jeo-istatistiksel zamansal-mekânsal veya Geostatistical Temporal-Spatial) geliştirmişlerdir. Sunulan algorithmada iki farklı etken üzerinde durulmuştur. Bunlardan ilki belirlenen ölçüm kuyularından alınan örneklerin sıklığının fazla olup olmaması, diğeri ise gözlem kuyusu sayısının fazla olup olmamasıdır. Öncelikli amaç gözlem kuyularından elde edilen istatistiksel bilgileri kaybetmeden bu ağların ne kadar kısıtlanabileceğini belirlemektir. Algoritmayı test etmek için iki yeraltı suyu kuyusuna ait veri bulutundan elde edilen kayıtlar kullanılmıştır. Yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesini önemli ölçüde etkilemeyen kuyuların ağdan çıkarılmasıyla mekânsal fazlalığın azaltılabileceği vurgulanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Massachusetts Askeri Rezervi'nden (MMR) elde edilen uygulama sonuçları, optimizasyon sayesinde GTS (Geostatistical Temporal-Spatial) kullanılarak numune alma, analiz ve işletme maliyetlerinde önemli tasarrufların gerçekleştirilebileceği kanıtlanmıştır.

Pozdnoukhov ve Kanevski (2006), makine öğrenimi tekniğine dayanan ağ optimizasyonunu izlemek için yeni bir yöntem sunmuştur. Çalışma, önerilen mekânsal konumun sınıflandırma modeli için önemli olup olmadığı sorusuna doğrudan cevap vermesi açısından problem odaklıdır. Geleneksel yöntem Kriging metoduna alternatif bir yöntem olarak SVM (Support Vector Machine) modelini kullanmışlardır. SVM modeli, sınırların doğrudan iyileştirmesi ve böylece test hatasının en aza indirilmesini amaçlamaktadır. Kriging varyans analizine dayalı geleneksel yöntem ile ağ optimizasyonunun izlenmesi için önerilen SVM tabanlı yöntemin karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yöntemin, az sayıda ek ölçüm alarak sınıflandırma modellerinin doğruluğunu artırmak için kullanılabildiği de vurgulanmıştır. Yöntem, iklim verilerinin de kullanıldığı gerçek bir vaka çalışması üzerinde geleneksel yaklaşım (Kriging varyans) sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çetinkaya, Fıstıkoğlu, Fedra ve Harmancıoğlu (2008) Gediz Nehri Havzasında uygulanmak üzere su yönetimi için bilgi tabanlı bir teknoloji kullandıkları çalışmalarında veri tabanından elde edilen veriler ile dinamik simülasyon model uygulaması gerçekleştirmiştir. Yapılan analizler temel olarak alternatif su yönetimi senaryolarının karşılaştırılmasına

dayanmaktadır. Yapılan çalışmalar Avrupa Komisyon programı bulunan iki ana unsur kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu unsurlar SMART (Sustainable Management of Scarce Resources in the Coastal Zone) ve OPTIMA (Optimization for Sustainable Water Management) olarak isimlendirilmiştir. Her iki unsur için yapılan çalışmada da WaterWare adı verilen su bütçesi simülasyon modeli kullanılmıştır. Optimizasyon için havzanın gerçekçi, ayrıntılı ve dinamik bir temsiline dayanan sezgisel yöntemleri ve genetik algoritma kavramlarını kullanmışlardır. Analizler yağışlı (1982 yılı) ve kurak (1991 yılı) bir yılla ilgili temel senaryolar için simülasyon modeli içermektedir. Her iki yıl için yapılan çalışmalarda da belirlenen kısıtlamalara göre uygun çözüm elde edilmemiş, kısıtlamaların biraz esnetilmesi ile uygun 50 adet çözüm bulunarak bu çözümler ise optimizasyondan sonra analizlerde kullanılmıştır. OPTIMA bünyesinde yapılan simülasyon çalışmaları, Gediz Havzası'nın kuraklık koşullarına oldukça duyarlı olduğunu ve sulamanın su kıtlığından en çok etkilenen sektör olduğunu göstermiştir.

Laizé, Marsh ve Morris (2008) Birleşik Krallık ölçüm istasyon ağındaki bireysel havzaların stratejik önemini değerlendirmek için mekânsal tanımlayıcıların nasıl kullanılabileceğini araştırmışlardır. Çalışma, bölgeselleşme için stratejik önemi açısından ağı ve bireysel olarak gözlem alınmış havzaları değerlendirmeye odaklanmaktadır. Havza fayda endeksi CUI (catchment utility index), bir dizi nehir akışı değişkeni ve rejim özelliği için bilgi aktarım potansiyeli ile ilgili olarak bir havzanın değerinin bir ölçüsünü sağlamaktadır. Kapsama sayısı NI (Number of Inclusions), yani bir havzanın bir kapsama grubuna dahil edilme sayısı hesaplanmıştır. Her bir havza için toplam puan sayısı daha sonra ortalama puanını AS (Average Score) vermek için kapsama sayısına bölünerek bulunmuştur. CUI parametresinin NI ve AS'yi her ikisine de benzer ağırlıklar verecek şekilde birleştirdiği ifade edilmektedir. Elde edilen sonuçlardan, en faydalı su toplama alanlarının yüksek NI ve AS veya en az faydalı olanların düşük NI ve AS değerlerinden elde edildikleri görülmüştür. Ancak uygulamada ölçülen havzaların yaklaşık %80'inin orta CUI aralığında (20-40 içinde) olduğu tespit edilmiştir. Değerlendirmeler, düşük CUI değerine sahip istasyonların yüksek CUI değerine sahip istasyonlara göre yatırım potansiyellerinin düşük olduğu yönündedir. Böylece ilgili paydaş ve karar vericilerin yatırım kararlarında yardımcı olacak somut bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Alfonso, Lobbrecht ve Price (2010a) hidrolojik izleme ağlarını tasarlamak için bilgi teorisini kullanan daha önce yayınlanmış yöntemlerde birtakım değişiklikler sunmaktadır. Bu değişiklikler entropi analizi için bir hidrodinamik modelleme içermektedir. Yaklaşım WMP

(water level monitoring design in polders) Hollanda'nın Pijnacker bölgesindeki bir gözlem alanına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar çok sayıda hedef su seviyesine rağmen, bir gözlem alanının bilgilerini toplamak için nispeten az sayıda monitörün yeterli olduğunu göstermiştir. WMP yaklaşımının, gözlem alanı sistemleri için izleme ağlarının tasarımı için uygun ve basit bir yöntem olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Alfonso, Lobbrecht ve Price (2010b) herhangi bir izleme ağının tasarımının (veya optimizasyonunun) arkasındaki ana fikrin, izlenmeyen konumlardaki ilgili değişkenlerin tahmini ile ilgili belirsizliği azaltmak olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmanın esas olarak iki ana amacı vardır: Alfonso ve diğerleri (2010a) tarafından sunulan temelde aynı problem için çok amaçlı bir optimizasyon çözümünü araştırmak ve orijinal probleme ek, pratik kısıtlamalar eklemek ve yeni çözümün Alfonso ve diğerleri (2010a) tarafından açıklanan yöntemi tamamlayıcı nitelikte olduğunu ve ilk yöntemde karşılanamayan ek kısıtlamaları içerecek şekilde tasarlamaktır. Bu yaklaşım ile bilgi teorisi ölçümlerine dayalı olarak su seviyesi gözlem istasyonlarını yerleştirmek için bir yöntem sunmuşlardır. İlk olarak bir izleme setinin toplayabildiği bilgi içeriği miktarını değerlendiren ortak entropi elde edilmiş, devamında ise ağdaki istasyonlar arasındaki bağımlılık veya fazlalık seviyesini değerlendiren toplam korelasyon çalışılmıştır. Böylece çok amaçlı bir optimizasyon problemi elde edilmiştir. Yapılan her iki analizde de kümenin ortak entropisi maksimize edilmiş ve toplam korelasyonu minimize edilmiştir. Yöntem, Hollanda'nın Delfland bölgesinde bir vaka çalışması olarak uygulanmış ve su seviyelerini kontrol eden istasyonlar üzerinde çalışılmıştır. Bu tür sistemler tarafından sağlanan bilgiler, yapıların işleyişine yönelik karar verme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Ortak entropinin maksimizasyonu ile toplam bilgi içeriğinin %82 ile %85'ini kapsayan sonuçlar elde edilebilmiştir.

Güney Florida Su Yönetimi Bölgesi SFWMD, bilgiden ödün vermeden mümkün olan en iyi konumdaki en az sayıda izleme istasyonundan veri toplamak için mevcut izleme istasyonları ağını optimize etmeye çalışmaktadır. Martinez, Merwade ve Maidment (2010) benzer amaçla Tabu seçim arama algoritmasını (Tabu Search) SFWMD içindeki göller ve akarsulardaki su seviyesi izleme istasyonlarını optimize etmek için kullanılmıştır. Çalışma, göllerde ve akarsularda su seviyesi izleme ağını optimize etmek için mekânsal verileri, zamansal verileri, bir optimizasyon algoritması olarak Tabu aramasını ve bir hidrolik simülasyon modelini entegre eden CBS tabanlı bir metodoloji önermektedir. (n) sayıda istasyondan oluşan bir ağ göz önüne alındığında, uygulanan metodoloji belirli bir tolerans

dahilinde göllerde ve akarsulardaki su yüzeyi seviyelerini tahmin etmek için mevcut ağ içindeki $(r) < (n)$ izleme istasyonlarının bulunduğu en iyi (r) mekânsal kombinasyonunu aramayı içermektedir. Çalışmada akarsularda Tabu Ağ Optimizasyonu için üç girdi kullanılmıştır. Bunlar; akarsu boyunca tüm istasyonlardaki akış ve su yüzeyi yükseklikleri verileri, Coğrafi Bilgi Sistemi kesitleri ve Tabu arama parametreleridir. Tabu aramasından elde edilen olası çözümlerin gözlemlenen günlük verilerle karşılaştırılması için göllerdeki ve akarsulardaki su seviyeleri hesaplanmış ve bu hesaplamalar için farklı teknikler kullanılmıştır. Önerilen tekniklerin Kissimmee Nehri havzasında uygulanmasından elde edilen sonuçlardan, Tabu aramasının coğrafi bilgi sistemi (CBS) içinde uygulanmasının su seviyesi izleme ağını optimize etmek için hesaplama açısından verimli bir yol sağladığını göstermiştir. Ayrıca, veri kayıtlarının uzunluğu, hidrolik profillerin eğimi ve kontrol yapılarındaki veriler gibi faktörler genel optimizasyon sürecinde önemli bir rol oynamaktadır.

Murtojarvi, Suominen, Uusipaikka ve Nevalainen (2011) mevcut bir gözlem ağını optimize etmek için bir yöntem (Budama Algoritması- Pruning Algorithm) önermişlerdir. Yöntem, Güney Batı Finlandiya'daki Takımadalar Denizi'ndeki bir gözlem ağı için uygulanmıştır. Ağda bulunan istasyonlardan bazıları, kalan istasyonlar kullanılarak kaldırılan istasyon gözlemlerinin tahmin edilebilmesi şartıyla budanmıştır. Budama işleminde 2. seviye bir bölge içinde istasyonlar varsa, bunlardan en az birinin kalması bir ön koşuldur. Dikkate alınması gereken diğer bir faktör, bazı istasyonların kaldırılmaması gerekliliğidir. Uzun ve tutarlı zaman serilerine sahip bir istasyonun kaldırılmaması ve faaliyetlerine devam etmesi ön kısıtlar arasındadır. Hesaplama süresini kabul edilebilir bir seviyede tutmak için budamada sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Takımadalar Denizi'ndeki ağ için budama sonuçlarının, istasyon seçimi için kullanılan emsal veri kümeleri ve sezgisel yöntemlerdeki farklılıklara duyarlı olduğu görülmüştür.

C. Li, Singh ve Mishra (2012) hidrometrik ağların değerlendirilmesi için genel bir yaklaşım sunmuşlardır. İlk olarak, maksimum bilgi minimum tekrar (MIMR-Maximum Information Minimum Redundancy) olarak adlandırılan entropi teorisine dayalı bir kriter önermişlerdir. MIMR kriterleri, optimal küme içindeki istasyonların ortak entropisini ve optimal kümenin içindeki ve dışındaki istasyonlar arasındaki dönüşüm bilgilerini maksimize etmeye, bununla birlikte optimal kümenin minimum yinelenen bilgi içermesini sağlamaya çalışmaktadır. MIMR, bir aday setten istasyonların seçilmesinde (veya sıralanmasında) yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntem ile seçilen istasyonlardaki genel bilgiyi en üst düzeye çıkarmak,

bilgi geçiş yeteneğini en st düzeye çıkarmak ve gereksiz bilgileri en aza indirmek amaçlanmaktadır. Bununla birlikte yeni istasyon yerleştirme maliyeti gibi diğer hususlar çalışmaya dahil edilmemiştir. MIMR'nin hidrometrik ağ değerlendirmesi ve tasarımında uygulanabilirliğini göstermek için iki saha üzerinde örnek çalışma gerçekleştirilmiştir. İlk durum, mevcut bir akım ölçüm ağının nasıl değerlendirileceğini göstermektedir. Bu alışma, Teksas'taki Brazos Nehri'nin ana akışında bulunan akış lrlerin önemini sıralamayı amaçlamaktadır. İkinci durum, yoğun bir su seviyesi izleme sisteminden istasyonları en uygun şekilde seçmenin yolunu göstermektedir. MIMR seçiminin performansı Alfonso ve diğerleri (2010a) tarafından geliştirilen başka bir entropi tabanlı yöntemle (WMP) karşılaştırılmıştır. Çalışmada Alfonso ve diğerleri (2010a) tarafından sunulan kontrollü bir su seviyesi izleme sisteminin su seviyesi zaman serileri kullanılmıştır. Sistem, Pijnacker, Delfland, Hollanda'nın alçak bir bölgesinde yer almaktadır. Bu noktalar için su seviyesi zaman serileri Delfland Su Kurulu tarafından oluşturulan bir hidrodinamik modelden oluşturulmuştur. MIMR tarafından seçilen istasyonlarla karşılaştırıldığında, WMP'lerden elde edilen istasyonlar, akış boyunca kümelenmiş ve MIMR'ye göre daha fazla kopyalanmış bilgi içerdikleri tespit edilmiştir. Bu anlamda MIMR yönteminin daha güvenli olduğu belirtilmektedir. Elde edilen sonuçlar, MIMR'nin yüksek bilgi içeriğine sahip istasyonları ve bağımsız istasyonları bulma konusunda uygun olduğunu göstermiştir. MIMR kullanılarak, seçilen ağın en yüksek bilgi içeriğini sağlayabildiği, bağımlı istasyonlardan mümkün olduğunca kaçınabileceği ve böylece optimal kümenin içindeki ve dışındaki istasyonların yüksek ortak bilgiye sahip olabileceği ifade edilmiştir. Sonuç olarak önerilen yaklaşımın herhangi bir hidrometrik ağ tipinin tasarımı (veya değerlendirilmesi) için uygun olduğu vurgulanmıştır.

Coulibaly, Samuel, Pietroniro ve Harvey (2013) Kanada Ulusal Hidrometrik Ağı CNHN'i (Canadian National Hydrometric Network) Dünya Meteoroloji rgt WMO (World Meteorological Organization) (2008)'in yönergelerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Organization (2008)'e göre minimum ağ yoğunluğu standartlarını karşılayan ve karşılamayan alanları belirlemek için mekânsal analiz teknikleri uygulanmıştır. Kanada karasal alanının sadece yaklaşık %12'sinin Organization (2008) minimum standartlarını karşılayan hidrometrik ağlarla kapsandığı, karasal alanın %49'unun yetersiz ölçüldüğü ve yaklaşık %39'unun ölçülmemiş olduğu bulunmuştur. Bölgede rasat verilerinin eksik olduğu ölçülmemiş alanların büyük ölçüde dağlık ve kuzey bölgelerde yer aldığı belirtilmektedir. Çalışma sonucunda ülkenin güney kesimlerinde sadece birkaç noktada, Organization (2008)

minimum tavsiyesini karşılayan bir akım ağı yoğunluğuna sahip bölge olduğu görülmüştür. Ayrıca CNHN'yi WMO (2008) minimum standart düzeyine getirmek için tahmini toplam yaklaşık 5041 yeni istasyona ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları, mevcut tüm akım gözlem istasyonlarının işletmeye devam etmesi gerektiğini ve yeni ek akım gözlem istasyonlarına ihtiyaç olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, nüfus yoğunluğu, özel ihtiyaçlar ve ekonomik kısıtlamalar gibi diğer faktörleri hesaba katarak CNHN'yi bölgesel ölçekte optimize etmek için daha fazla analizin gerekli olduğu belirtilmektedir.

Gözlem istasyonu bulunmayan (ölçüm mevcut olmayan) havzalar için akış tahminleri genellikle mevcut ölçüm istasyonlarıyla (havuzlama grupları) hidrolojik olarak benzer bir havzadan elde edilen veriler yardımıyla sağlanan bölgeselleştirme yöntemleriyle türetilir. Hannaford, Holmes, Laizé, Marsh ve Young (2013) çalışmalarında, yüksek ve düşük akım tahmini için yaygın olarak kullanılan havuzlama grubu metodolojileri içinde ölçülen havzaların faydasını göstermek amacıyla yeni bir metodoloji sunmuşlardır. Önerilen metodoloji daha sonra bir ağ değerlendirme stratejisinin temeli olarak kullanılmıştır. Bu yöntemle gözlem istasyonlarının faydası, su toplama özellikleri ve hidrometrik performans, antropojenik bozulmalar ve kayıt uzunluğu gibi parametreler dikkate alınarak ölçüm istasyonu verilerinin kalitesine paralel ancak istasyonlardan bağımsız bir değerlendirme elde edilmiştir. Yöntem, İngiltere ve Galler'de 1100'den fazla ölçüm istasyonundan oluşan ulusal hidrometri ağına uygulanarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada ilk olarak ağın bölgeselleştirme amacına uygunluğunu değerlendirilmiştir. Daha sonra, bölgeselleştirme için yüksek potansiyele sahip, ancak veri kalitesi açısından yetersiz olan havzaları izleyen istasyonlar belirlenmiş ve böylece hidrometrik performanstaki yükseltmelerin en büyük faydaları sağlayacağı yerler tespit edilmiştir. Sonuç olarak, kullanılan havuzlama grubu kriterleri göz önüne alındığında, bölgeselleştirme için sınırlanmış değere sahip ölçüm istasyonları belirlenmiştir. Ağ değerlendirmesi için literatürde yayınlanmış tekniklerin çoğu, ölçüm istasyonları tarafından sağlanan verilerin kalitesine değinmemiştir. Bu açıdan önerilen çalışma, önceki ağ değerlendirme stratejilerindeki bazı boşlukları da ele almayı amaçlamaktadır. Önerilen metodoloji hem bir havzanın faydasını hem de ilgili ölçüm istasyonu tarafından üretilen verilerin kalitesini değerlendirmektedir. Laizé ve diğerleri (2008)'in çalışmasının devamı niteliğinde olan bu çalışma ölçüm istasyonlarının faydasını ve bunlarla ilişkili havzaları, öncelikle yaygın olarak kullanılan bölgeselleştirme yöntemlerindeki faydalar açısından sayısallaştırmıştır. Yöntemin önemli diğer bir özelliği ise 1000'den fazla ölçüm istasyonundan oluşan bir ağa hızla

uygulanabilmesi, uygulanan tekniğin nispeten sade olması ve yorumlanması kolay sonuçlar üretmesidir. Önceki birçok çalışmada açıkça tercih edilen istatistiksel yaklaşımlardan ziyade havza ve istasyon niteliklerine dayalı bir puanlama sistemi tercih edilmiştir. Metodoloji, bölgeselleştirme için ölçülmüş bir havzanın faydasına ve ölçüm istasyonunun kendisi tarafından üretilen verilerin kalitesine ilişkin ayrı değerlendirmelere izin verecek şekilde tasarlanmıştır.

Samuel, Coulibaly ve Kollat (2013), yeni ağların tasarımı veya mevcut ağların değerlendirilmesi kavramı ile ilgilenmişlerdir. Burada optimal bir minimum ağ olarak kabul edilen Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO-World Meteorology Organization) standartlarını karşılayan minimum ağı belirlemek için birleşik bir bölgeselleştirme ve ikili entropi-çok amaçlı optimizasyon (CRDEMO-Combined Regionalization and Dual Entropy-Multiobjective Optimization) yöntemi önerilmiştir. Yeni ek istasyonlar için potansiyel konumlardaki akımları tahmin etmek amacıyla bir bölgeselleştirme yaklaşımı kullanılırken mümkün olan maksimum bilgi içeriği ile istasyonlar arasında minimum paylaşılan bilgi arasındaki optimal dengeleri belirlemek için de ikili entropi-çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Yöntem, Kanada'da bulunan iki nehir havzasında, yani St. John Nehri ve St. Lawrence Nehri havzalarında incelenmiştir. Değerlendirmelerden St. John Nehri havzasının St. Lawrence Nehri havzasına kıyasla daha yüksek bir ağ yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür. Analiz sonuçları, St. Lawrence Nehri havzasının WMO minimum ağ yoğunluğunu karşılamak için çok sayıda yeni ek istasyon gerektirdiğini göstermiştir. Ayrıca mevcut istasyonların St. Lawrence Nehri havzasındaki yeni istasyon yerlerinin belirlenmesinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, St. John Nehri havzasında, mevcut istasyonların sayılarının fazla olması nedeniyle, mevcut istasyonlar yeni istasyonların yerlerinin belirlenmesinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak, CRDEMO tekniğinin optimal minimum hidrometrik ağları tasarlamak için geçerli bir yöntem olduğu ve mevcut ile önerilen ağları değerlendirmek için yararlı bir araç olabileceği vurgulanmıştır.

Çetinkaya ve Harmancıoğlu (2014) son zamanlarda Türkiye'deki ilgili kurumların mevcut ekonomik baskılar ışığında tüm havza ağlarında bir denetim olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada özellikle, bir ağdaki belirli bir gözlem istasyonunun kullanıma devam edip etmeyeceğine veya sonlandırılmasına nasıl karar verebileceği sorgulanmıştır. Bu nedenle bu çalışmada “referans noktası yaklaşımı” (RPA-Reference Point Approach) olarak adlandırılan bir yöntemin ağ değerlendirmesi ve azaltma amaçları için uygulanabilirliği ele

alınmıştır. Çalışmanın temel amacı, değişken amaçlar doğrultusunda mevcut akım gözlem ağlarının “performansının” değerlendirilmesine odaklanan, kolay uygulanabilir ve esnek bir ağ azaltma metodolojisi geliştirmektir. Metodoloji, Türkiye'nin Ege kıyısında yer alan Gediz Havzası içerisindeki 13 hidrometrik istasyona uygulanmıştır. Sonuçlar, daha karmaşık hesaplama tekniklerinin aksine, yöntemin basitliği ve izleme kurumu ve ağ tasarımcısı arasındaki etkileşimin artmasını sağlayacak bir değerlendirme prosedürü önerildiğini göstermiştir. Ayrıca yöntem sayesinde karar vericilerin metodolojinin uygulanmasına katılımı kolaylaşmaktadır. Yöntem, çoklu gözlem amaçları ve havza ağının istenen nitelikleri açısından hidrometrik istasyonların sıralanmasına izin vermektedir. Yaklaşımın bir diğer ayırt edici özelliği de sınırlı veri ve üst veri içeren durumlarda karar vermeye yardımcı olmasıdır. RPA yaklaşımının bu özelliklerinin, mevcut ağ değerlendirme ve azaltma yöntemlerine göre avantaj sağladığı belirtilmektedir.

Şiddetli fırtınalar, seller ve kuraklıklar gibi aşırı hidrolojik durumlar, doğası gereği mevsimseldir ve hidrometrik ağların tasarlanmasında ana endişe olmaya devam etmektedir. Genel olarak hidrometrik gözlem ağları, ölçüm istasyonlarındaki mevsimsel akım bilgilerinin (SSI-Seasonal Streamflow Information) hidrometri ağının verimliliği üzerindeki etkisine özellikle dikkat edilmeden tasarlanmıştır. Bu durum göz önüne alınarak Mishra ve Coulibaly (2014) mevsimsel bazda ölçüm istasyonları arasındaki karşılıklı bilgiyi tahmin etmek için Entropi teorisinin parametrik olmayan uygulamasına dayalı olarak SSI'nın akım ağları üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Genel olarak, bireysel istasyonların SSI'nın mevsime bağlı olduğu ve akarsu akım ağının verimliliğinin de mevsime bağlı olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle mevsimselliğin etkisinin gelecekteki hidrometri gözlem ağı tasarımına dahil edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Bu metodoloji Kanada'daki beş nehir havzasında uygulanmış ve ağ tasarımıdaki rolü tartışılmıştır. Değişen mevsimsel akarsu akış deseni nedeniyle SSI'da mekânsal dinamikleri gösteren istasyonların standart sapmasının değiştiği görülmüştür. Bir istasyon için sıfır standart sapma gözlenmediğinden mevsimsel iklimin tüm istasyonları etkilediği vurgulanmıştır. Maksimum standart sapmaya sahip istasyonların ise mevsimsel değişkenlikten daha fazla etkilendiği ifade edilmiştir. Bununla birlikte drenaj alanı istasyon sıralarını ve standart sapmayı etkilemediği ve bazı istasyonların benzer standart sapmaya sahip oldukları ancak bunun nedeninin pik akım açısından benzerlik gösteren istasyonların benzer standart sapmaya sahip olmaları nedeniyle olduğu vurgulanmıştır.

Hailegeorgis, Abdella, Alfredsen ve Kolberg (2015) Norveç bulunan 26 havzanın saatlik verilerini kullanarak kalibrasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada üç adet yağış-akış modeli kullanılmıştır. Bunlar, lineer olmayan model (Kirchmod), HBV modeli (Hydrologiska Byråns Vattenballansavdelning) ve temel grid modelidir (Basic Grid Model). Ayrıca çalışmada; maksimum bölgesel ağırlıklı ortalama performans ölçümleri (PMs-Performance Measures), optimal parametrelerin bölgesel medyanı, en yakın komşu (NN-Nearest Neighbor) ve fiziksel benzerlik (PS-Physical Similarity) gibi dört farklı bölgeselleştirme tekniği de uygulanarak değerlendirmeye katılmıştır. Sonuçlar, üç farklı model üzerinde karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bölgedeki saatlik akım verileri ile gerçekleştirilen ilk bölgeselleştirme uygulaması olduğu vurgulanmıştır. PS (fiziksel benzerlik) parametresinin içeriğinin hipsometrik eğriler, arazi kullanımı, drenaj yoğunluğu, toplanma alanı, arazi eğimi, ana kaya jeolojisi, toprak tipi ve tümünün kombinasyonu olduğu ifade edilmiştir. Model performansı olarak Kirchmod yönteminin en yüksek bölgesel medyan performansına sahip olduğu vurgulanmıştır. Korelasyon analizi olarak ($>0,6$) değerini kullanmışlar ve bu kısıtı büyük pozitif lineer korelasyon değeri olarak ele almışlardır. Bölgeselleştirme yöntemlerinin belirlenmesinin modellere, PM'ye ve bunların istatistiksel değerlendirmesine bağlı olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte yöntemlerin bireysel havzalar için daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Halverson ve Fleming (2015) bu çalışmada şebeke teorisini (Network Theory) Britanya Kolombiya Sahil Dağları (BC) ve Yukon, Kanada'da bulunan bir dizi akım ölçüm istasyonuna uygulamışlardır. Kullanılan Arasındalık Analizleri (Betweenness Analyses), topluluklar arasında köprü görevi gören ve oldukça değerli olabilecek bir avuç kilit istasyon önermektedir. Bu çalışmada, yalnızca sürekli günlük debi kayıtları bulunan istasyonlar seçilmiş ve coğrafi olarak sınır Kıyı Dağlarından kaynaklanan nehirlerdeki istasyonlarla sınırlandırılmıştır. İstasyon seçimi, barajlar veya diğer yapılar tarafından düzenlenen nehirler hariç tutularak yalnızca doğal drenajları mevcut olacak şekilde yapılmıştır. Analizde kullanılan istasyon sayısını arttırmak için 2000-2009 yılları arasındaki mevcut veriler kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması için mevcut gözlem ağındaki istasyonlar 10 topluluğa ayrılmıştır. Bu topluluklardan 5'i sadece bir istasyon içermektedir. Analizler sonucunda kullanılan algoritmanın, istasyonların %90'ını üç topluluğa yerleştirirken, %10'luk kısmının ise tek ve küçük üyeli topluluklara yerleştirildiği görülmüştür. Arasındalık analizleri sonucunda 7 istasyonun değerlerinin diğerlerinden oldukça yüksek olduğu ve bu istasyonların en büyük üç topluluğu birbirine bağladığı ifade edilmektedir. Bu 7 istasyonun

her biri için klimatolojik hidrografların katıldığı topluluk hidrograflarına benzemesinin beklentiler yönünde olduğu anlaşılmıştır. Ağ teorisi açısından, yüksek arasındalık değerine sahip istasyonların topluluklar arasında köprüler olarak göz önüne alındığını ve ağ istikrarı için önemli oldukları ifade edilmiştir. Bu nedenle bu istasyonların gözlem ağının temel üyeleri oldukları vurgulanmıştır.

Kovacs ve diğerleri (2015), Tuna Nehri, bir sulak alan-göl sistemi (Kis-Balaton ve Balaton Gölü) ve havzadaki bir yeraltı su sisteminin gözlem ağlarının mekânsal optimizasyonunu araştırmıştır. Yeni bir yöntem olan Kombine küme ve Diskriminant Analizi (CCDA-Combined Cluster and Discriminant Analysis) yöntemi ile yaklaşık yirmi yıllık bir süre boyunca kullanılan Neusiedl/Fertő Gölü'nün analizi gerçekleştirilmiştir. Nehir durumu için sonuçlar, izleme ağının belirli bölümleri hakkında fazla bilgi verdiğini, böylece 12 örnekleme sahasının 3 tanesinin sistemden atılabildiğini göstermektedir. Sulak alan (Kis-Balaton) durumunda 12 çift örnekleme alanından bir çifti, Balaton gölü durumunda ise 10 istasyondan 5 tanesinin kapatılabileceğini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, yüzey altı su sistemi için, 50 istasyonun tamamı özel bilgiler içerdiği için bunların tümünün gerekli olduğu ifade edilmiştir. Ek olarak, komşu örnekleme siteleri CCDA yöntemi ile ikili olarak karşılaştırılmış ve ilgili sonuçlar diyagramlarda veya en büyük farklılıkların yerini gösteren “fark haritaları” olarak ifade edilmiştir. Bu yaklaşım aynı zamanda araştırmacıya, belirlenen bir olasılık ortaya çıkarsa yeni örnekleme alanlarının nerelere yerleştirebileceğini ifade etmektedir. Önerilen metodolojinin akım gözlem ağlarının optimizasyonunda oldukça faydalı sonuçlar sunduğu vurgulanmaktadır.

Leach, Kornelsen, Samuel ve Coulibaly (2015) bir havzanın seçilmiş hidrolojik özelliklerinin hidrometrik ağların mekânsal değişkenliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma, Kanada’da bulunan iki havzada, özellikle Ontario'nun Hamilton, Halton, Credit Valley havzalarında ve British Columbia'nın Columbia Nehri havzasındaki akım gözlem ağları kullanılarak yürütülmüştür. Analizlerde, geniş bir havzada optimum ağların tasarlanması için yeterince başarılı olduğu düşünülen Çift Entropi-Çok Amaçlı Optimizasyon (DEMO) modeli kullanılmıştır. Entropi fonksiyonlarına ek olarak, akım gözlem ağlarının mekânsal değişkenliği, bir havzanın hidrolojik karakter ve hidrolojik değişkenlik (IHA) göstergeleri hariç tutularak veya dahil edilerek incelenmiştir. Entropi işlevleri, mümkün olan maksimum bilgi içeriği ile istasyonlar arasında minimum paylaşılan bilgi arasındaki optimal dengeleri belirlemek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yeni istasyonlar için en uygun konumların amaç fonksiyonları tarafından iyi bir şekilde

yakalandığı ifade edilmektedir. Ayrıca, yeni istasyonlar hidrolojik karakter ve IHA'lar dikkate alındığında daha geniş bir alanı kapsadığı belirtilmiştir. IHA'ların dahil edilmesi mansap ve bozuk bölgelere vurguyu artırırken, nehir akıntısı işaretlerinin dahil edilmesi, nehirlerle vurguyu artırmıştır. Hidrometrik ağların tasarımında bu tür mekânsal değişkenliğin hesaba katılmasının, optimal bir ağ elde etmede çok önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Xu ve diğerleri (2015) hem alansal ortalama değerler hem de mekânsal-zamansal değişkenlik ile güvenilir veriler sağlamak için minimum sayıda yağmur ölçüm istasyonu kullanılarak optimal yağmur ölçüm ağlarının tasarlanmasını amaçlamışlardır. Güney Çin'deki Xiangjiang Nehri Havzasında 185 yağmur ölçüm istasyonundan oluşan yoğun bir yağmur ölçüm ağına dayanan bu çalışmada, yağış serilerinden elde edilen bilgileri aynı anda dikkate alan, Entropi teorisine dayalı çok kriterli bir yöntem kullanılmıştır. Optimal ağlar, iki hidrolojik model kullanılarak incelenmiştir. Bunlar Toplu Xinanjiang modeli ve dağıtılmış SWAT modelidir. Analiz sonuçlarından farklı optimal ağlar kullanan toplu modelin performanslarının sabit olduğunu, dağıtılmış modelin performanslarının ise yağmur ölçüm istasyonu sayısı arttıkça gelişmeye devam ettiğini göstermiştir. Sonuçlar, Entropi teorisine dayalı çok kriterli stratejinin, bölgesel hidrolojik çalışma ve su kaynakları yönetiminde hayati öneme sahip olan yağmur ölçüm ağının optimal tasarımını sağladığını ortaya koymaktadır.

Pham ve Tsai (2016) çalışmasında Box-Hill ayırıklaştırma fonksiyonu ile kavramsal modelleri ayırt ederek ve en iyi modeli seçerek optimal gözlem ağı tasarlamayı amaçlamıştır. Buradaki amaç Box-Hill ayırıklaştırma fonksiyonu azalan Entropi değerini ölçerek eklenen bir gözlem istasyonu için öncesi ve sonrası durumlarını optimum tasarımı için belirlemektir. Ayırıklaştırma fonksiyonu, mekânsal ve zamansal olarak bağımsız ve Gauss dağılımına sahip durumlar için planlanacak birçok gözlem istasyonunu hesaplayabilmek için modifiye edilmiştir. Yöntemin amacı, bir olasılık eşiğine bağlı olarak Box-Hill ayırım fonksiyonu değerini maksimize ederek en uygun konumları ve en az veriyi bulmaktır. Optimal gözlem ağı tasarımı, USGS kuyularından ilave yeraltı suyu yükleri toplamak için Baton Rouge, Louisiana'da bir yeraltı suyu çalışması kullanılarak gösterilmiştir. Eş varyans ve değişken varyans değerlerinin gelecek gözlem verilerinin dikkate alınmasındaki etkileri ve potansiyel gözlem alanları üzerindeki belirsizliklerin kaynakları analiz edilmiştir. Sonuçlar, gelecekteki gözlem belirsizliğinin çeşitli kaynaklarını hesaba katmak için tasarım prosedüründe değişen varyanslılığın dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Boisvert, El-Jabi, El Adlouni, Caissie ve Thiombiano (2017) Kanada'nın New Brunswick bölgesine ait Hidrometri ağını rasyonelleştirmek için bir metodoloji önermiştir. Hiyerarşik bir kümeleme analizi (hierarchical clustering analysis) kullanılarak yerleşim biriminin enlem ve yüksek akış zamanlamasına dayalı olarak iki bölgeye (Kuzey ve Güney) bölünmüştür. Bu gruplar daha sonra, yıllık maksimum akış serisi için her istasyonun genelleştirilmiş uç değer dağılım (GEV-Generalized Extreme Value) şekil parametresine göre üç homojen alt gruba ayrılmıştır. İstasyonlar arasında paylaşılan bilgiyi hesaplayabilmek ve her istasyonun önemini sıralayabilmek için Entropi yöntemi uygulanmıştır. İstasyonlardan fazla bilgi paylaşılanlar düşük derecede öneme sahip, yüksek derecede bilgi paylaşılanlar ise yüksek derecede öneme sahip olarak sınıflandırılmıştır. Ağ rasyonelleştirme yöntemi için Entropi yönteminin kullanışlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Chebby, Bargaoui, Abid ve Cunha (2017) bir hidrometrik ağ tasarımı geliştirmek için Krigging yöntemini kullanmanın avantajlı olduğunu ifade etmektedir. Yeni kurulacak gözlem istasyonlarının en iyi yerlerini belirleyebilmek için optimizasyon yaklaşımlarından Kriging ve benzetilmiş tavlama (Simulated Annealing) yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmadaki amaç mevcut olan hidrometri ağını genişleterek iyi bir havza tanımlayıcısı olan ortalama anlık debi değerlerini gözlem yapılmayan bölgelerde tahmin edebilmektir. Yöntem, Tunus'un kuzeyindeki Medjerda Nehri üzerindeki sınır ötesi bir hidrometrik ağ için kullanılmıştır. Havza sınırları ve merkez noktalarını belirlemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulanmıştır. 12 istasyondan oluşan mevcut ağ boyutu alternatif olarak 1, 2, 3, 4 ve 5 yeni istasyonlar ile artırıldığı senaryolar, jeo-regresyon ve Kriging hatalarının varyansının minimizasyonu kullanılarak araştırılmıştır. Senaryolar arası optimize edilmiş konumların analizi yeni gözlem istasyonları için oldukça iyi bir sonuç ortaya çıkarmıştır. Yeni istasyonların konumları optimizasyon çalışması sonucunda istasyonlar arası hem ortalama hem de maksimum mesafenin artması ile çalışma alanında iyi bir mekânsal dağılım sağlamıştır. Optimizasyonda kullanılan bu prosedürün ortalama drenaj alanlarının daha yüksek debi değerlerini sağlayan havzaları seçmeye eğilimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Keum ve Coulibaly (2017a) çok değişkenli hidrometri ağlarının birleştirilmiş bir tasarımı için yeni bir karar destek yöntemi önermişlerdir. Yöntem, optimum yağış ve akım gözlem ağlarını aynı anda tasarlamak için uygulanmaktadır. Bayesian epsilon-baskın hiyerarşik optimizasyon yöntemi Shannon (1948)'un bilgi teorisine dayanan Entropi yöntemi ile birleştirilmiş ve hidrometrik ağları tasarlamak ve geliştirmek amacıyla kullanılmıştır. Yöntemin özel içeriklerinden biri olarak birleştirilmiş ağlar için ortak Entropi değeri en çok

bilgiyi sağlamak için maksimize edilmeye, gereksiz bilgi azaltılması için de toplam korelasyon minimize edilmeye çalışılmıştır. Ağlar arasındaki optimizasyon değerlerini daha da artırmak için yağış ağlarının bilgilerini veren akış ağının koşullu Entropi değerini maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Birleşik çok değişkenli tasarım yönteminin bireysel değişik dizayn yöntemleri ile kıyaslandığında gereksiz istasyonlardan kaçınmak için daha verimli ağlar tespit edebildiği sonucuna varılmıştır. Ek olarak dört niceleme durumu Entropi hesaplamaları ve optimal ağların belirlenmesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için karşılaştırılmıştır. Değerlendirme sonuçları yöntemin kullanılması ile ilgili bazı öneriler sunmaktadır. İstasyon sıralamaları ve optimal ağların bu değerlendirmelere göre değişebileceği, niceleme yöntemlerinin her bir tasarım problemi için dikkatli bir şekilde değerlendirildikten sonra seçilmesinin gerektiği bu önerilerden birkaçıdır.

Werstuck ve Coulibaly (2017) mevcut bir hidrometri ağına eklenecek istasyonların ağı bilgi içeriğini en iyi tanımlayacak yerleri belirlemek için ikili Entropi-çok amaçlı optimizasyon (DEMO-Dual Entropy Multi-Objective Optimization) yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada bir hidrometri istasyonundan gelen benzersiz bilgilerin (bilgi dönüşüm analizi) katkısı araştırılmıştır. Böylece yöntem içerisinde ağdaki verimlilik objektif olarak ölçülebilecek ve kullanıcılara mevcut hidrometri ağ tasarımının geliştirilmesi hakkında yorumlar yapmasına izin verebilecektir. Ek olarak düzenlenmiş havzaların ve bunların akarsu akışının bölgeselleşmesine ilişkin eğilimlerini belirlemek ve bunlarla ilgilenmek için bir teknik de incelenmiştir. Çalışma için Kanada'nın geniş bir havzası olan ve belirli sayıda hidroelektrik santrali bulunan Ottawa Nehri havzası tercih edilmiştir. TI (TransInformation) analizi sonuçları DEMO analiz sonuçlarını da destekleyen önemli bilgiler sağlamıştır. Düzenlenen havza istasyonlarından çapraz doğrulama kullanılarak çıkarıldığında bölgeselleştirmenin daha doğru olduğu sonucu elde edilmiştir. DEMO analizi kullanılarak Ottawa Nehir havzasındaki yeni hidrometri istasyonları için en uygun konumlar başarıyla belirlenmiştir.

Yazdi (2017) kentsel alanlardaki yeni deşarj istasyonlarının yer seçimi için çok amaçlı optimizasyon araçları ve sayısal modeller ile birlikte Entropi teorisine dayalı bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşım, mümkün olan maksimum bilgi içeriği ile istasyonlar arasında minimum paylaşılan bilgi arasında optimal bir denge sağlamayı amaçlamaktadır. Yöntem Tahran'daki ana yüzey suyu toplama sistemine maliyeti de göz önünde bulundurularak yeni optimal izleme noktalarının belirlenmesi için uygulanmıştır. Drenaj ağı üzerindeki deneysel sonuçlardan hem bilgi içerikleri hem de paylaşılan bilgiler açısından elde edilen uygun

maliyetli tasarımların danışman mühendisler tarafından önerilen planlamalara göre belirgin şekilde daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır. Çalışmada ayrıca karar vericilerin ağ üzerinde ölçüm istasyon kurulumu için öncelik yapmasını sağlayacak Pareto eğrisi sonuçlarına göre sık görülen bölgeler de belirlenmiştir.

Lictevout ve Gocht (2018) mevcut yöntemlerin de gözden geçirilmesine dayalı olarak çok kriterli analiz (Multi Criteria Analysis) yöntemini aşırı kurak alanlar için kullanarak Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographic Information System) ve optimizasyon ile tamamlanan bir metodoloji geliştirmişlerdir. Yöntem erişim için topografya olarak ciddi kısıtlamalara sahip bir alanı optimize etmek için kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı çok kriterli analiz tekniği karşılaştırılmıştır. Bunlar; WS tekniği, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve CP'dir. Bu analizlerde kullanılacak kriter ağırlıkları bağımsız uzmanlar tarafından belirlenmiştir. Karar alternatiflerinin değerlendirilmesi için 11 kriter; erişim süresi, erişim kalitesi, zemin yüzey özellikleri, istasyon drenaj alanı, havza temsili, istasyonlar arası korelasyon seviyesi, işletme ve bakım maliyeti, güvenlik, istasyon işletme süresi, veri kalitesi ve istasyonun kullanılabilirliği olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan WS ve AHP yöntemlerinin CP yöntemine göre daha benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre mevcut 25 olmak üzere 36 adet yağış gözlem istasyonu ve mevcut 12 olmak üzere 21 adet akım gözlem istasyonunun optimum ağ tasarımı için istenilen sonucu verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Werstuck ve Coulibaly (2018) Madawaska havzası (Kanada) için ek istasyonların en uygun yerlerini belirlemek amacıyla DEMO (Dual Entropy Multi-objective Optimization) ve TI (Transinformation) analizlerinin birlikte kullanılmasıyla yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmadaki yenilik mekânsal ölçek ve veri kısıtlılığının sonuçlara etkisini incelemesidir. Bu bakımdan yöntem, bu alandaki eksikliği gidermeye yöneliktir. Bu analiz, bu tür ağ tasarımında mekânsal ölçek etkilerinin araştırılması için Madawaska Havzasını kapsayan Ottawa Nehri Havzası üzerinde yürütülen benzer bir çalışma ile karşılaştırmalı olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda TI analizinin ölçeklendirmeden olumsuz etkilenmediği ancak DEMO analizinin, potansiyel istasyon konumlarının yerleşimine ve çalışma alanının boyutuna duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada ilgilenilen alanda yeterli sayıda istasyon bulunmaması durumunda yakınlardaki istasyonları dahil etmenin faydaları da tartışılmıştır. Civardaki istasyonların dahil edilmesi havzadaki ortalama TI değerini artırdığı için faydalı bilgiler sağladığı sonucuna varılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Madawaska Havzası hidrometri ağı için düşünülen ek istasyonların ideal yerleri hakkında öneriler sunulmuştur.

Hynds, Nasr ve O'Dwyer (2019) İrlanda Cumhuriyeti'nde hidrometrik ağın etkinliğini ve kullanıcı gereksinimlerini uzman görüşü ve istatistiksel analizler yardımıyla değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında hidrometrik ağ kullanıcılarının görüşlerini, bilgilerini ve deneyimlerini harmanlamak, analiz etmek ve değerlendirmek için 203 katılımcıdan oluşan nicel uzman bilgisini kullanmışlardır. Mevcut kullanım kalıpları, algılanan ağ güçleri, gereksinimleri ve sınırlamaları, değişen sosyal, ekonomik ve doğal ortamda hidrometrik dayanıklılık bağlamında tanımlanmış ve tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlardan küçük (<30 km²) havza verilerinin, özellikle aşırı olay tahmini ve sel yönetimi ile ilgili olarak İrlanda Cumhuriyeti'nde en sık kullanıldığını göstermektedir. Ankete katılanların yarısından fazlası (%50,5) mevcut ağın profesyonel gereksinimleri için yetersiz olduğunu bildirmiştir. Bunun tersine, katılımcılar profesyonel kariyerleri boyunca ağ etkinliğinin arttığını (%53,2) veya sabit kaldığını (%26,6) belirtmektedir. Kullanıcı tanımlı etkinlik (yeterlilik, dayanıklılık) bir şekilde belirsiz, çok değişkenli bir kavram olarak tespit edilmiş ancak genel veri kalitesi, ağ yoğunluğu ve kentsel havza verileri, katılımcılar arasında en önemli konular arasındadır. Ankete katılanların önemli bir çoğunluğu (%85,4), daha genel ulusal artışların aksine, %60'ın üzerinde coğrafi ve/veya kategori odaklı ağ artışlarını tercih ederek, gelecekteki esnekliğin en iyi ağ yoğunluğu değişikliği yoluyla elde edileceğini belirtmektedir.

Birçok çalışma sonucunda optimal ağlar başarıyla bulunmuş olsa da metodolojilerinde mantıksal olarak entegre edilemeyen varsayımlar olmuştur. Bu varsayımların en önemlilerinden biri potansiyel istasyonlar için zaman serilerinin simülasyonu ve entropi hesaplamalarında gerekli (veri niceleme gibi) veri işlemeden kaynaklanabilecek belirsizliktir. Keum, Awol, Ursulak ve Coulibaly (2019) girdi verilerinin topluluk oluşturmaktan kaynaklanan belirsizliği dikkate alarak ikili entropi ve çok amaçlı optimizasyon (EnDEMO) adı verilen bir metodolojiyi çalışmışlardır. Yöntemi karşılaştırmak için mevcut ağı dönüşüm analizi (Trans-information Analysis) yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Geleneksel deterministik ağ tasarım yöntemi ve yeni önerilen topluluk tabanlı yöntem kullanılarak optimal ağları araştırmış ve karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak EnDEMO tarafından en sık seçilen istasyonların daha az sayıda olduğunu ve pratik kullanım için daha güvenilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Agarwal ve diğerleri (2020) karmaşık ağ analiz yöntemi kullanarak istasyonlar ve istasyonların birbirlerine bağlantılarını ifade eden linkler üzerinde bir ağdaki düğümlerin önemini belirleyebilmek için yeni bir ölçüm değeri (the weighted degree-betweenness-WDB) geliştirmişlerdir. Önerilen bu yöntem beyin ağları, sosyal ağlar ve teknolojik ağlar

gibi birçok ağ tasarımı kullanılmakla birlikte hidrometrik ağlar üzerinde de denenmiştir. Almanya’da 1229 yağmur gözlem istasyonu üzerinde sınanan yöntemin sonuçları ise yöntemin sonuçlarının daha ayrıntılı olarak araştırılması gerekmesine rağmen WDB’nin yağmur ölçerlerin önemini etkili bir şekilde ölçtüğünü göstermiştir.

H. S. Li ve diğerleri (2020) hidrometrik ağ istasyonlarının tasarımları için bilgi teorisine dayalı entropi ve bilgi aktarım kriterleri geliştirmişlerdir. Bu yöntemin ana amacı önemli istasyonları belirlemek, önceliklendirmek ve aday ağ optimizasyon çözümleri oluşturmaktır. Geliştirilen bu yöntem minimum bilgi aktarımı ve Entropi-çok amaçlı optimizasyon yöntemleri ile de kıyaslanmıştır. Önerilen yöntemin minimum bilgi aktarımı yöntemine göre yağışın alansal dağılımını yeniden tanımlamada daha avantaj sağladığı görülmüştür.

de Almeida, Lamparelli, Dodds ve Cunha (2021) örnekleme verimliliğini artırmak için São Paulo Eyaletindeki (Brezilya) su kalitesi izleme ağının mekânsal optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Küme analizi ve net izleme hedeflerine odaklanan bir strateji ile mekânsal temsili arttırmak için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Arazi kullanımını karşılaştırmak için su kaynakları yönetim birimleri (UGRHIs) kullanılmıştır. Çalışmada 160 akarsu sahasında 2004’ten 2018’e kadar iki aylık veriler değerlendirilmiştir. Küme analizi sonucunda UGRHI’ların çoğunda gözlem sahası fazlalığının %20’nin üzerinde olduğu görülmüştür. Gözlem istasyonlarının daha fazla etkilenen alanları temsil ettiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde önerilen strateji, en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip UGRHI’ların yerlerinin sayısının %12’te kadar azaltılması iken diğer kısımların çevresel heterojenliklerine dayalı olarak genişlemesi yönünde olmuştur. Geliştirilen yöntemin diğer gelişmekte olan ülkelerde de uygulanabileceğini ve çalışılan bölgedeki stratejinin de dikkate alınması gereken başarılı bir yaklaşım olduğu vurgulanmıştır.

Ji, Pan, Jia ve Fang (2021) su izleme ağlarında sinir ağı tabanlı bir tahmin modeli önermişlerdir. Su izleme ağlarında amonyak azotunun tahmin doğruluğunu geliştirmek için biyolojik kökenli bir tahmin algoritması ve geri yayılma sinir ağı (Back Propagation Neural Network- BPNN) yöntemi sıklıkla kullanılmakla birlikte bu yöntemlerin sınırlamaları nedeniyle yerel optimal değerlerin düştüğü bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada daha iyi bir tahmin modeli elde etmek için BPNN’nin yapısını optimize etmek amacıyla marti optimizasyon algoritması (Seagull Optimization Algorithm -SOA) kullanılmıştır. Ardından, geliştirilmiş bir SOA (ISOA) önerilmiş ve optimizasyon performansını doğrulamak için

ortak işlevsel doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, amonyak azotunun tahmin doğruluğunun büyük ölçüde iyileştirildiğini ve önerilen modelin su izleme ağlarında karmaşık su kalitesi parametrelerinin tahminine daha iyi uygulanabileceğini belirtmektedir.

2.3. Literatür Değerlendirmeleri

İncelenen çalışmaların birçoğunda hidrometrik gözlem ağlarından elde edilecek verilerin kullanıcılar tarafından büyük önem taşıdığı vurgulanmaktadır. Bu ağlardan elde edilen veriler sayesinde karar verici mercilerin planlama, tasarım, işletme ve değerlendirme gibi süreçlerde önemli bilgiler elde ettiği belirtilmiştir. Bununla birlikte hidrometrik gözlem ağları ile ilgili yapılmış optimizasyon konulu araştırmaların birçoğunda çalışmaların temelini maliyet, verimlilik ve gereklilik gibi sınırlayıcılar oluşturmaktadır. İstasyon kurulum maliyeti, işletme maliyeti, kurulan istasyonların verimi, mevcut haldeki istasyonların işletme durumlarına göre gerekliliği gibi etkenler literatürde bulunan birçok çalışmanın ortak paydası olmuştur. Özellikle maliyet kavramı hidrometrik ağ tasarımında oldukça değişken parametrelere sahip olduğu için doğrudan maliyeti azaltmayı hedefleyen çalışma sayısı azdır. Literatürde, genellikle çalışmalarda planlanan kısıtlara göre elde edilebilecek en iyi hidrometrik ağ tasarımının yapılmasına odaklanılmış, bu konuda gerekli optimizasyon yöntemleri ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Özellikle mevcut ağ tasarımlarının değerlendirilmesi, ihtiyaç duyulan ek istasyon sayısı ve ihtiyaç bölgeleri, sistemde (varsa) gereksiz istasyonların tespiti gibi konular çalışmaların temel problemlerini oluşturmaktadır.

Literatür araştırması, gözlem istasyonlarındaki optimizasyon çalışmalarının birçok farklı istasyon türlerinde gerçekleştirildiğini göstermiştir. Akım gözlem istasyonları, su seviyesi gözlem istasyonları, yeraltı suyu gözlem istasyonları, sediment gözlem istasyonları vb. gibi farklı istasyon türlerinde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Farklı istasyon türlerinin kullanılmasına benzer şekilde çalışmalarda birçok farklı yöntemin kullanıldığı da görülmüştür.

Literatürdeki hidrometri gözlem ağları ile ilgili yapılan optimizasyon çalışmaları genel olarak incelendiğinde 1970'li yıllardan itibaren artarak devam ettiği görülmüştür. Hidrometrik ağlarda optimizasyon konusunda ilk çalışmaların genellikle ağ üzerindeki istasyonların işletme maliyetlerini azaltmak amacıyla yapıldığı tespit edilmiştir. İşletme, bakım ve onarım maliyetlerini en aza indirmek amacıyla bakım teknisyenlerinin izlediği

yolları optimize eden çalışmalar mevcuttur (Pelletier ve Simonovic, 1988; Simonovic ve diğerleri, 1988). Bu çalışmalar doğrudan ağ sistemini optimize etmek amacıyla değil, bakım maliyeti ve en uygun rotayı bulmayı amaçlayan çalışmalar olmuştur. Bununla birlikte çalışmaların birçoğu *istatistiksel tabanlı* yöntemler ile mevcut verilerden elde edilen durumun tespit edilmesi ve bu durumu koruyacak şekilde optimum ağ tasarım planlanmasına odaklanmıştır (Cameron ve Hunter, 2002; Harmancıoğlu ve Alpaslan, 1992). Ayrıca istatistiksel tabanlı yaklaşımların hidrolojik tabanlı yöntemlerle birleştirilerek kullanıldığı çalışmaların sayısı da zamanla artmıştır (Ursulak ve Coulibaly, 2021; Xu ve diğerleri, 2015).

İncelenen çalışmalarda konu ile ilgili dikkat çeken önemli hususlardan birinin gözlem istasyonlarından alınan veriler olmadan yapılan optimizasyon çalışmasının oldukça sınırlı olduğudur. İşletme maliyetini azaltmak amacıyla yapılan çalışmalarda (Pelletier ve Simonovic, 1988; Simonovic ve diğerleri, 1988) teknisyenlerin mevcut rotaları değerlendirilerek bu rotalar için optimum bir tasarım çalışması gerçekleştirilmesi haricinde diğer çalışmaların çoğu mevcut istasyonlardan alınan verilerin istatistiki yaklaşımlarla değerlendirilerek kullanılması şeklindedir.

Literatürde hidrometrik ağ optimizasyon çalışmalarında kullanılan birçok farklı yöntem mevcuttur. Ağ işletme maliyetlerini azaltmak amacıyla *Gezgin Satıcı Algoritması* (Pelletier ve Simonovic, 1988; Simonovic ve diğerleri, 1988), Shannon (1948)'in bilgi teorisine dayalı *Entropi* yöntemi (Alfonso ve diğerleri, 2010b; Boisvert ve diğerleri, 2017; Harmancıoğlu ve Alpaslan, 1992; Husain, 1989; Keum ve Coulibaly, 2017a; C. Li ve diğerleri, 2012; Samuel ve diğerleri, 2013; Yazdi, 2017), geleneksel yöntem olarak ifade edilen *Krigging yöntemi* (Aceves-De-Alba, Junez-Ferreira, Gonzalez-Trinidad, Cardona-Benavides ve Bautista-Capetillo, 2019; Cameron ve Hunter, 2002; Chebbi ve diğerleri, 2017; Pozdnoukhov ve Kanevski, 2006) gibi yöntemler optimizasyon çalışmalarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemlerin birlikte kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanı DEMO (Dual Entropy Multi-Objective Optimization) yönteminin birçok çalışmanın temelini oluşturduğu tespit edilmiştir (Leach ve diğerleri, 2015; H. S. Li ve diğerleri, 2020; Samuel ve diğerleri, 2013; Ursulak ve Coulibaly, 2021; Werstuck ve Coulibaly, 2017, 2018). Samuel ve diğerleri (2013) çalışmasında DEMO yöntemini bölgeselleştirme metodu ile birleştirerek yeni bir yöntem önermiştir (CRDEMO-Combined Regionalization and Dual Entropy Multi-Objective Optimization). Ayrıca Pozdnoukhov ve Kanevski (2006) makine öğrenmesinin bölümlerinden biri olan *SVM (Support Vector Machine)* yöntemini optimizasyon çalışması için kullanmışlardır. Yukarıda bahsedilen yöntemlerin haricinde

birçok farklı metot çalışmalarda kullanılmıştır. Örneğin, Havza Fayda İndeksi (CUI-Catchment Utility Index) (Laizé ve diğerleri, 2008), Tabu Arama Yöntemi (Tabu Search) (Martinez ve diğerleri, 2010), budama algoritması (Pruning Algorithm) (Murtojarvi ve diğerleri, 2011), referans noktası yaklaşımı (Reference Point Approach) (Çetinkaya ve Harmancıoğlu, 2014), birleşik küme ve diskriminant analizi (combined cluster and discriminant analysis-CCDA) (Kovacs ve diğerleri, 2015), kompleks ağ analizi (Complex Network Analysis) (Agarwal ve diğerleri, 2020) ve küme analizi (Cluster Analysis) (de Almeida ve diğerleri, 2021), Fuzzy risk yaklaşımı (Francisque, Rodriguez, Sadiq, Miranda ve Proulx, 2009) gibi yöntemler ile gerçekleştirilen çalışmalar mevcuttur.

Çalışmalarda kullanılan yöntemlerin farklılıklar içermesine benzer olarak hidrometrik gözlem ağları ile ilgili yapılan çalışmalarda farklı ağ sistemleri için uygulamaları da mevcuttur. Örneğin yağış gözlem istasyonları için yapılan çalışmalar (Agarwal ve diğerleri, 2020; Husain, 1989; H. S. Li ve diğerleri, 2020), su kalitesi izleme ağları için yapılan çalışmalar (Aceves-De-Alba ve diğerleri, 2019; Asadollahfardi, Heidarzadeh, Sekhavati ve Asadi, 2021; de Almeida ve diğerleri, 2021; Harmancıoğlu ve Alpaslan, 1994; Harmancıoğlu ve Alpaslan, 1992; Kovacs ve diğerleri, 2015; Murtojarvi ve diğerleri, 2011), yeraltı suyu izleme ağları ile ilgili yapılan çalışmalar (Cameron ve Hunter, 2002; Pham ve Tsai, 2016) ve akım gözlem istasyonları ile ilgili yapılan çalışmalar (Chebbi ve diğerleri, 2017; Çetinkaya ve Harmancıoğlu, 2014; Laizé ve diğerleri, 2008; C. Li ve diğerleri, 2012; Samuel ve diğerleri, 2013; Ursulak ve Coulibaly, 2021) mevcuttur.

Çalışmalarda amaç fonksiyonlarının çalışma sınır ve çerçevelerince değişiklik göstermesi ile birlikte özellikle Entropi yöntemini temel alan çalışma sayısı literatürde fazlaca bulunmaktadır. Literatür bölümünde özet olarak verilmemekle birlikte T. Stosic, Stosic ve Singh (2017), Guo, Han, Nones, Xu ve Liu (2023), Ozkul, Harmancıoğlu ve Singh (2000), Yang ve Burn (1994), Singh (2013), Werstuck (2016), Baran, Harmancıoğlu, Cetinkaya ve Barbaros (2017), Keum ve Coulibaly (2017b), Sreeparvathy ve Srinivas (2020) ve benzeri çalışmalar özellikle sadece entropi yöntemini temel alan çalışmalardandır.

Hidrometrik ağların optimizasyon çalışmalarında temel olarak belirli bir amaç veya amaçların hedeflendiği ve hedeflenen bu duruma ulaşmak için çeşitli çalışmaların gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu kapsamda, bazı çalışmalarda mevcut ağ sistem verilerinin değerleri ve verilerden elde edilen bilgi aktarımları incelenerek bilgi benzerlikleri fazla olan (yakınındakini tekrar eden) istasyonların tespit edilmesine çalışılmıştır. Böylece tespit edilen

istasyonların gereksiz olarak nitelendirilerek kullanıma kapatılmasıyla optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde mevcut ağ yapısındaki istasyonlar değerlendirilerek hiyerarşik sıralama ile en düşük önem düzeyine sahip istasyonların sistemden çıkarılabileceği bir yaklaşım da mevcuttur. Ek olarak bazı çalışmalarda belirlenen bir amaç fonksiyonunun belirli kısıtlar altındaki çözümleri de aranmıştır. Bu amaç fonksiyonlarında genellikle sadece bir amacı değil birden fazla amacı hedeflemeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Böylece optimizasyon çalışmalarında çok amaçlı hedefler uygulamaya geçmiştir. Entropi veya istatistiksel diğer yöntemlere dayanan çalışmaların özellikle amaç fonksiyonları genellikle elde edilen bilgi içeriğini en üst seviyede tutarken korelasyon miktarını da en az seviyede tutmaya çalıştığı görülmüştür. Bu uygulamaların bir bölümü kısıtsız iken bazılarında ise çeşitli kısıtlamaların da yapılarak analizlerin gerçekleştirildiği görülmüştür.

Literatürde bulunan çalışmalardan yola çıkılarak araştırmaların yeni optimizasyon hedefleriyle, birçok çalışmada kullanılan bilgi kazanımı kavramını sağlayacak farklı modellemelerin geliştirilebileceği açıktır. Bu nedenle bilgi kazanımını artıracak istasyonların seçimini sağlayacak modellemelerin havza özellikleri ile ilişkilendirilerek araştırılmasına da gerek duyulmuştur. İlerleyen bölümlerde havza içerisinde konumlandırılacak istasyonlar, bu istasyonların havza özellikleri ve havza akım değerleriyle ilişkilendirilmesi konusundaki çalışmalar da incelenerek sunulmuştur. Havza şekli ve arazi özelliklerinin kullanıldığı ve akımı etkileyen çalışmaların incelenmesi optimizasyon konusunda kullanılacak özgün bir yöntemin gelişimine katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

Çıtak ve Kılıç (2023) Yukarı Çekerek Havzası'nın sayısal yükseklik modeli ve morfolojik analizlerini kullanarak bölgenin bir jeomorfolojik analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada çizgisel (bir boyutlu), alansal (iki boyutlu) ve rölyef (üç boyutlu) morfolojisini içeren 14 ana parametre ele alınmıştır. Havzanın şekli (R_f), akarsu sıklığı (F_s), uzunluk oranı (R_e), drenaj yoğunluğu (D_d), Gravelüs indeksi (K_g), çatallanma oranı (R_b), tekstür oranı (T), akarsu uzunluk oranı (R_l), drenaj tekstür oranı (R_t), havza rölyefi (B_h), hipsometrik integral (H_i), hipsometrik eğri (H_c) ve akım toplanma zamanı (T_c) gibi parametreler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan çalışma havzasının su kaynakları yönetimi ve havza planlamasında kullanılması için değerlendirmeler yapılmıştır.

Patel, Gajjar ve Srivastava (2013) su yapılarının optimal yerini belirlemek için CBS, uzaktan algılama ve morfometrik analiz yöntemini kullanarak küçük havzaların önceliklendirilmesinin etkili bir araç olduğu ifade edilmektedir. Çalışmalarında Hindistan'ın Gujarat eyaletinin Saurashtra bölgesinin Bhavnagar ilçesinde bulunan Malesari havzasında yer alan on alt havzanın morfometrik analizi ve önceliklendirilmesi incelenmiştir. Mini havzaların önceliklendirilmesi için, çatallanma oranı, drenaj yoğunluğu, akış frekansı, doku oranı ve karasal akış uzunluğu gibi doğrusal parametreler ve form faktörü, şekil faktörü, uzama oranı, kompaktlık sabiti ve dairesellik oranı gibi şekil parametreleri kullanılarak morfometrik analiz kullanılmıştır. Havzanın dijital yükseklik modeli üzerinden drenaj düzeni, drenaj yoğunluğu ve jeoloji gibi diğer tematik katmanlar, CBS yardımıyla analize katılmıştır. Tüm tematik katmanlar toprak ve eğim haritasıyla birleştirilerek, saha doğrulanmasının ardından, kontrol barajlarının alt havzada konumlandırılmasının en iyi uygulanabilirliği önerilmiştir.

Farhan ve Anaba (2016) çalışmalarında Ürdün'ün güneyindeki Wadi Yutum havzasında ani sel durumunu değerlendirmişlerdir. Değerlendirme, sel riskinin mekânsal olarak değerlendirilmesi için jeolojik ve jeomorfik saha verileriyle birleştirilmiş uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. W. Yutum'un on yedi alt havzası için sel riskini değerlendirmek üzere iki yöntem kullanılmıştır. Bunlar morfometrik sıralama yöntemi ve El-Shamy'nin yaklaşımlarıdır. Her iki yöntem de ani sel riski tahmini için son derece önemli yirmi morfometrik parametreyi kullanmıştır. İki yöntemle dayanarak elde edilen sonuçlar, yüksek ani sel potansiyeli olan alt havzaların belirlenmesinde kullanılmış ve her bir sel riski kategorisine giren ortak alt havzaları ortaya çıkarmayı hedeflemiştir.

M. Koçyiğit ve Akay (2018) Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Akçay havzasını alt havzalara bölerek alt havzaların geometrik özellikleri, drenaj ağı ve Strahler yaklaşımı dikkate alınarak drenaj ağının mertebelerini belirlemişlerdir. Her bir alt havzaya ait morfometrik parametreler hesaplanmış ve alt havzaların taşkın potansiyeli açısından değerlendirilebilmesi için literatürde bulunan önceliklendirme yöntemi uyarlanarak alt havzalar taşkın potansiyellerine göre sıralanmışlardır. Daha az sayıda morfometrik büyüklük kullanılarak alt havzalarda meydana gelebilecek ani taşkın potansiyeli literatürde sunulan grafiksel yöntemle göre incelenmiş ve tüm alt havzaların taşkın potansiyeli orta derece olarak belirlenmiştir.

Hidrometri gözlem ağlarının optimizasyon çalışmalarında temel olarak belirli bir amaç veya amaçların hedeflendiği ve hedeflenen bu duruma ulaşmak için çeşitli çalışmaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu kapsamda, bazı çalışmalarda mevcut ağ sistem verilerinin değerleri ve verilerden elde edilen bilgi aktarımları incelenerek bilgi benzerlikleri fazla olan (yakınındakini tekrar eden) istasyonların tespit edilmesine çalışılmıştır. Böylece tespit edilen istasyonların gereksiz olarak nitelendirilerek kullanıma kapatılmasıyla optimizasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Benzer şekilde mevcut ağ yapısındaki istasyonlar değerlendirilerek hiyerarşik sıralama ile en düşük önem düzeyine sahip istasyonların sistemden çıkarılabileceği bir yaklaşım da mevcuttur. Ek olarak bazı çalışmalarda belirlenen bir amaç fonksiyonunun belirli kısıtlar altındaki çözümleri de aranmıştır. Bu amaç fonksiyonlarında genellikle sadece bir amacı değil birden fazla amacı hedeflemeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Böylece optimizasyon çalışmalarında çok amaçlı hedefler uygulamaya geçmiştir. Entropi veya diğer istatistiksel yöntemlere dayanan çalışmaların özellikle amaç fonksiyonları genellikle elde edilen bilgi içeriğini en üst seviyede tutarken korelasyon miktarını da en az seviyede tutmaya çalıştığı görülmüştür. Bu uygulamaların bir bölümü kısıtsız iken bazılarında ise çeşitli kısıtlamalar uygulanarak analizlerin gerçekleştirildiği görülmektedir.

İncelenen literatür çalışmalarından elde edilen çıkarımlar ve değerlendirmeler sonucunda özellikle istasyon konumlarıyla ilgili birçok parametrenin değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür. Bu parametre ve amaçlar değerlendirildiğinde istasyonların ideal olmasının hedeflenen amaçlarla doğrultulu olduğu görülmektedir. Hedeflenen amaç doğrultusunda istasyonların konumlarının uygunluğu tartışılabilir. Bu nedenle bir akım gözlem istasyonunun ideal yer tespitini sağlayabilmek için literatürde bulunan bilgi kazanım amaçları doğrultusunda bu amaca hizmet eden özgün bir algoritma geliştirilebilir. Özellikle incelenen havza içerisinde alt havzalara ayırma ve bu havzaların özellikleriyle durumları ilişkilendirme durumunun birçok akademik çalışmada da kullanıldığı görülmektedir. Havzada oluşacak akım değerleri, taşkın ve benzeri durumların incelenmesi ve yorumlanmasına ile ilgili olarak havzanın morfometrik parametreleri ve diğer özelliklerinin kullanıldığı çalışmalar yukarıda özetlenmiştir. Hidrolojik çevrimde önemli etkilere sahip havza özellikleri, sızma ve akışı doğrudan etkileyen parametreler olduğundan bu parametrelerin ideal ağ tasarımı konusunda da değerlendirilebileceği düşünülmüştür.

2.4. Literatür Çıkarımları

Tezin amacı ile ilişkili incelenen araştırmalar ve bu çalışmalara ait literatür özetleri yukarıda ifade edilmiştir. Akım gözlem istasyonları için uygun bir algoritma geliştirilebilmesi amacıyla incelenen araştırmalardan birçok kavram ve çıkarımlar yapılmıştır. Çalışmaların belirli bir amaç doğrultusunda çalışmanın özgünlüğüne de bağlı olacak şekilde yöntemler önermesi, bu çalışmanın da ana hedeflerinden biri olarak bir amaç ve özgün bir yöntem elde etme amacı ve isteği meydana getirmiştir. Özellikle çalışmalardan amaç fonksiyonlarının hangi kavram veya ilkeler üzerinde kurulduğunun tespiti ve hangi amaçla en ideale ulaşmaya çalışıldığının tespit edilmesinin oldukça önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte ilgilenilen gözlem istasyonları, kullanılacak yöntem, çalışma alanı, veri temini, elde edilebilecek veri ve diğer ihtiyaçlar gibi birçok kavramın göz önüne alınması ve değerlendirilmesinin gerekliliği de açıktır.

Yapılan literatür araştırmalarının değerlendirmeleri bir önceki başlıkta ifade edilmiştir. Buradan da anlaşılabileceği gibi en ideal ağ tasarımı için ideallik şartının belirlenmesi ile beraber kısıtların ve şartların da belirli bir şekilde ifade edilmesi, kesinleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca çalışmalarda kullanılan yöntem veya yöntemlerin gereksinimlerine göre yaklaşımların ve ihtiyaçların da değişebileceği açıktır. Bu nedenle kullanılacak yöntem için gereksinimlerin neler olduğu, gereksinimlerin temini, altyapı ve hazırlık süreçlerinin planlanması ve kurgulanmasının önemi büyüktür.

Literatürdeki çalışmaların birçoğunda araştırmaların temelini maliyet, verimlilik ve gereklilik gibi sınırlayıcılar oluşturmaktadır. İstasyon kurulum maliyeti, işletme maliyeti, kurulan istasyonların verimi, mevcut haldeki istasyonların işletme durumlarına göre gerekliliği gibi etkenler literatürde bulunan birçok çalışmanın ortak paydası olmuştur. Bununla birlikte maliyet kavramı hidrometrik ağ tasarımında oldukça değişken parametrelere sahip olduğu için doğrudan maliyeti azaltmayı hedefleyen çalışma sayısı oldukça azdır. Bunun yerine istasyon sayılarını azaltarak dolaylı olarak maliyeti azaltmayı hedefleyen çalışmaların da mevcut olduğu görülmektedir.

Çoğu çalışmada, elde edilebilecek en iyi hidrometrik ağ tasarımına odaklanılmış, bu konuda gerekli optimizasyon yöntemleri ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda özellikle mevcut ağ tasarımlarının değerlendirilmesi, ihtiyaç duyulan ek istasyon sayısı ve ihtiyaç

bölgeleri, sistemde (varsa) gereksiz istasyonların tespiti gibi konular çalışmaların temel problemlerini oluşturmaktadır.

İncelenen çalışmalar ve bu çalışmalardaki hedeflerin, çalışma şartlarının, kullanılan yöntemlerin ve süreçlerin geneli üzerinde durulmuş ve bu tez çalışması kapsamında geliştirilmesi hedeflenen yöntemsel çıkarımlar elde edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada havza parametrelerine doğrudan bağlı ve bu parametrelere göre değişim gösterebilecek alt havzaların özelliklerinin akımı ve dolayısıyla akarsu gözlem istasyonlarını etkilemesinin ideal gözlem istasyonları tasarımlarında kullanılabileceği düşüncesi oluşturmuştur. Bu tez kapsamında gerçekleştirilecek araştırma çalışmalarında kullanılan yöntem ve amaç fonksiyonlarının literatürdeki çalışmalardan farkı; hidrolojik gözlem istasyon konum ve özelliklerinin önemlerini vurgulayacak şekilde dizayn edilebilmesini sağlayacak şekilde belirlenebilecektir.



3. ÇALIŞMA ALANI

3.1. Giriş

Tez kapsamında önerilen yöntemin uygulanabileceği bir havzanın belirlenmesi uygulama sonuçlarının değerlendirilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle geliştirilen yöntemin uygulandığı çalışma sahasının tespit edilebilmesi için Türkiye havzaları üzerinden genel olarak bir inceleme ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Türkiye üzerinde bulunan 26 adet havzanın genel özellikleri incelenmiştir.

3.2. Çalışma Alanı

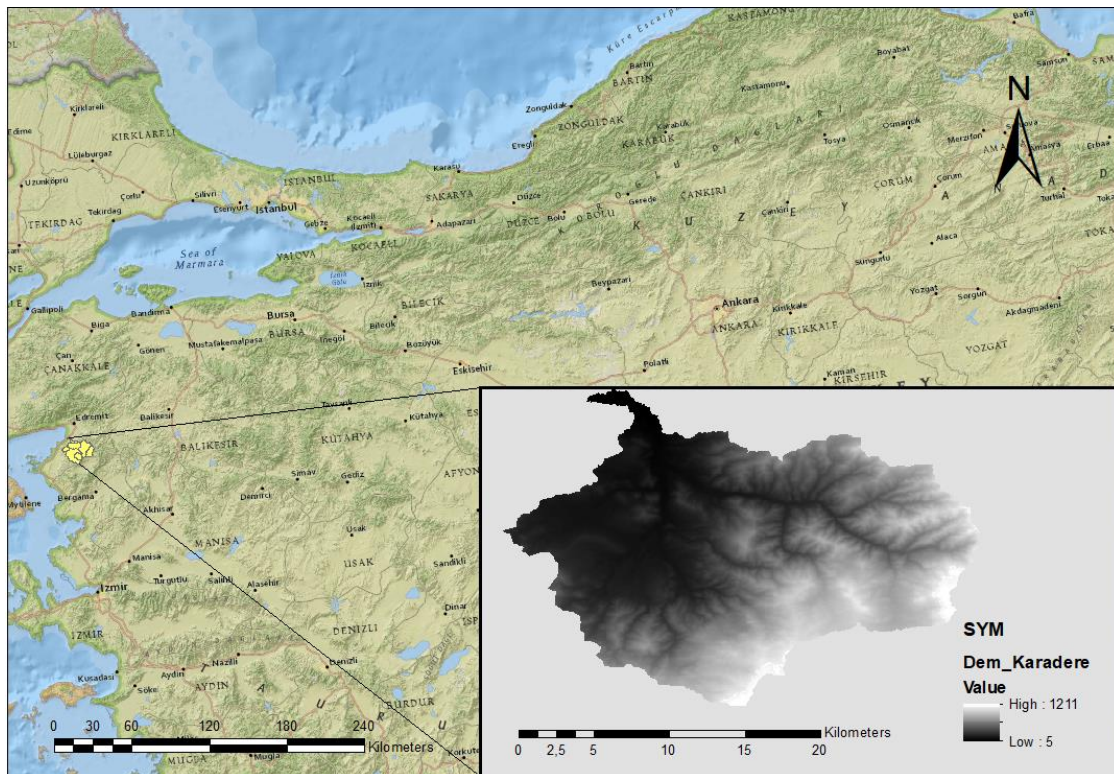
Çalışma alanının sahip olduğu özellikler ve çalışma alanı mevcut durumu uygulanacak yöntem ile ilgili gereksinimleri doğrudan etkileyeceğinden birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma alanı belirlenmesi sürecinde kar erimesi vb. gibi mevsimsel etki durumlarının değerlendirilmeye dahil edilmemesi amacıyla düşük rölyef değerine sahip havzalar hedeflenmiştir. Bu nedenle genel inceleme yapılırken havzaların rölyef değerleri dikkate alınmış ve araştırılmıştır. Meriç-Ergene, Marmara, Burdur Göller ve Kuzey Ege havzalarının yükseklik değişimleri incelendiğinde diğer havzalara göre rölyef değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle ilk olarak bu bölgelere yönelim sağlanmıştır.

Çalışma alanı belirlerken sürece göre ihtiyaçların değişebilmesi ile birlikte dikkat alınması ve değerlendirilmesi gereken birçok durumun mevcudiyetinden bahsedilebilir. Havza üzerindeki istasyonların konum ve sayıları, istasyon verilerinin temini ve değerlendirilmesi, istasyonların açık/kapalılık durumu, yağış ve akış verilerinin aynı bölge için aynı zaman dilimlerinde istenilen değer aralıklarında temin edilmesi gibi birçok parametre değerlendirilmeye alınabilmektedir.

Bu çalışmada çalışma alanı için düşük rölyef değerleri, akım gözlem istasyonu bulunması, benzer yağış eğilimi kabulü yapılabilmesi açısından büyük akarsu havzalarına nispeten küçük bir havza seçimi gibi parametreler değerlendirilerek seçim yapılmıştır. Bu nedenlerden dolayı taslak havza çalışmaları Kuzey Ege üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlerleyen süreçle beraber havza üzerinde benzer yağış eğilimi kabulü, hidrolik yapı bulunmaması gibi parametreler de değerlendirmeye alındığında Kuzey Ege Havzasının bir

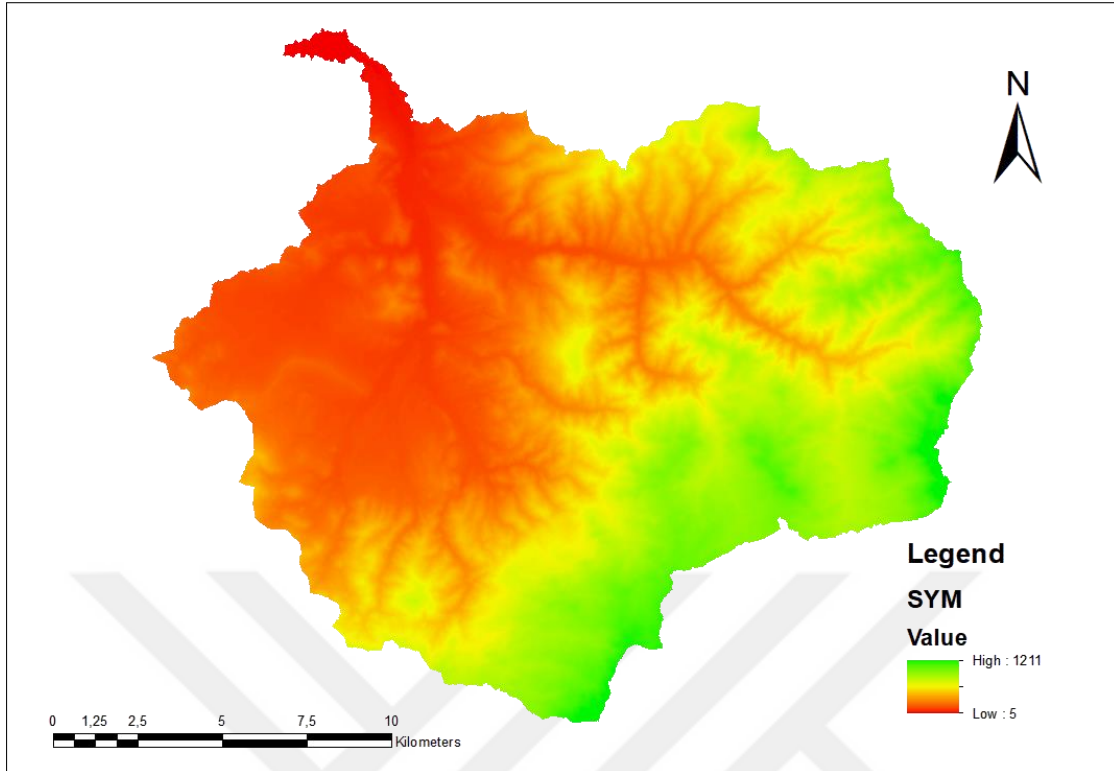
alt havzası olan Karadere havzası seçilmiştir. Karadere 'ye ait genel bilgiler ve havza özellikleri bölüm içerisinde yer almaktadır.

Çalışmada geliştirilen yöntemin uygulanması için Kuzey Ege havzası içerisinde yer alan alt bir havza seçilmiş ve bu havzanın ilgili parametreleri hesaplanmıştır. Çalışma alanı 490 865-515 934 X ve 4 372 849- 4 351 427 Y (UTM Zone 34N) koordinatları arasında yer almaktadır. Kuzey Ege havzası içerisinde Balıkesir'in Burhaniye ilçesinin bulunduğu alanda konumlanmıştır. Havzanın Türkiye üzerindeki konumu Harita 3.1'de gösterilmiştir.



Harita 3.1. Çalışma Alanı

Seçilen bölge Kuzey Ege Havzasının batı kısmında açık bir havza olarak yer almaktadır. Bünyesinde Bahadınlı, Sbeylidere, Kırtık, Kuyumcu, Burhaniye ve arky gibi yerleşim yerlerini bulunduran havza hem dağlık hem de denize yakın olması sebebiyle değişken bir yükseklik yapısına sahiptir. Havza içerisinde Devlet Su İşleri'ne ait 2 adet akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Havzaya ait sayısal yükseklik modeli USGS üzerinden uzaktan algılama yöntemi ile elde edilen dosyalardan temin edilmiştir. Çalışma alanı minimum, maksimum ve ortalama yükseklikleri sırasıyla 5, 1211 ve 456,94 metredir. Aynı zamanda 284.66 km² yüzey alanına ve 227.75 km evre uzunluğuna sahiptir. Havzanın SYM içeriği Harita 3.2'de verilmiştir.



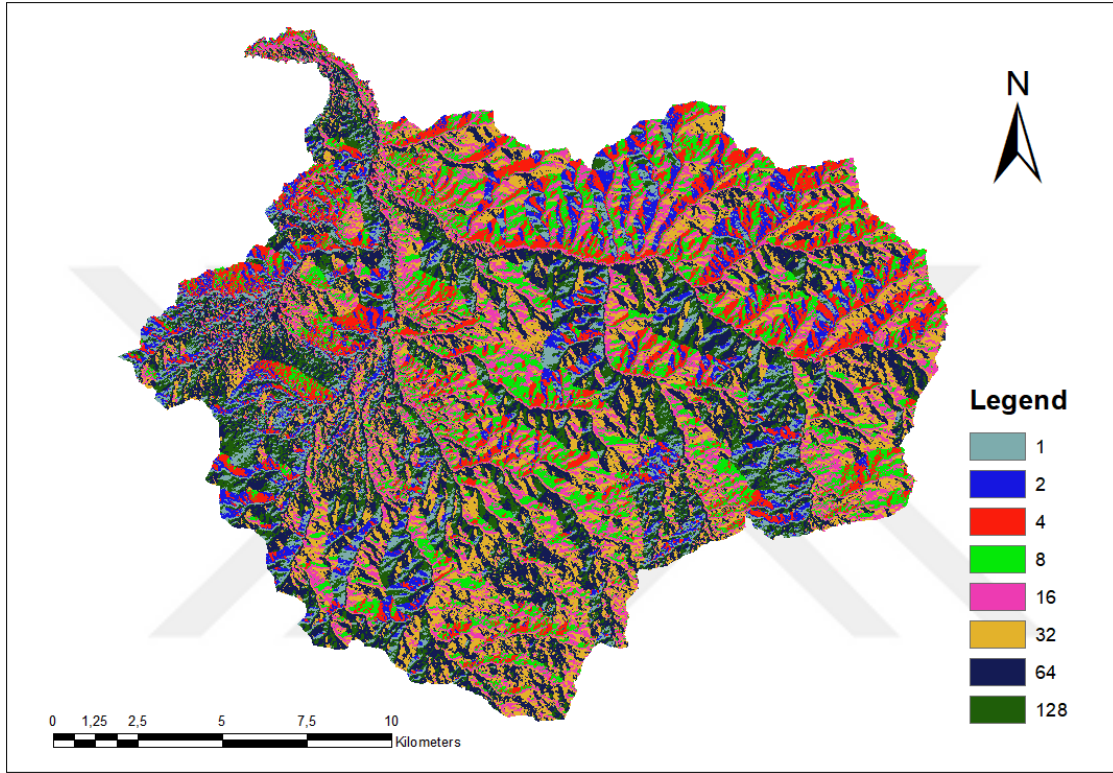
Harita 3.2. Çalışma Alanı Sayısal Yükseklik Modeli

Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli USGS üzerinden temin edilmiş olup 1 Arc çözünürlüğe sahiptir. Hesaplamalarda ArcGIS programı kullanılarak gerekli haritalar ve ilgili parametreler belirlenmiştir. İlgili çalışmalar ve analizler bu SYM üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Tarım Orman Bakanlığına bağlı kurumlardan temin edilen Büyük Toprak Grubu (BTG) haritaları ve arazi kullanım haritaları (CORINE) yardımıyla Hidrolojik Toprak Grupları (HTG) haritası elde edilmiştir. Çalışma alanının drenaj ağı, alt havza sınırları alt havzalara ait alan, çevre, eğim gibi özellikleri hesaplanmıştır. Çalışma alanı potansiyel olarak belirlenen 7 adet istasyonu temsil edecek şekilde alt havzalara ayrılmıştır. Alt havzaların çıkışlarına konumlandırılmış potansiyel istasyonlar, mevcut morfometrik özellikleri ve ilgili diğer parametrelerle beraber değerlendirilerek önceliklendirilmiştir.

3.3. Coğrafi Bilgi Sistem Analizleri

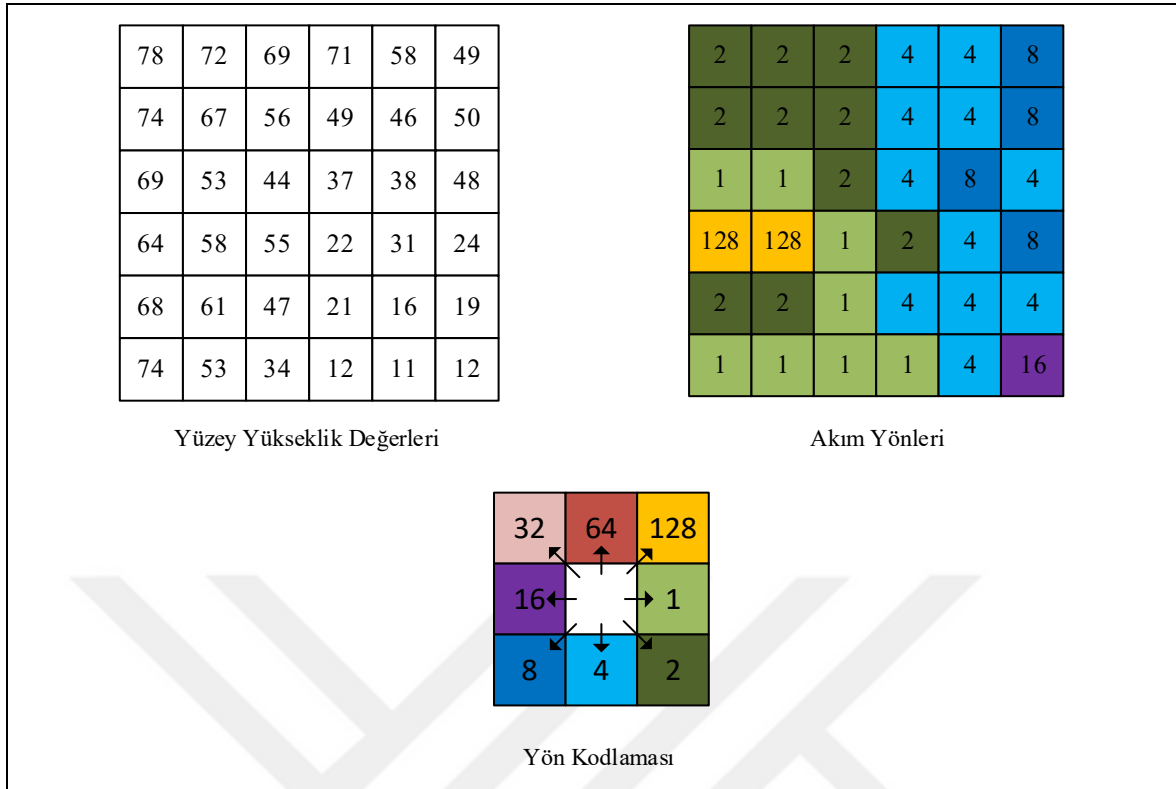
Çalışma alanı olarak belirlenen havza üzerinde CBS programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler bu bölümde anlatılmıştır. İlk olarak çalışma alanı belirlenmiş ve havza sınırları tespit edilmiştir. USGS veri tabanı üzerinden temin edilen SYM, belirlenen havza şekline göre kırılarak havzayı tam olarak temsil edecek uygun bir SYM elde edilmiştir. Elde edilen

bu alan üzerinde ilk olarak boşluk giderme (fill sinks) işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem ilerleyen süreçlerde hata ve problemlerle karşılaşılması açısından önemlidir. Bu işlemlerden sonra havza alanı üzerinde akım yönlerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu süreç CBS yazılımları sayesinde 8 yönlü akış algoritmasının uygulanması ile gerçekleştirilmektedir. Harita 3.3'te havza için elde edilen akım yönleri haritası görülebilir.



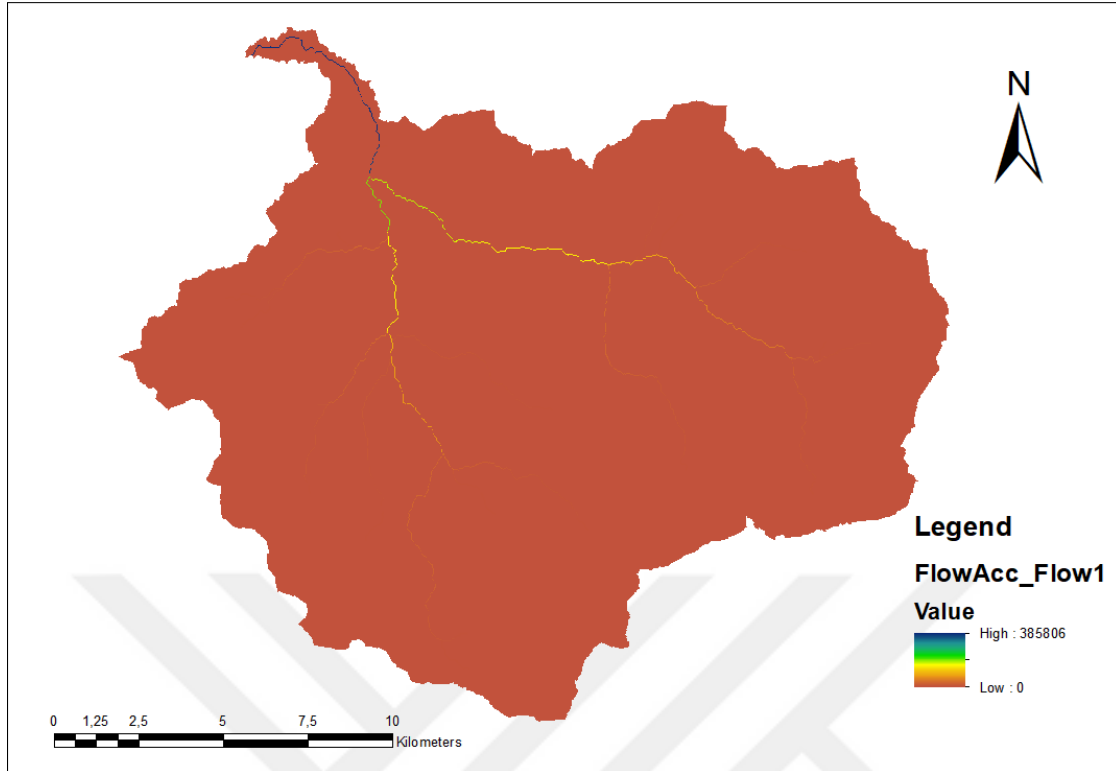
Harita 3.3. Akım Yönü

Harita 3.3'teki lejantta ifade edilen değerler Jenson ve Domingue (1988)'ın 8 yönlü akış algoritmasının uygulanması sonucu oluşmuştur. Bu değerlerin anlamları, yönlerin nasıl çalıştığı ve yönlerin ifadeleri Şekil 3.1'de görülebilmektedir.

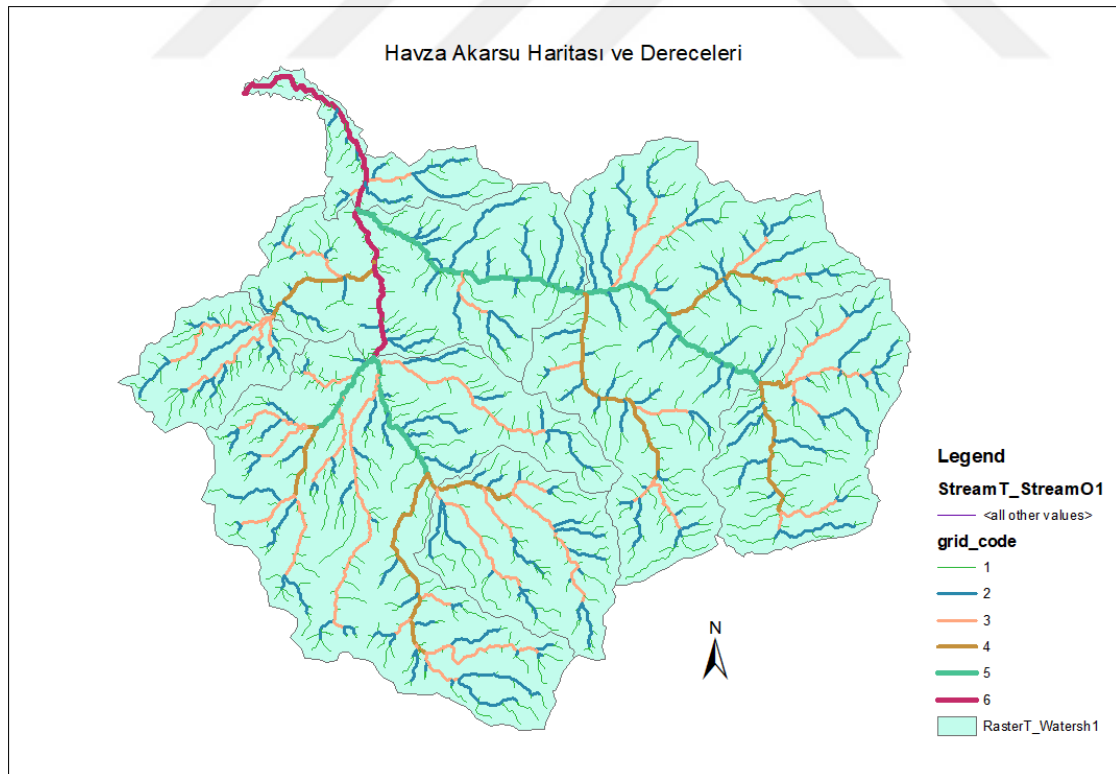


Şekil 3.1. D8 yönlü akış algoritması çalışma prensibi

Akım yönlerinin belirlenmesinden sonra akım toplanma haritası elde edilebilir. Çalışma havzası için elde edilen akım toplanma haritası Harita 3.4'te verilmiştir. Belirlenen eşik değerine göre akarsu drenaj hattının seyrekliği veya sıklığı doğrudan etkilenmektedir. Bu çalışmada Akay (2018)' deki gibi 100 değeri alınarak drenaj hattı belirlenmiştir (Harita 3.5).

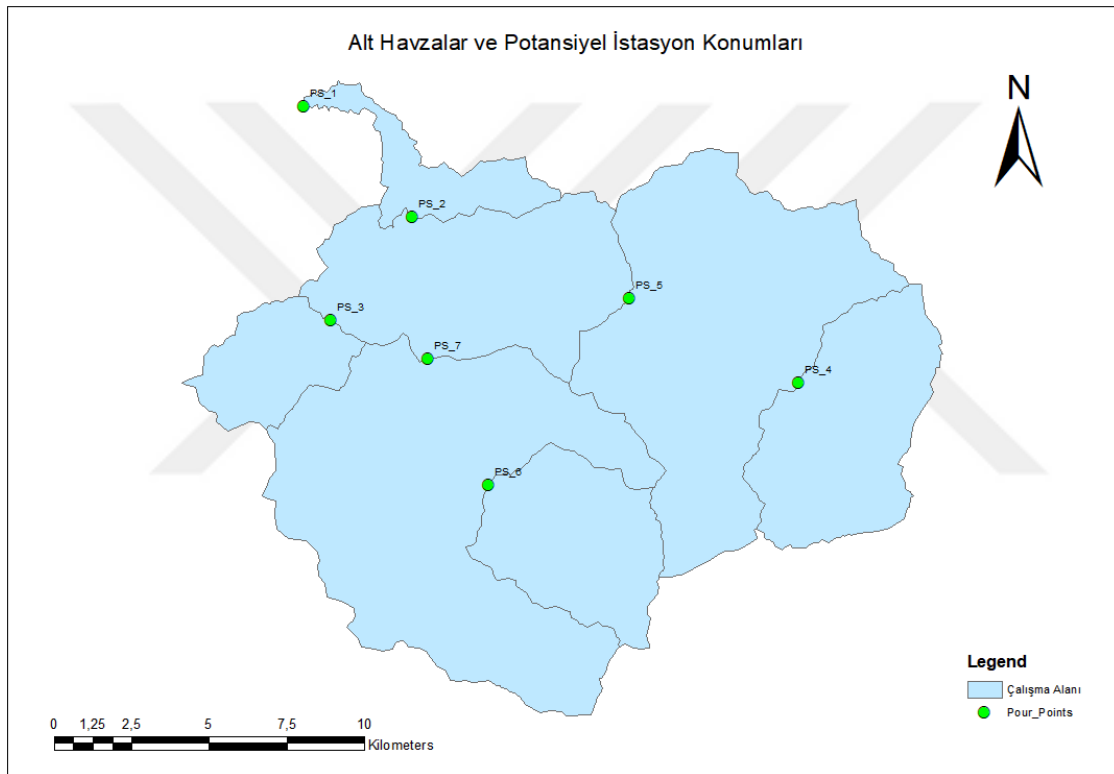


Harita 3.4. Akım Toplanma



Harita 3.5. Çalışma Alanı Akarsu Hattı ve Strahler Derecelendirmesi

Çalışmada hem morfometrik analizlerin gerçekleştirilmesi hem de alt havza ayrımlarının yapılabilmesi için sayısal yükseklik modeli üzerinde drenaj hatları belirlenmiştir. Bu hatlar üzerinde belirlenen potansiyel istasyonlarla akım değerlerini yansıtacak alt havzalara ayrılma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha önceden belirlenen akarsu hatları ve sayısal yükseklik modeli belirlenen alt havzalara göre ayrılarak her bir alt havzanın akarsu hattı, havza özellikleri, sayısal yükseklik modelleri ve daha önce hesaplanan diğer parametreleri belirlenmiştir. Akarsu hatları üzerinde belirlenen potansiyel gözlem istasyonları ve bu istasyonlara göre oluşturulan havzalar Harita 3.6’da görülebilmektedir.



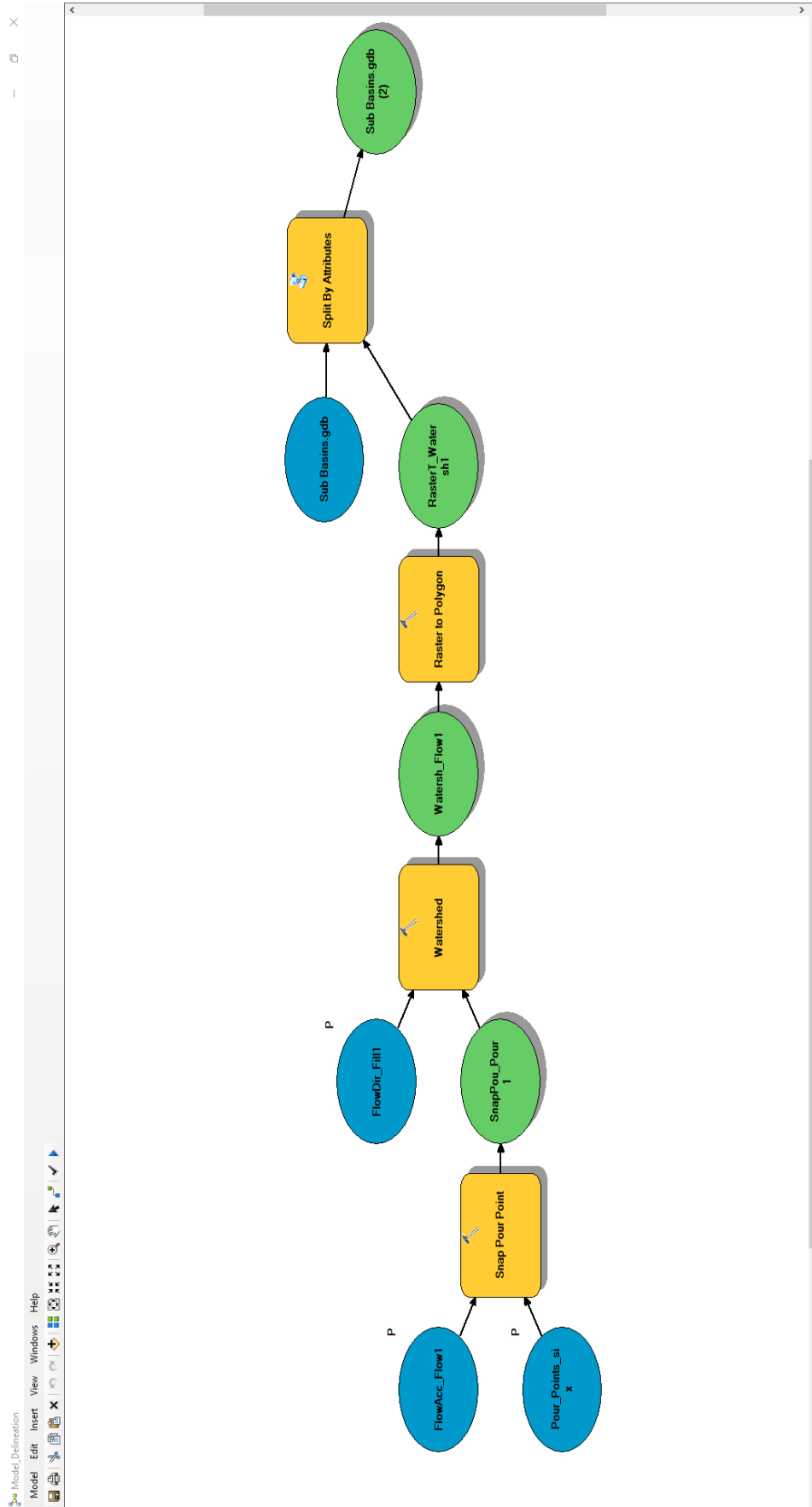
Harita 3.6. Potansiyel İstasyonlar ve Alt Havzalar

ArcGIS programı üzerinde kurgulanan “model builder” ile tekrarlı işlemler ve morfometrik parametrelerin hesaplanmasında kullanılan bazı parametreler (alt havza ayırma işlemi, alt havzaların alan, çevre, havzada bulunan drenaj ağı, drenaj ağlarının Strahler yöntemine göre derecelendirilmesi, dereceli akarsuların uzunluklarının hesaplanması vb.) elde edilmiştir. Hesaplamalarda ve işlemlerde kullanılan model çalışmalarından bir tanesi olan ve havzaları belirlenen şartlara göre alt havzalara ayırmakta kullanılan modelleme yönteminin şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Benzer şekilde birçok analiz ve model çalışması CBS uygulaması üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Potansiyel istasyon yerleri

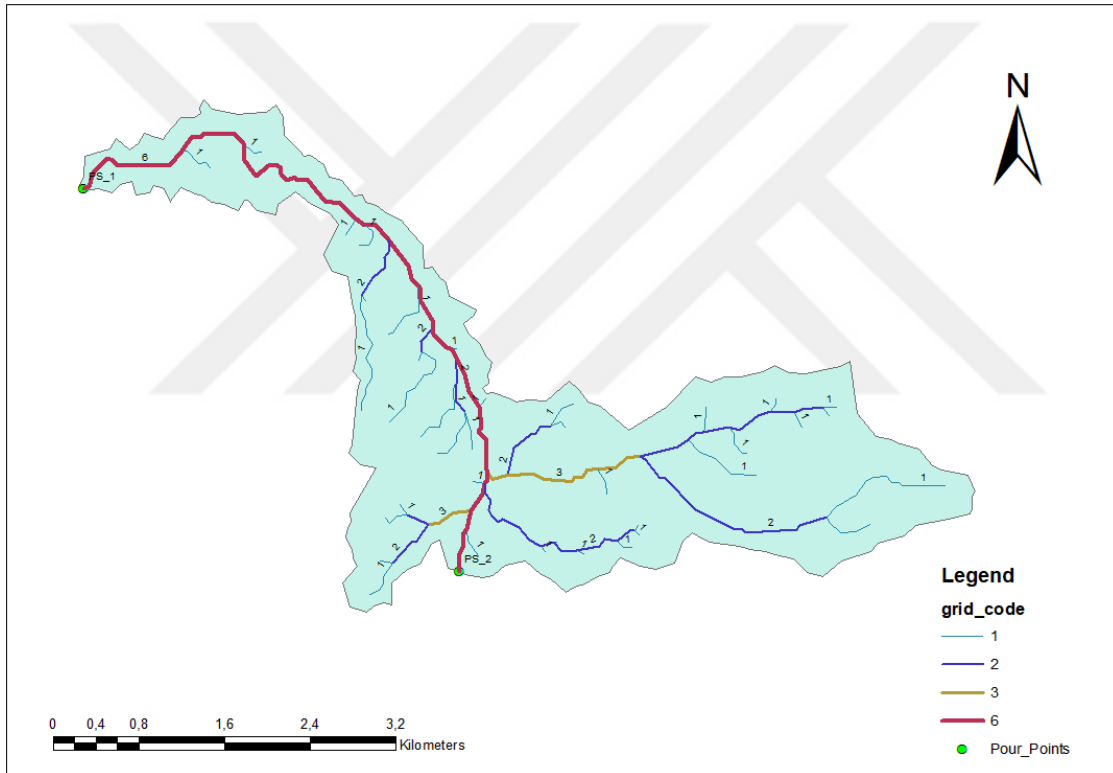
Potansiyel istasyonların konumlarının belirlenmesi için birçok parametre ve durum değerlendirilebilmektedir. Bununla beraber çoğu durumda su kaynakları planlayıcılarının çalışmaları ve görüşleri doğrultusunda süreç içerisindeki sınırlamalar ve gereksinimlerle tayin edilmektedir. İstasyonlar ülkenin büyük nehirlerinin alt kesimlerinde, nehir ağzlarının hemen üzerinde veya nehirlerin sınırları geçtiği yerlerde bulunmalıdır. Diğer hidrometrik istasyonlar, deşarjın önemli ölçüde değiştiği, büyük kolların giriş noktalarının altında, göllerin çıkışlarında ve büyük yapıların inşa edilmesinin muhtemel olduğu yerlerde bulunur. (Organization, 2008: I.2-27).

Bu çalışmada potansiyel istasyonlar, drenaj ağının belirlenmesinin ardından istasyonların temsil ettiği havzaların yağış alanlarının birbirlerine yakın olması amacıyla herhangi bir matematiksel yöntem kullanmadan belirlenmiştir. Bununla birlikte potansiyel istasyonlardan iki tanesinin konumu da mevcut olarak bulunan DSİ istasyonlarının konumlarını yansıtacak şekilde konumlandırılmıştır. Böylece mevcut durum istasyon konumlarının da yöntem üzerindeki uygulaması ve değerlendirmesinin sağlanması hedeflenmiştir.

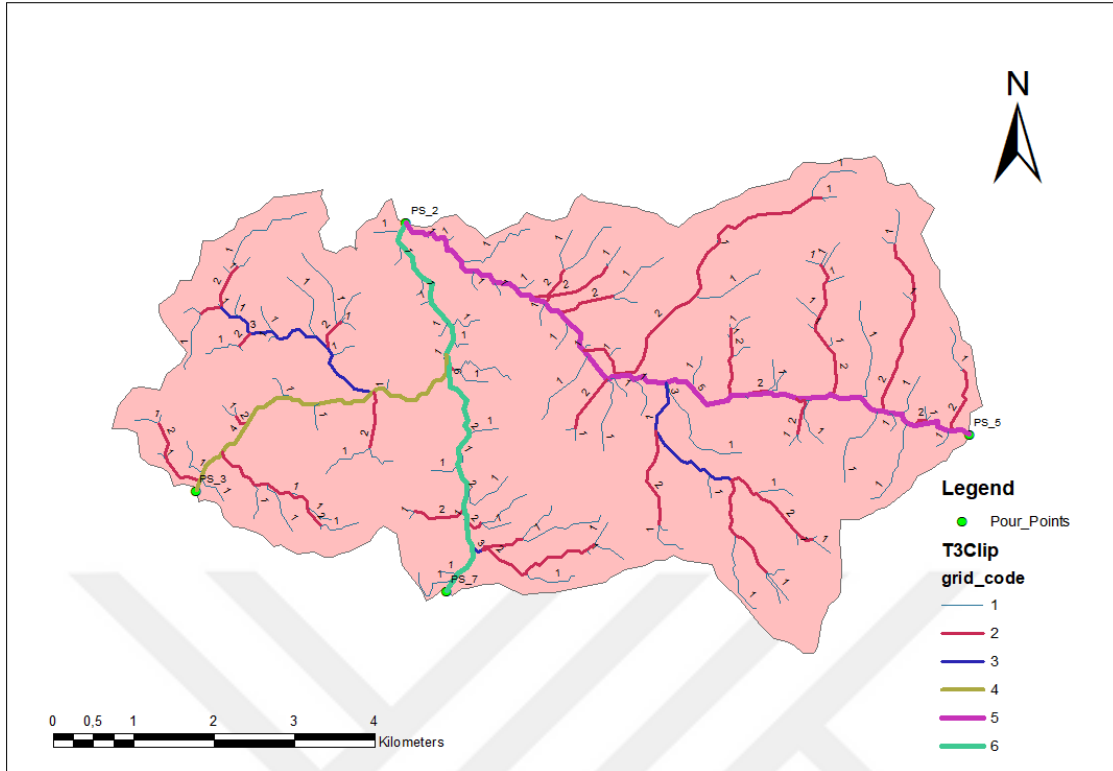


Şekil 3.2. Havzaları alt havzalara ayırma sürecinde kullanılmak üzere hazırlanan CBS modeli

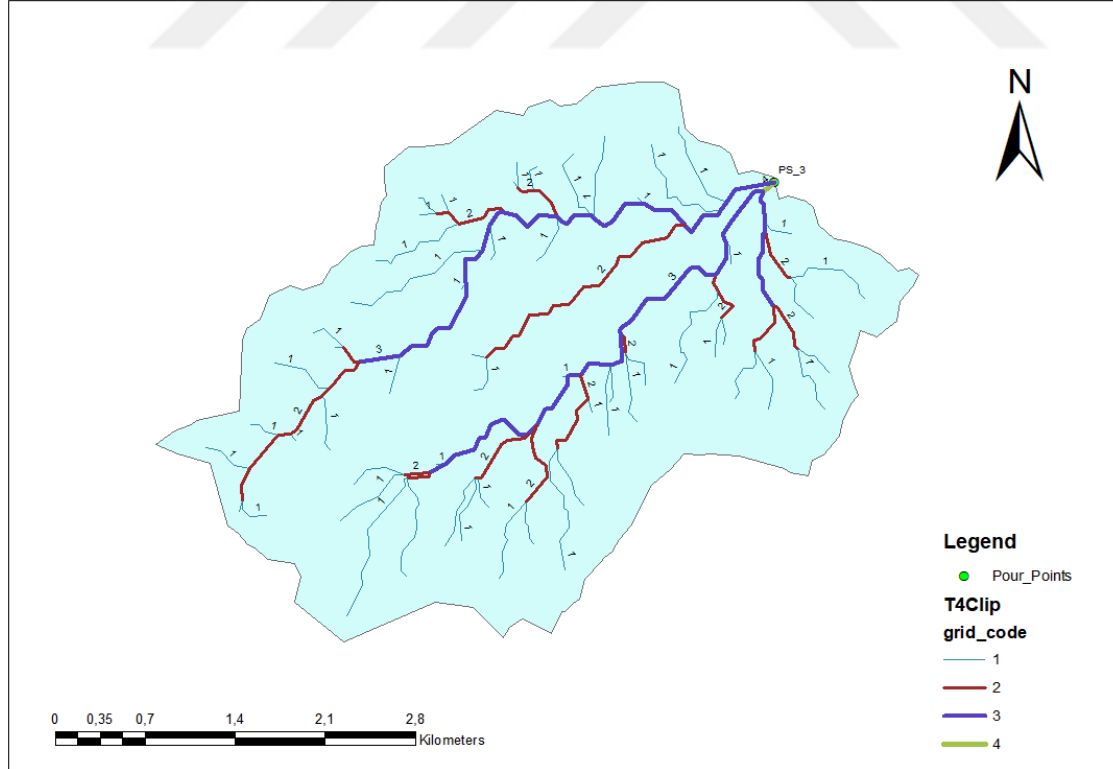
Çalışma alanı içerisinde potansiyel istasyon yerleri ve bu istasyonları etkileyecek şekilde alt havza ayırma işlemlerinin ardından yapılacak tüm analizler bu havzaların şekillerine göre ayrılarak yapılmıştır. Bu nedenle akım ağları, arazi kullanımları, toprak grupları ve havzaların kendi alan ve çevre parametreleri gibi birçok etmen alt havzaları temsil edecek şekilde ayrılmıştır. Elde edilen alt havzalara Pİ (Potansiyel İstasyon) şeklinde numaralar verilerek isimlendirilmiş ve bu isimlere göre elde edilen değerler öz nitelik tablosuna yerleştirilmiştir. Potansiyel istasyonların ve bu istasyonlara göre alt havzalara ayrılan alanların drenaj hatları ve havza şekilleri Harita 3.7 ile Harita 3.12 arasındaki haritalarda gösterilmiştir.



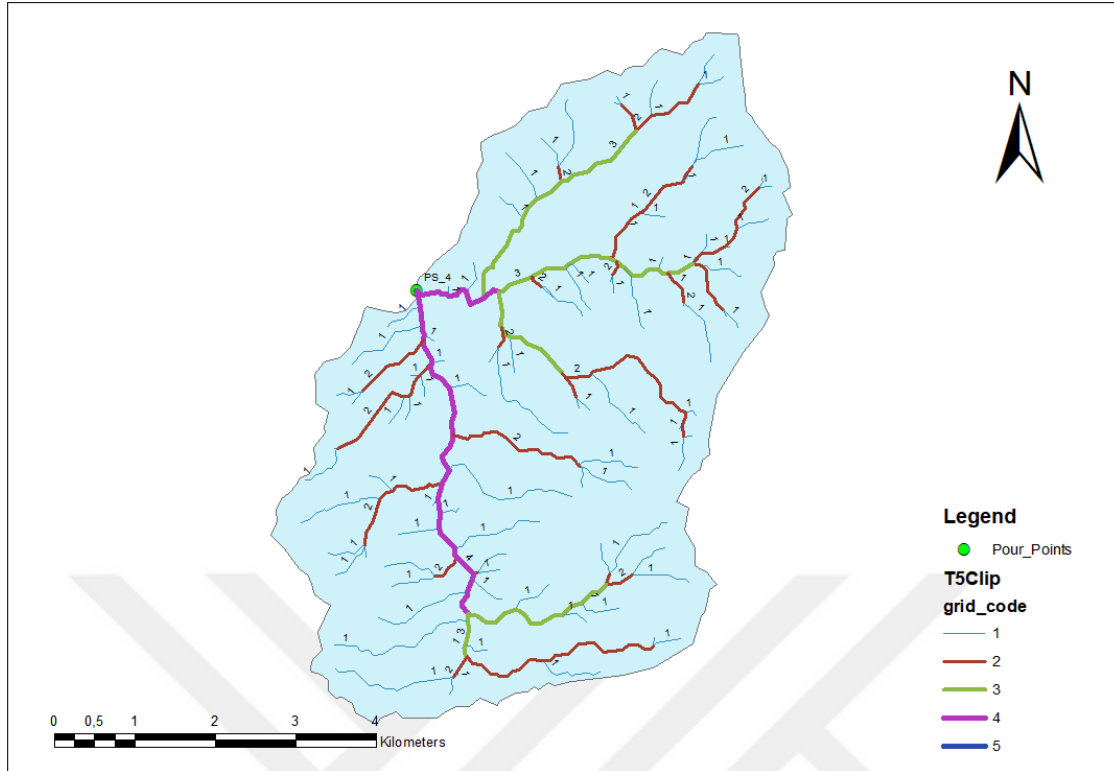
Harita 3.7. Pİ-1 Temsil Havzası ve Akım Ağları



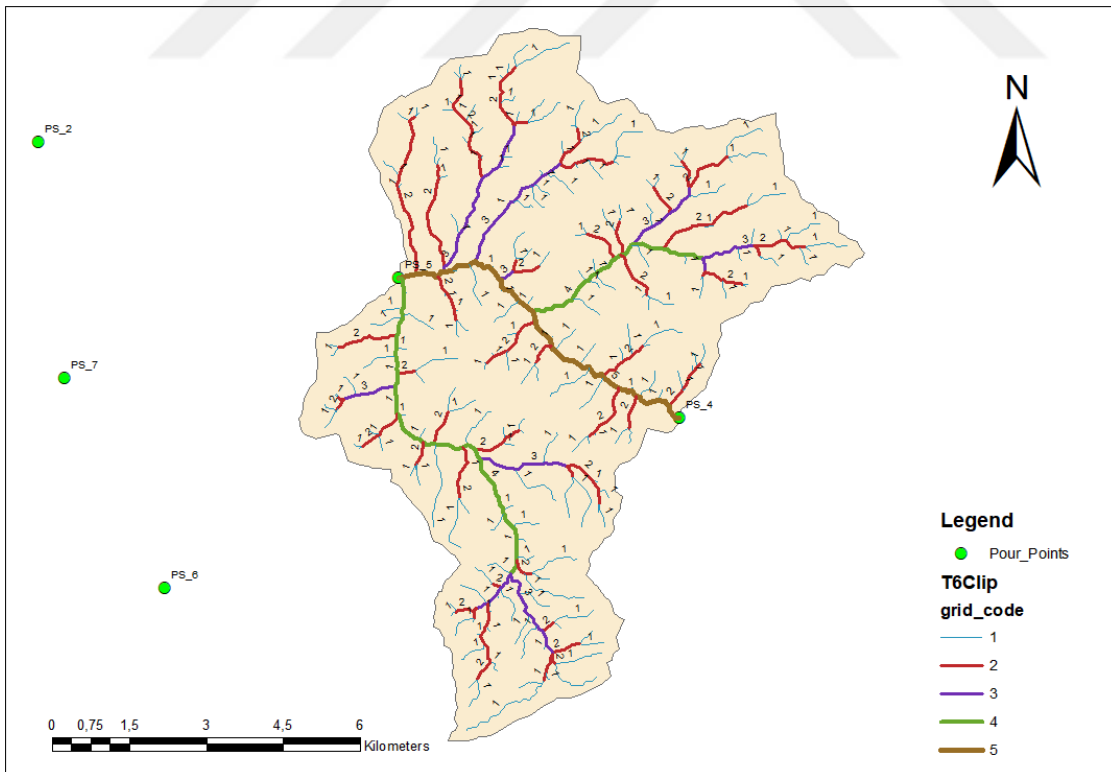
Harita 3.8. Pİ-2 Temsil Havzası ve Akım Ağları



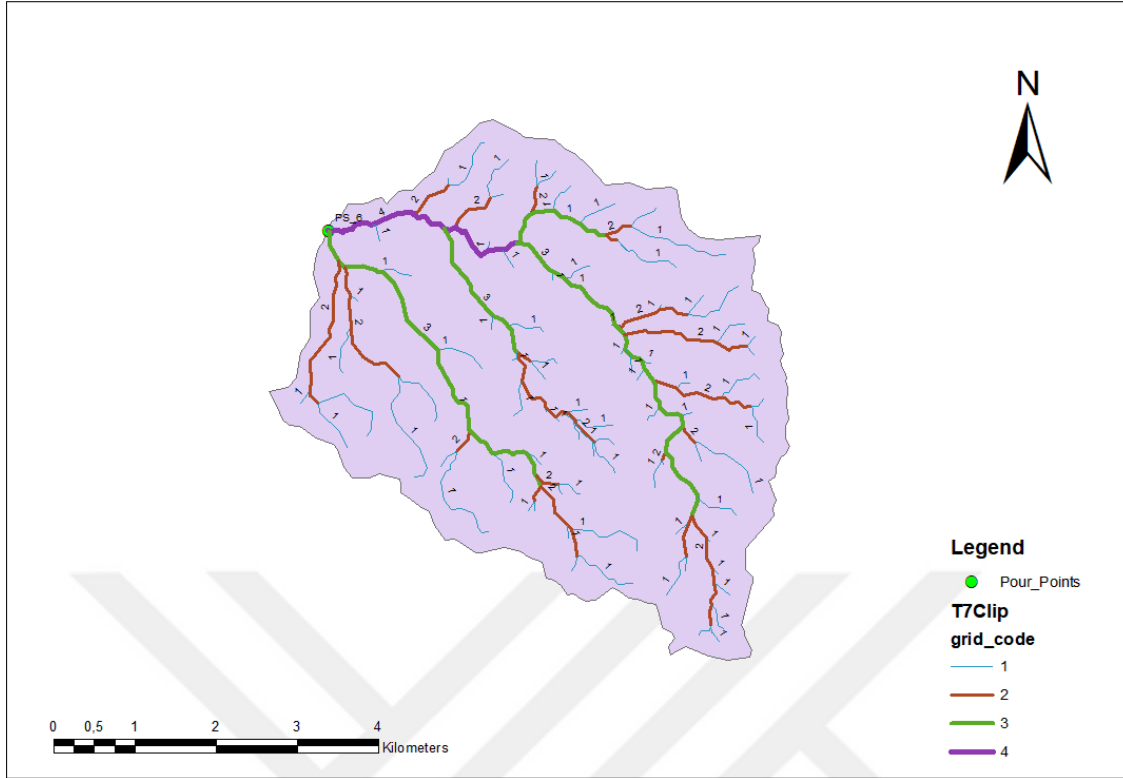
Harita 3.9. Pİ-3 Temsil Havzası ve Akım Ağları



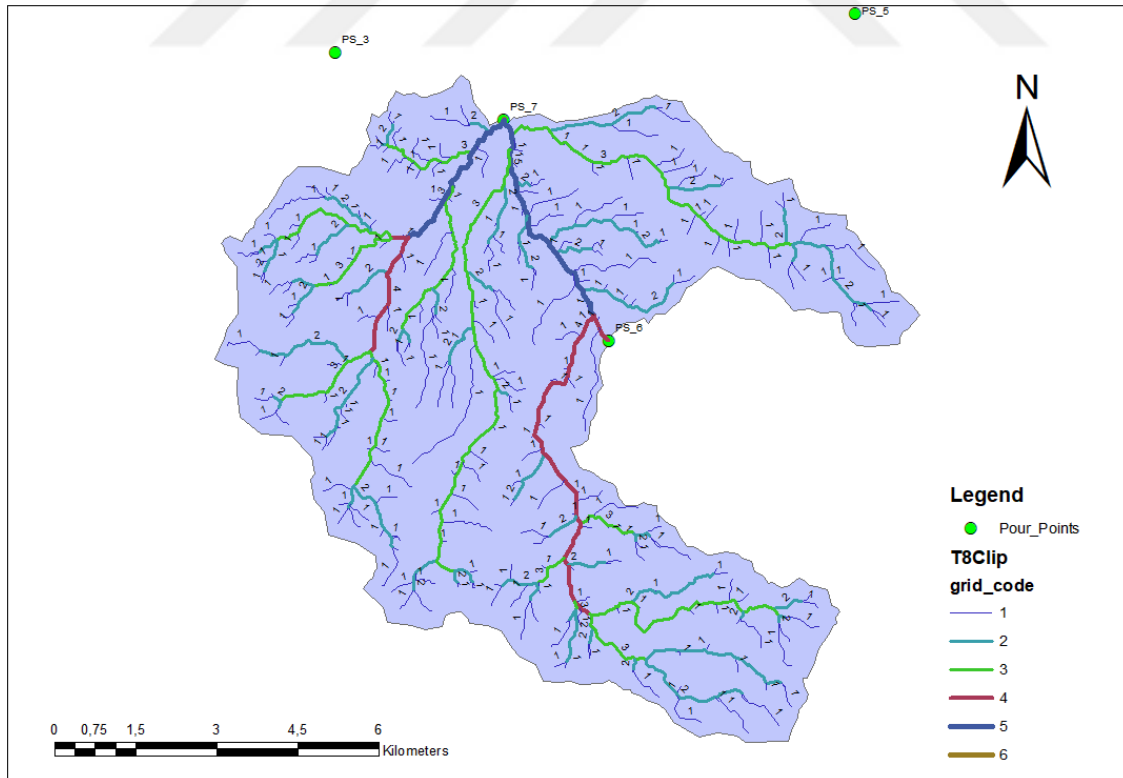
Harita 3.10. Pİ-4 Temsil Havzası ve Akım Ağları



Harita 3.11. Pİ-5 Temsil Havzası ve Akım Ağları



Harita 3.12. Pİ-6 Temsil Havzası ve Akım Ağları



Harita 3.13. Pİ-7 Temsil Havzası ve Akım Ağları

Böylece potansiyel istasyon belirleme ve bu istasyonları temsil eden alt havza belirleme işlemleri de sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan ilgili parametre hesaplamaları ve yöntemde kullanılacak öznitelik tablosu oluşturmak için gerekli altyapı hazırlanmıştır.

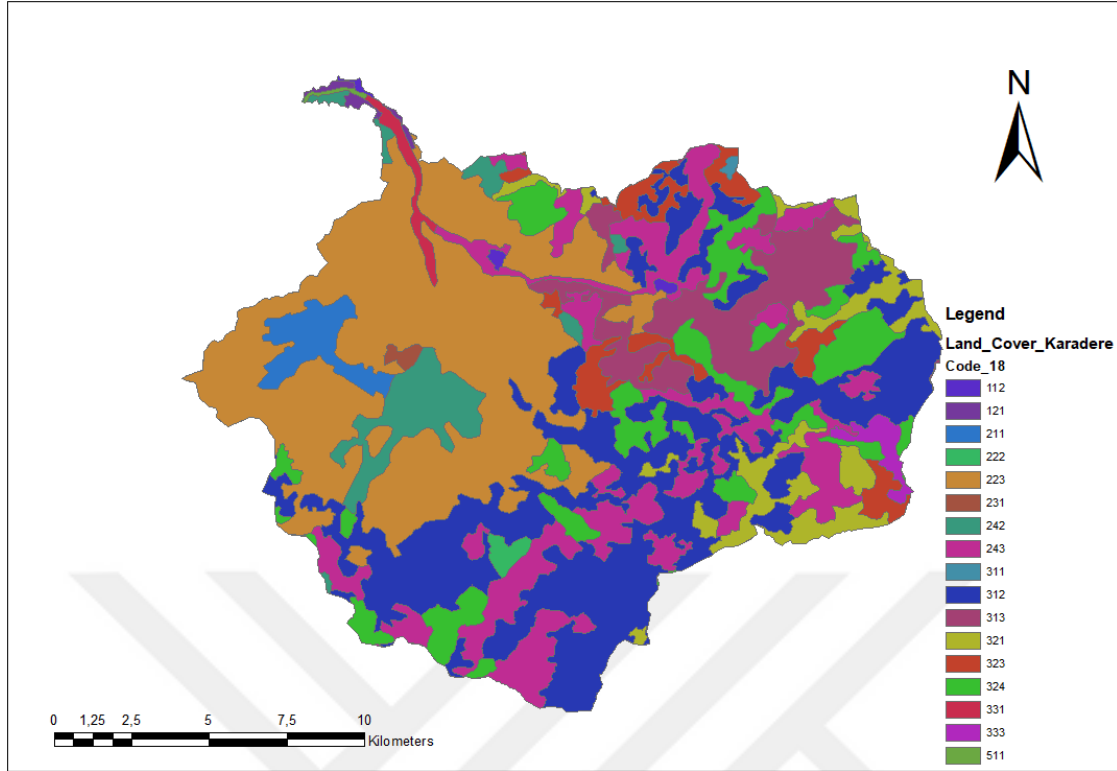
3.4. Morfometrik Analizler

Bu bölümde çalışma alanı için gerçekleştirilen morfometrik analizlerin genel özelliklerinden bahsedilecektir. CBS analizleri yardımıyla elde edilen alt havza ve bu havzaların özellikleri kullanılarak havzaları temsil eden arazilerin morfometrik parametre değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin elde edilebilmesi için çalışma içerisinde akım hatları belirleme, alt havzalara ayırma, akım hatlarını ayırma ve akma noktası belirlemeyi sağlayacak modeller CBS programı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Morfometrik analizlerin detaylı anlatımı yöntem bölümündeki alt başlıkta ifade edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar ise bulgular bölümünde sunulmuştur.

3.5. Hidrolojik Toprak Grup Analizleri

Çalışma alanında yapılan analiz çalışmalarından bir diğeri Hidrolojik Toprak Gruplarına göre eğri numaralarının belirlenmesidir. Bu işlem için belirli harita ve verilerin temin edilmesi gerekmektedir. İşlemin gereksinimi ve süreçte kullanılan çizelgeler analiz bölümünde detaylıca sunulmuştur. Burada eğri numaralarının (CN) elde edilmesi için çalışma alanında kullanılan CBS analizlerinden ve çalışma alanının toprak türünden bahsedilecektir.

Çalışma alanı için belirlenen bölge üzerindeki arazi kullanım haritaları ve toprak türlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda Corine veri tabanı üzerinden çalışma alanını kapsayan arazi kullanım haritası temin edilmiştir. Elde edilen arazi kullanımı Harita 3.14'te verilmektedir.

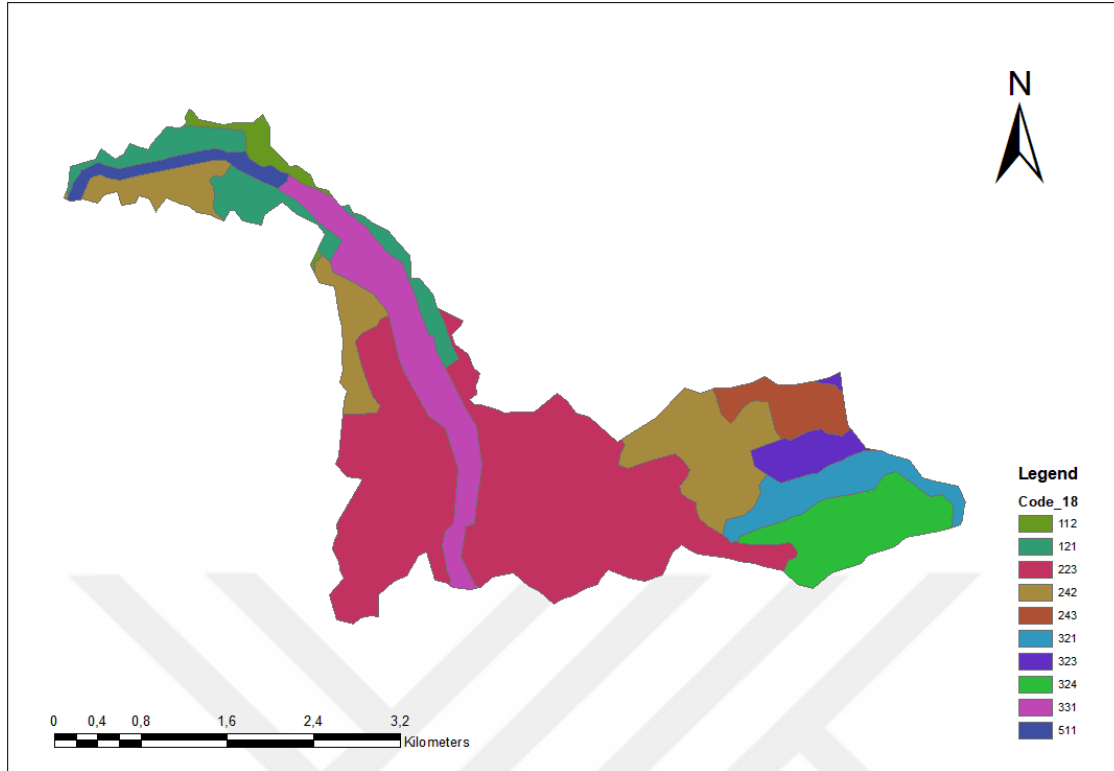


Harita 3.14. Çalışma Alanı Arazi Kullanım Haritası

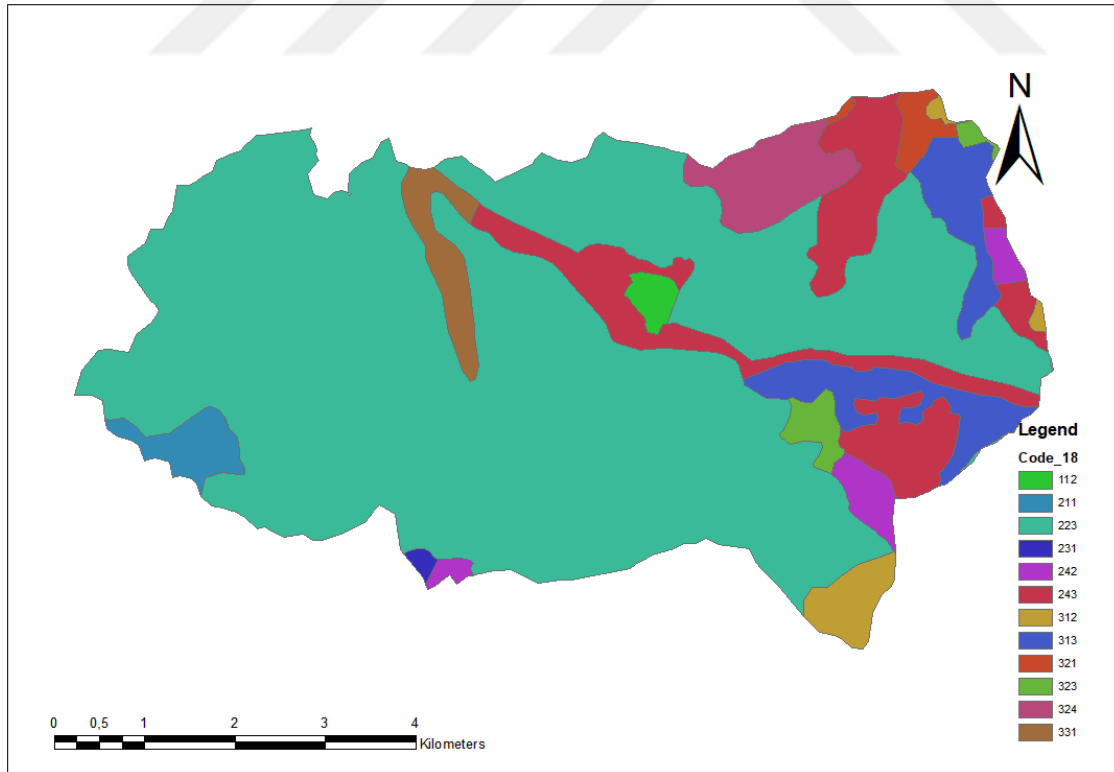
Arazi kullanım haritalarının belirlenen alt havzalara göre ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir potansiyel istasyon için belirlenen havza alanlarına ait arazi kullanım durumları Harita 3.15 ile Harita 3.21 arasındaki haritalarda sunulmuştur. Haritalarda belirtilen kodların tanımlamaları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Arazi Kullanım Kod Lejantı (Corine)

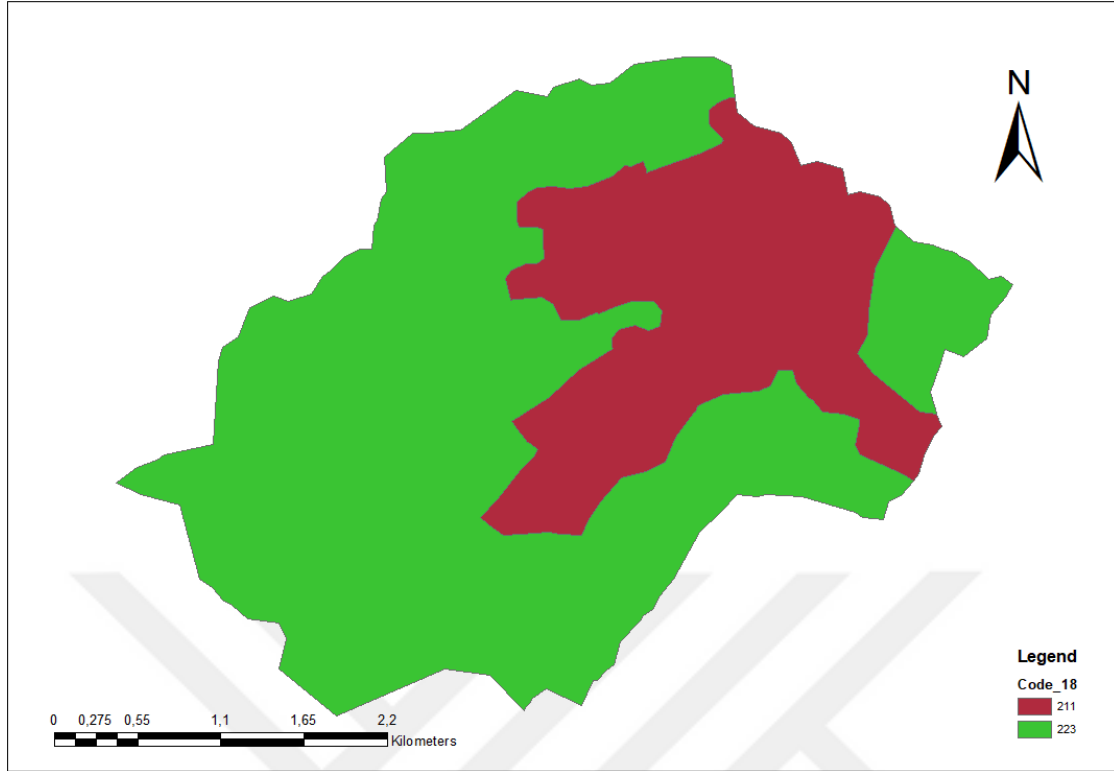
<u>Arazi Kod</u>	<u>Etiket 1</u>	<u>Etiket 2</u>	<u>Etiket 3</u>
112	Yapay yüzeyler	Kentsel doku	Kesintili kentsel doku
121	Yapay yüzeyler	Endüstriyel, ticari ve ulaşım üniteleri	Endüstriyel veya ticari üniteler
211	Tarım alanları	Ekilebilir arazi	Sulanmayan tarım arazisi
222	Tarım alanları	Kalıcı bitkiler	Meyve ağaçları ve meyve bahçeleri
223	Tarım alanları	Kalıcı bitkiler	Zeytinlikler
231	Tarım alanları	Meralar	Meralar
242	Tarım alanları	Heterojen tarım alanları	Karmaşık yetiştirme desenleri
243	Tarım alanları	Heterojen tarım alanları	Başlıca tarımın yapıldığı, önemli miktarda doğal bitki örtüsüne sahip arazi
311	Orman ve yarı doğal alanlar	Ormanlar	Geniş yapraklı orman
312	Orman ve yarı doğal alanlar	Ormanlar	İğne yapraklı orman
313	Orman ve yarı doğal alanlar	Ormanlar	Karışık orman
321	Orman ve yarı doğal alanlar	Çalılık ve/veya otsu bitki örtüsü birliktelikleri	Doğal çayırlar
323	Orman ve yarı doğal alanlar	Çalılık ve/veya otsu bitki örtüsü birliktelikleri	Sklerofil bitki örtüsü
324	Orman ve yarı doğal alanlar	Çalılık ve/veya otsu bitki örtüsü birliktelikleri	Geçiş dönemi ormanlık-çalı
331	Orman ve yarı doğal alanlar	Az veya hiç bitki örtüsü olmayan açık alanlar	Plajlar, kumullar, kumlar
333	Orman ve yarı doğal alanlar	Az veya hiç bitki örtüsü olmayan açık alanlar	Seyrek bitki örtüsü olan alanlar
511	Su kütleleri	İç sular	Su yolları



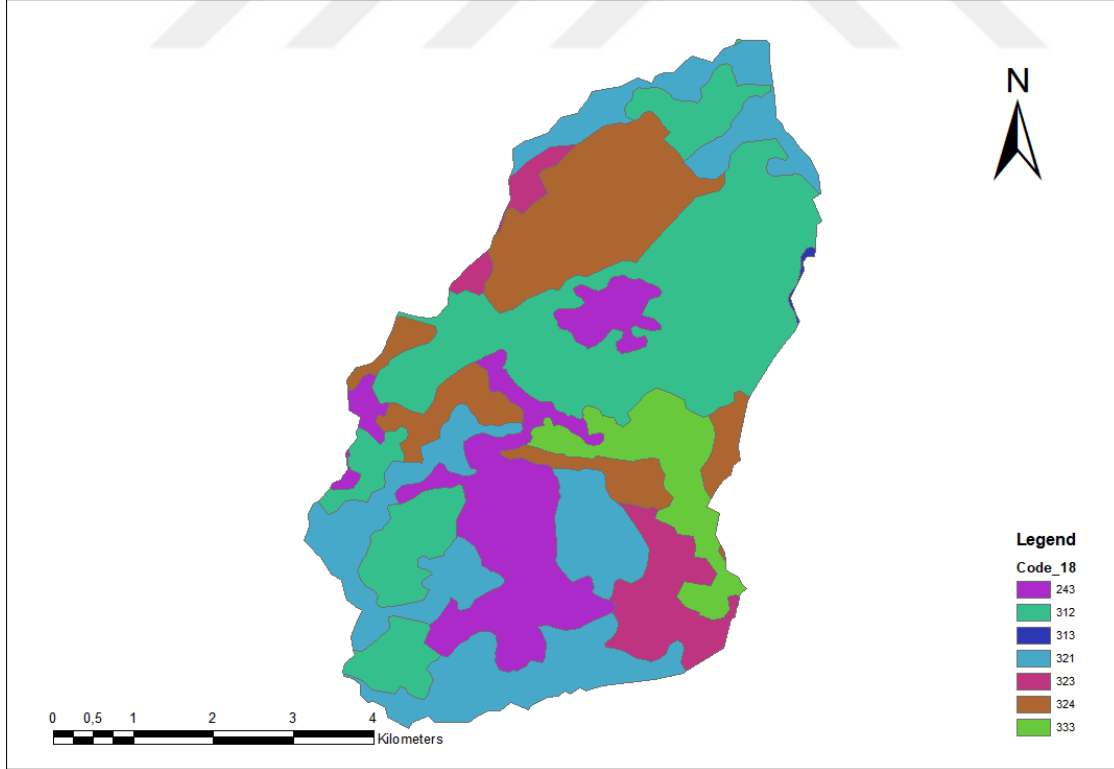
Harita 3.15. Pİ-1 için Arazi Kullanım Haritası



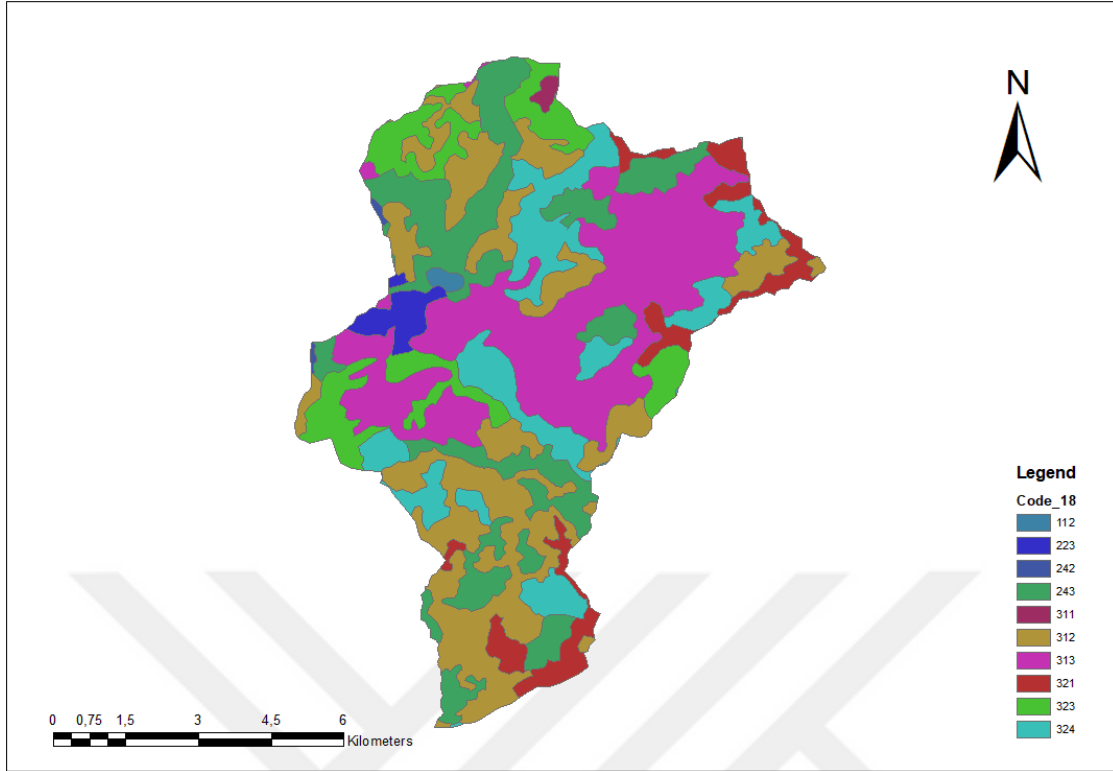
Harita 3.16. Pİ-2 için Arazi Kullanım Haritası



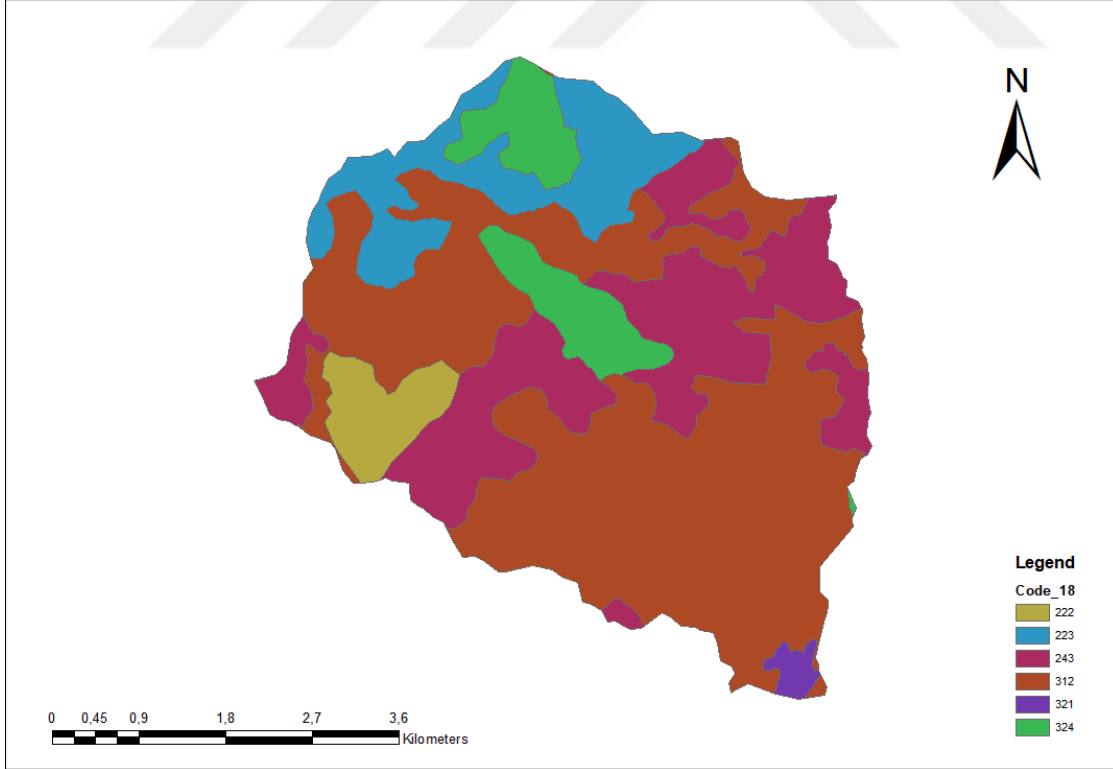
Harita 3.17. Pİ-3 için Arazi Kullanım Haritası



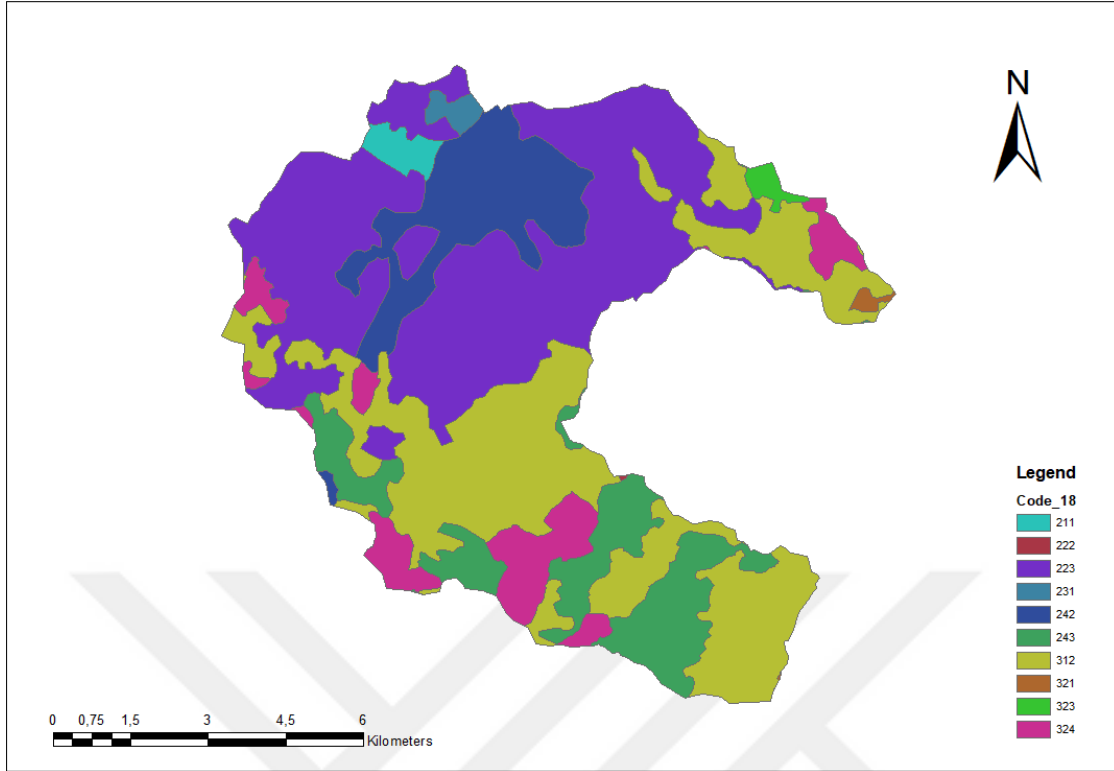
Harita 3.18. Pİ-4 için Arazi Kullanım Haritası



Harita 3.19. Pİ-5 için Arazi Kullanım Haritası

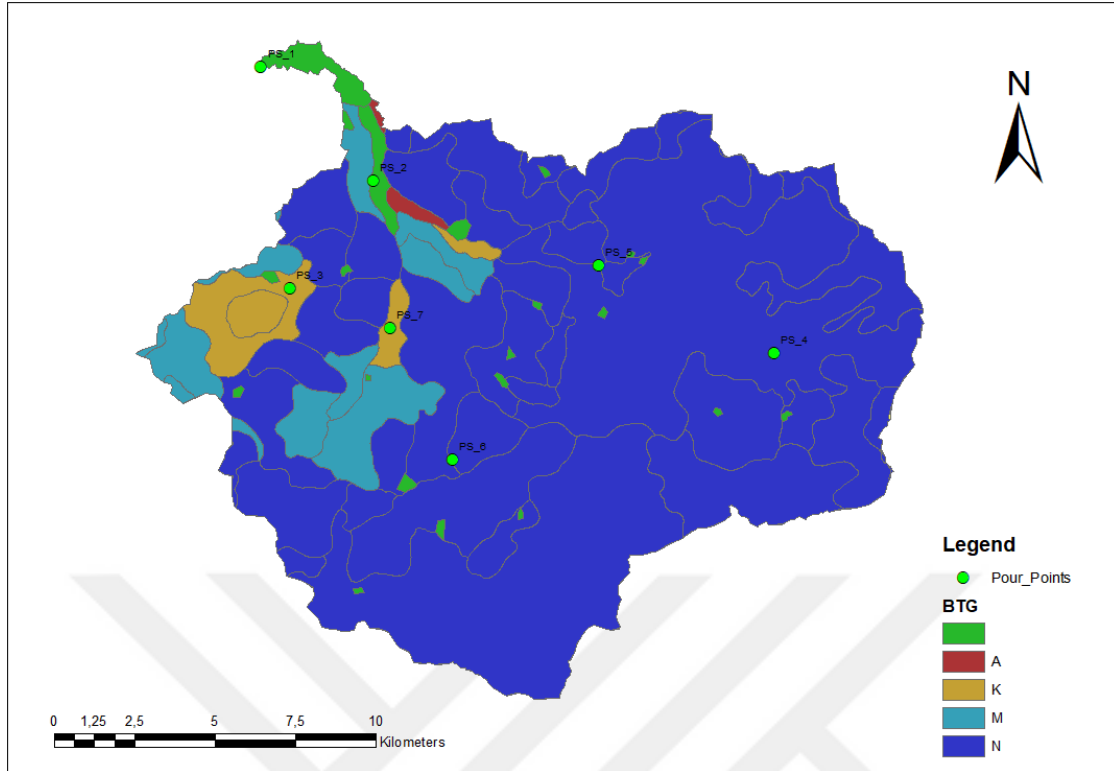


Harita 3.20. Pİ-6 için Arazi Kullanım Haritası

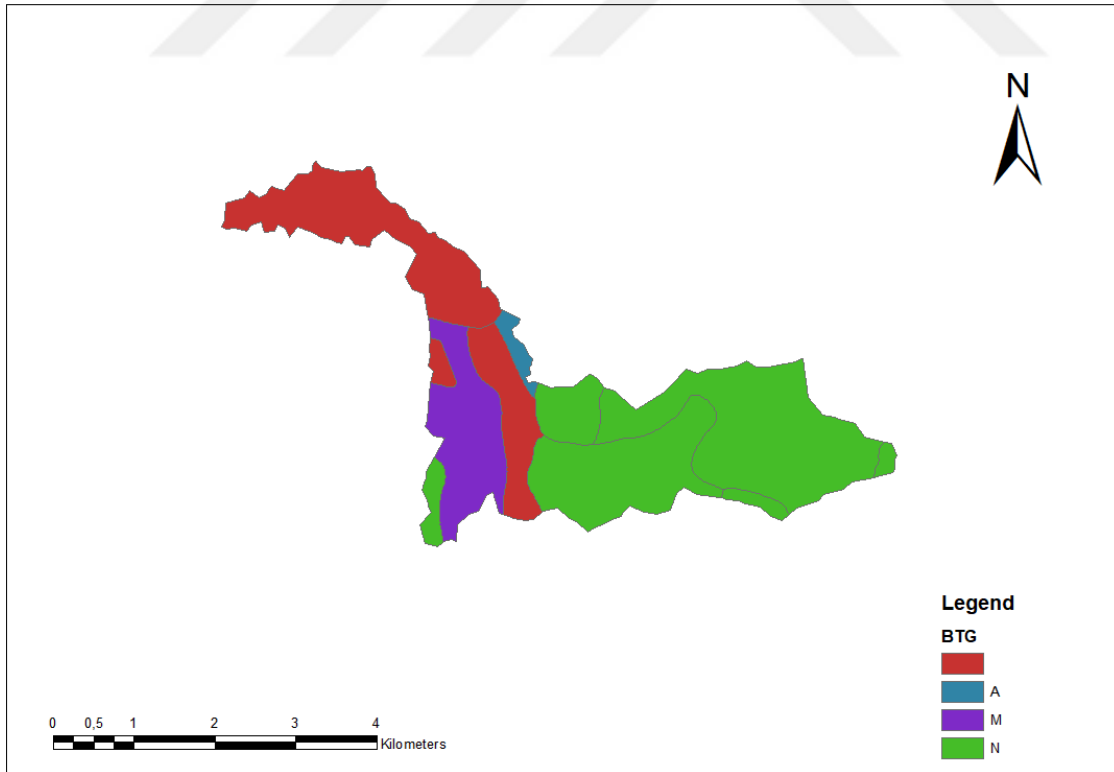


Harita 3.21. Pİ-7 için Arazi Kullanım Haritası

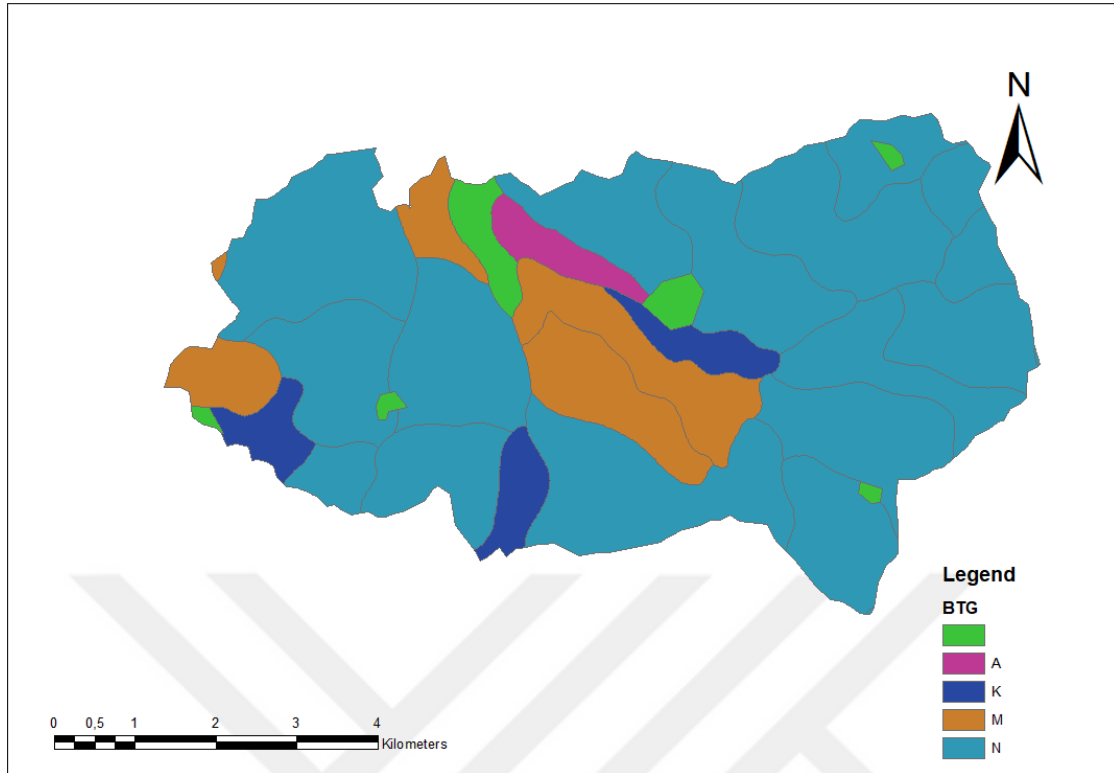
Arazi kullanım haritalarındaki benzer bir süreç BTG'ler için de kullanılmıştır. Harita 3.22'de çalışma alanı için kullanılan arazi kullanım haritası verilmiştir. Alt havzalar için elde edilen BTG haritaları ise Harita 3.23 ile Harita 3.29 arasındaki haritalarda verilmiştir.



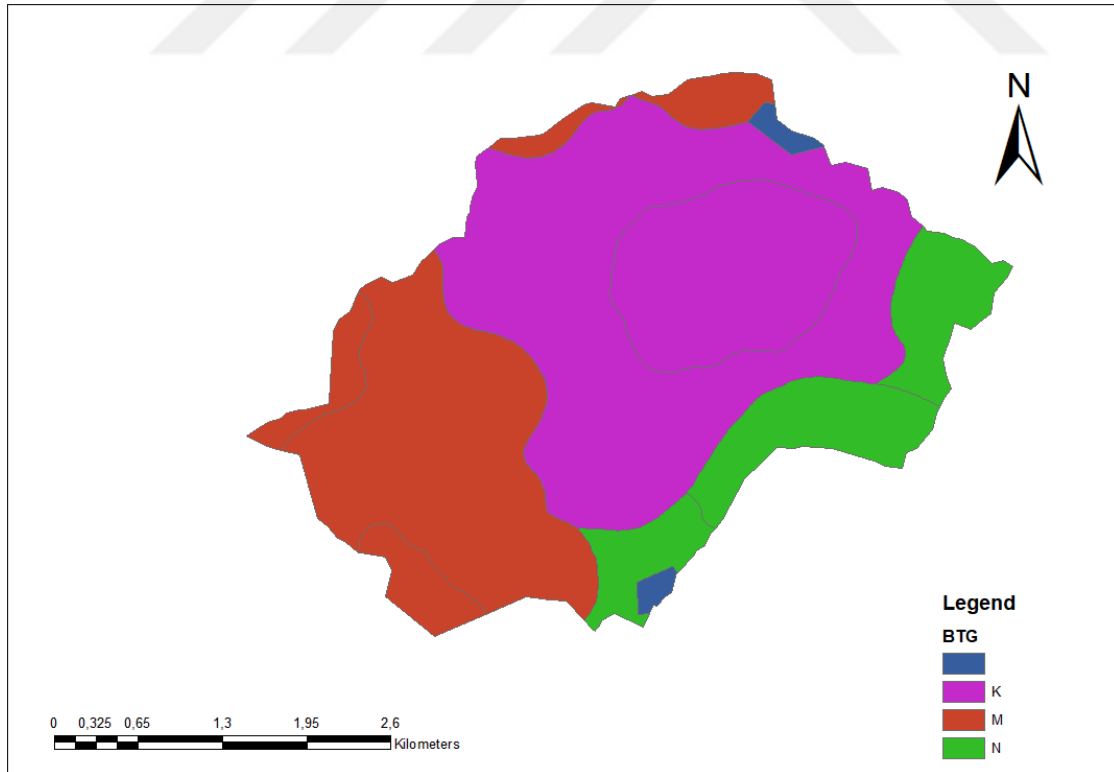
Harita 3.22. Çalışma Alanı BTG Haritası



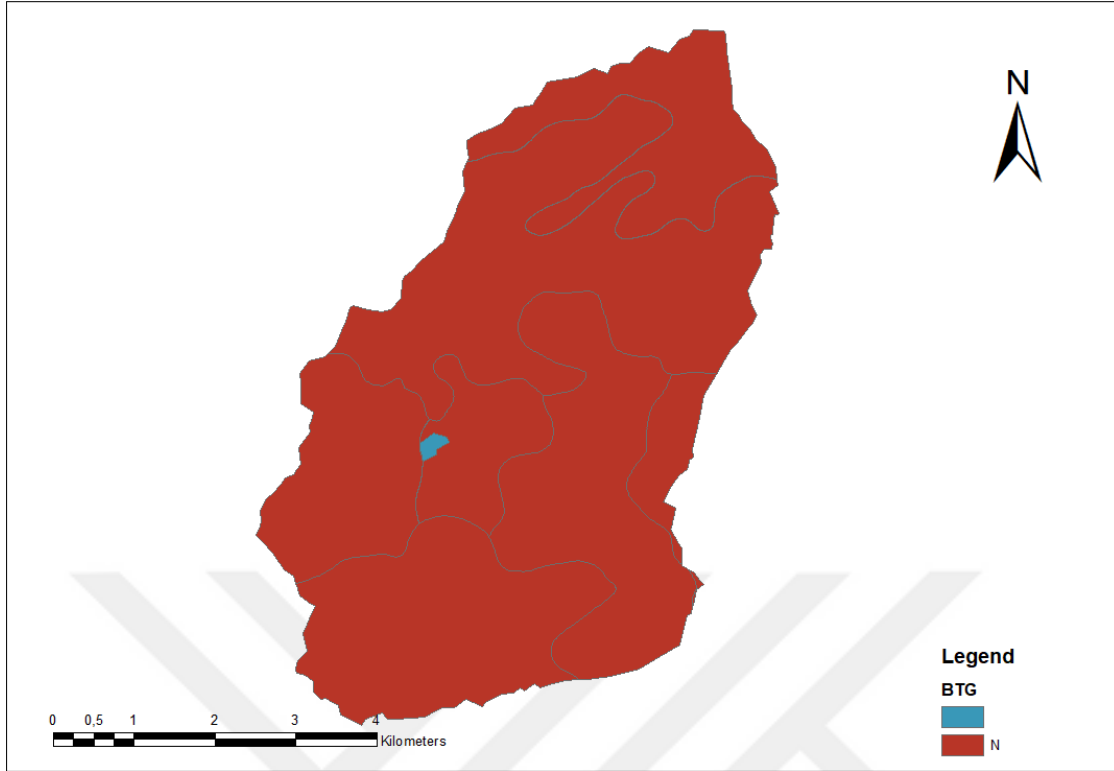
Harita 3.23. Pİ-1 BTG Haritası



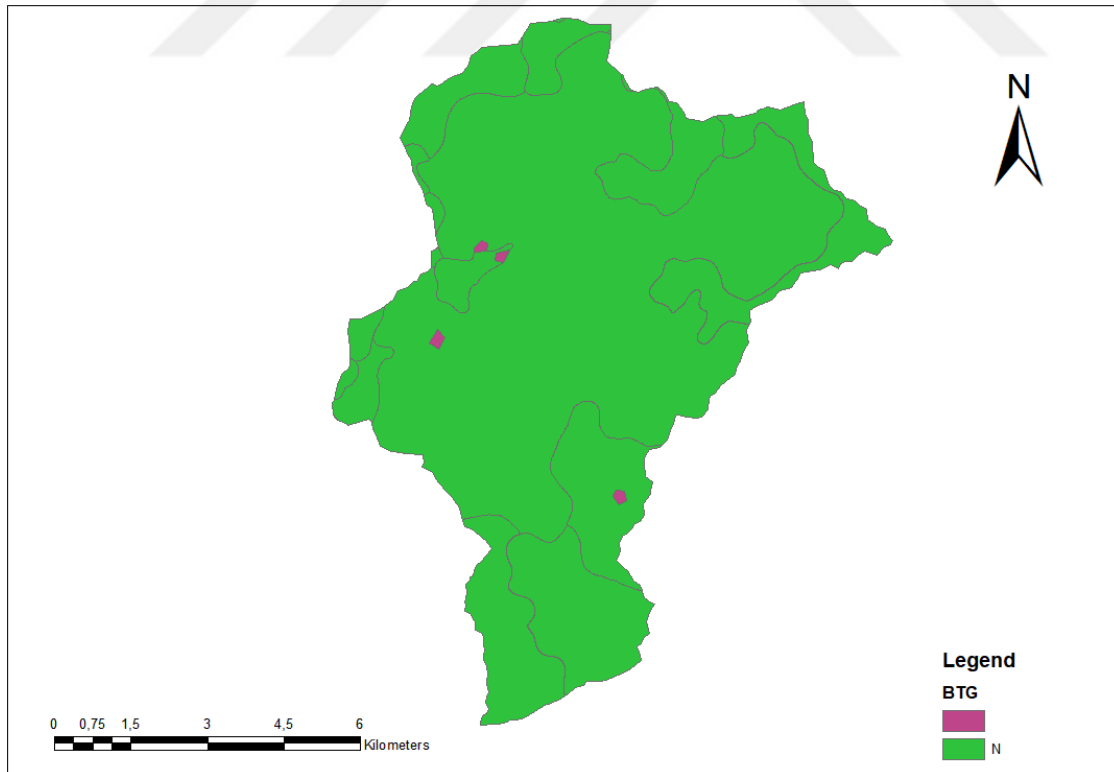
Harita 3.24. Pİ-2 BTG Haritası



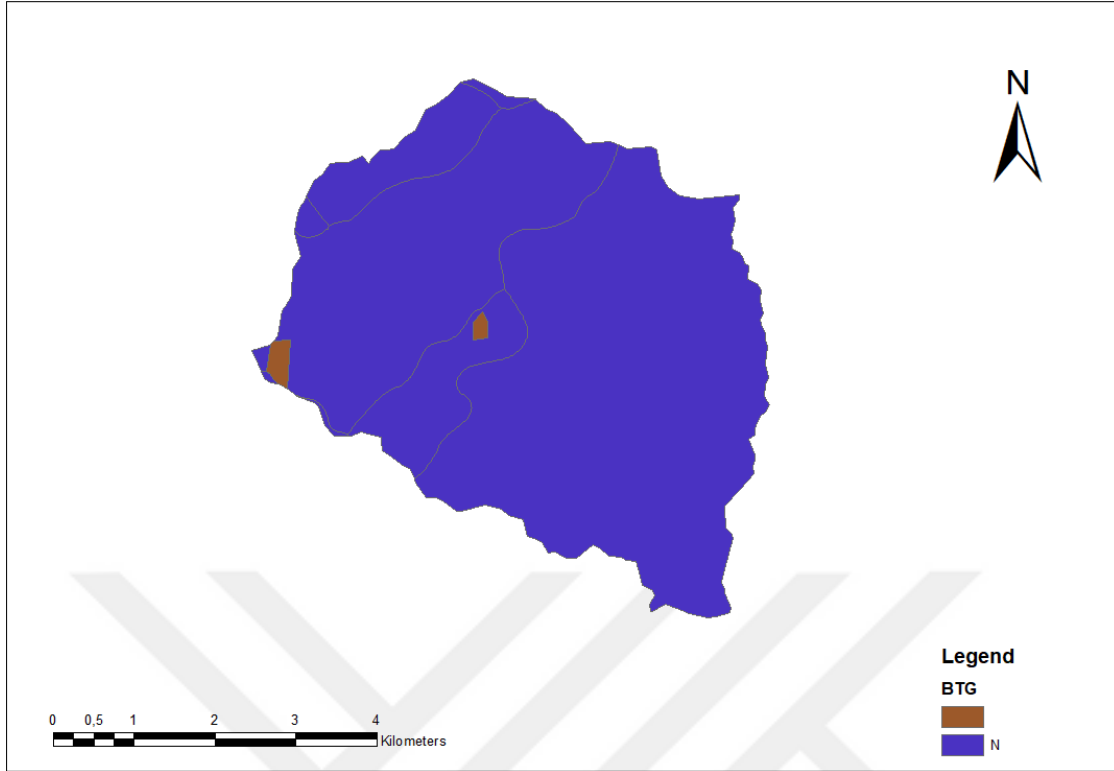
Harita 3.25. Pİ-3 BTG Haritası



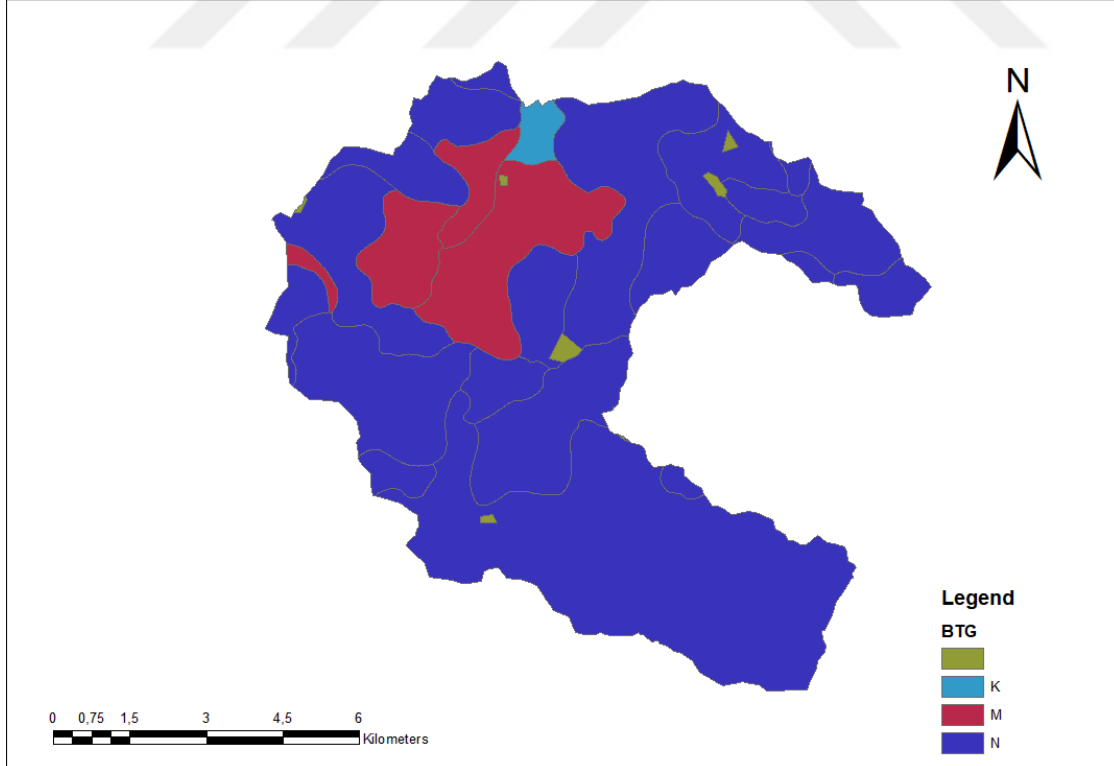
Harita 3.26. Pİ-4 BTG Haritası



Harita 3.27. Pİ-5 BTG Haritası

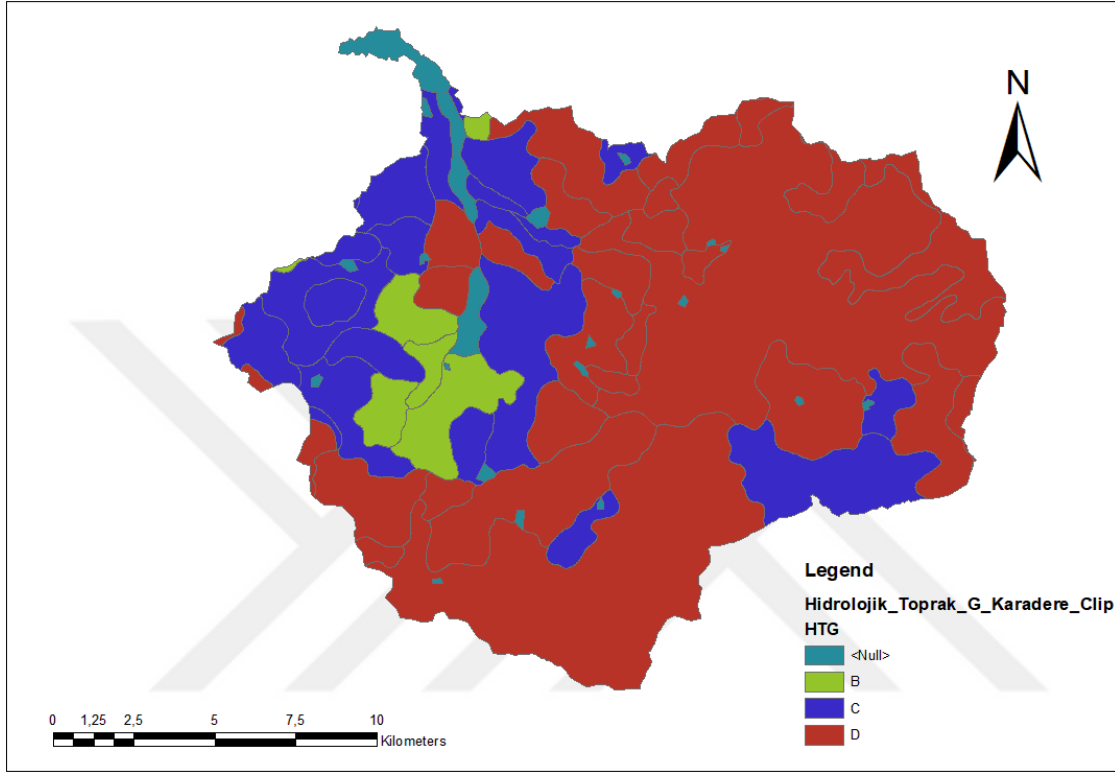


Harita 3.28. Pİ-6 BTG Haritası

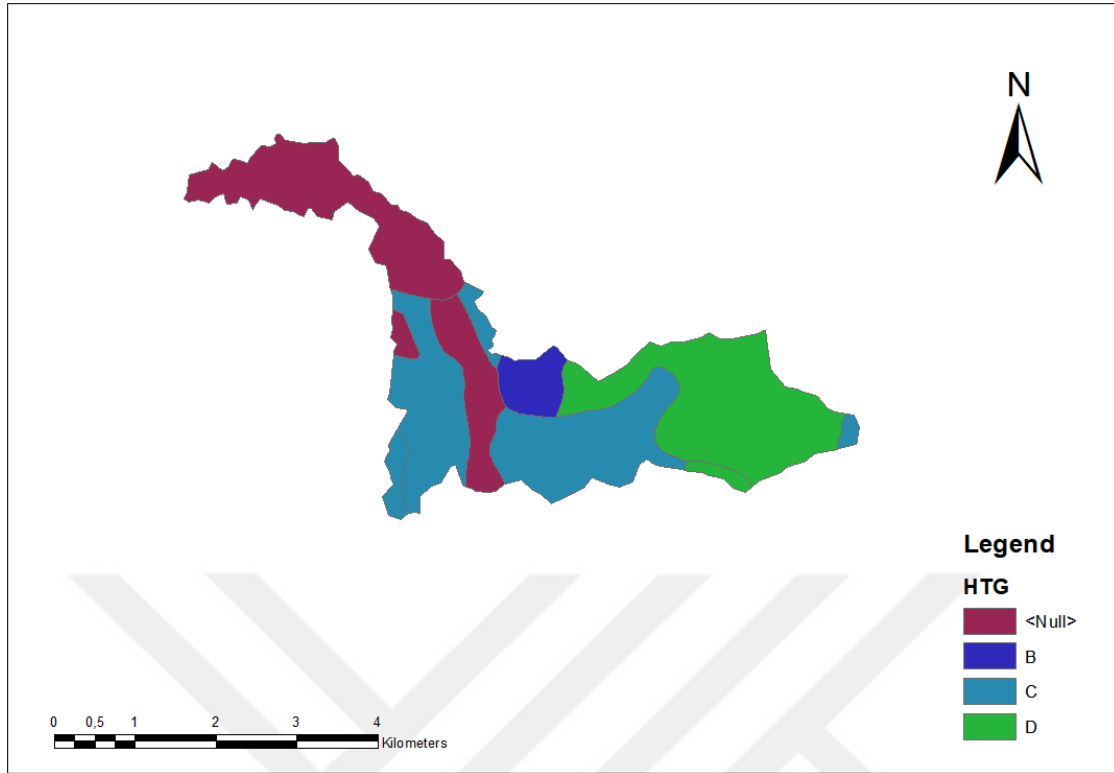


Harita 3.29. Pİ-7 BTG Haritası

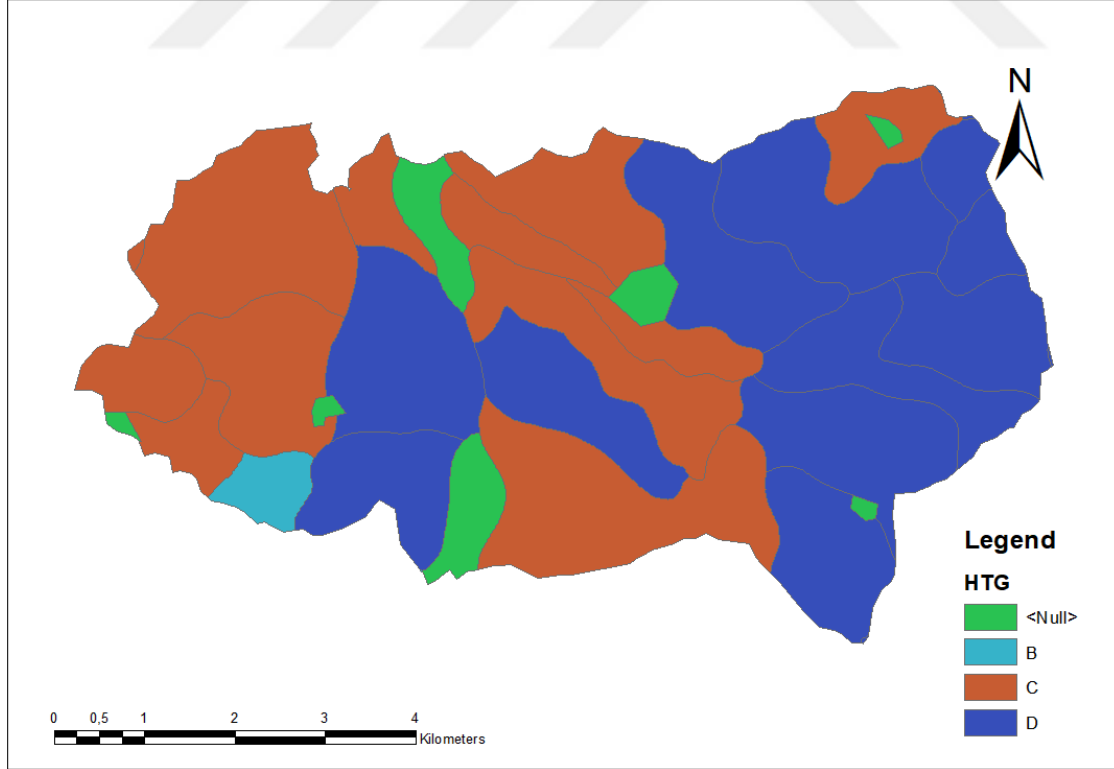
Elde edilen BTG ve arazi kullanım haritalarından (bu süreç yöntem bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır) çalışma havzası için Hidrolojik toprak grupları ve eğri numaraları (CN) elde edilmiştir. Çalışma alanına ait HTG haritası Harita 3.30'da, alt havzalara ait HTG haritaları ise Harita 3.31 ile Harita 3.37 arasındaki haritalarda verilmiştir.



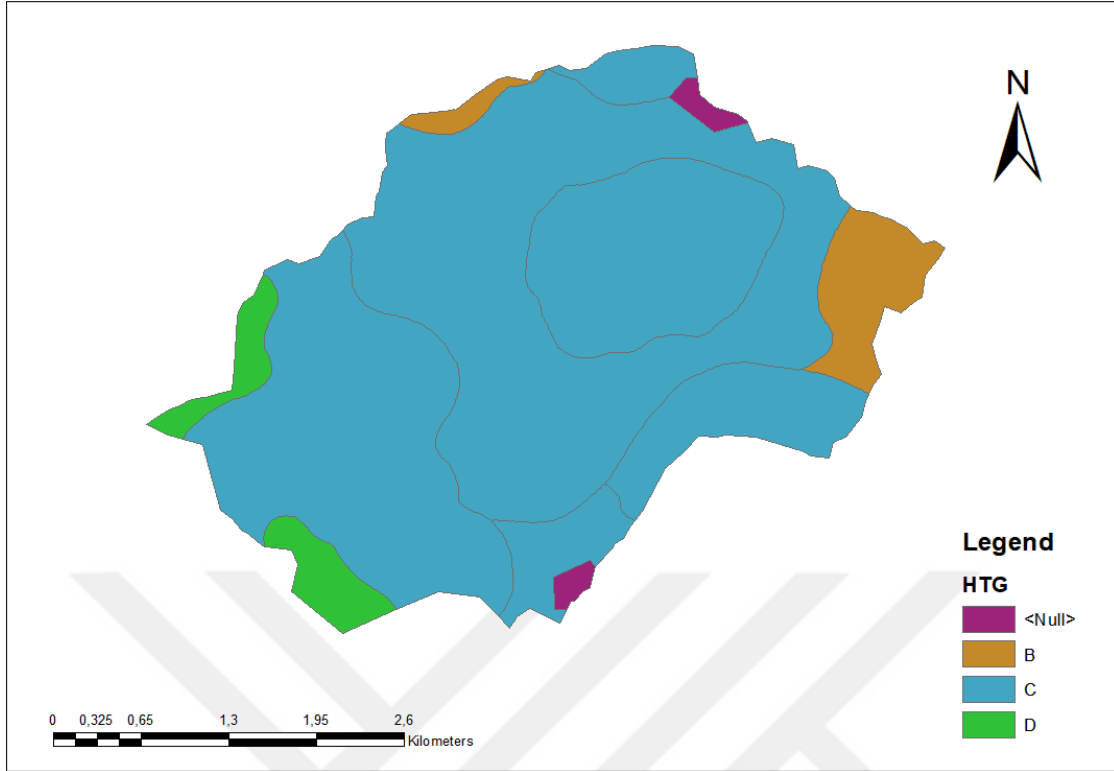
Harita 3.30. Çalışma Alanı HTG Haritası



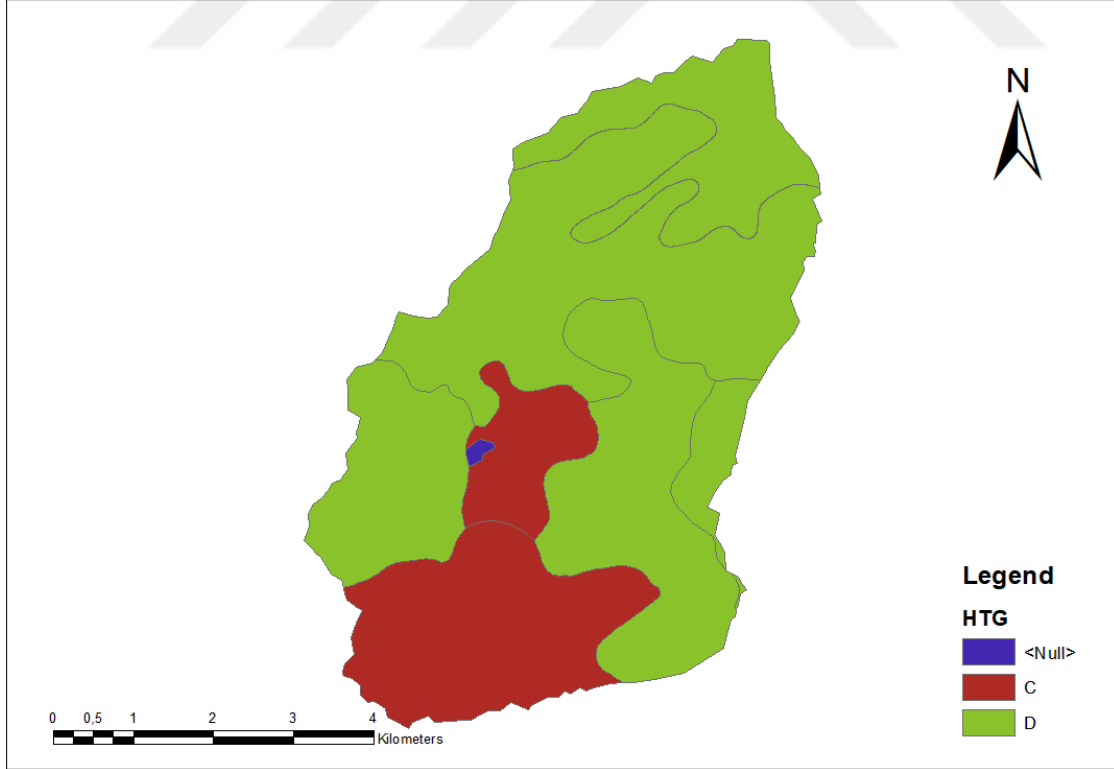
Harita 3.31. Pİ-1 HTG Haritası



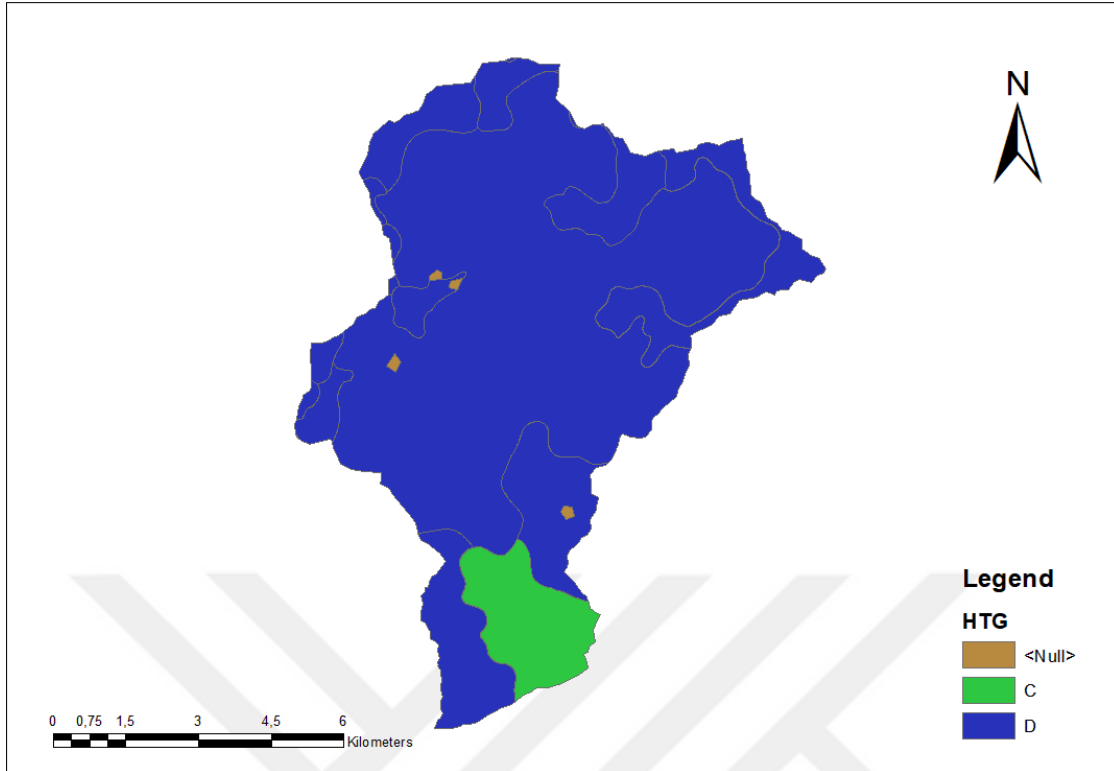
Harita 3.32. Pİ-2 HTG Haritası



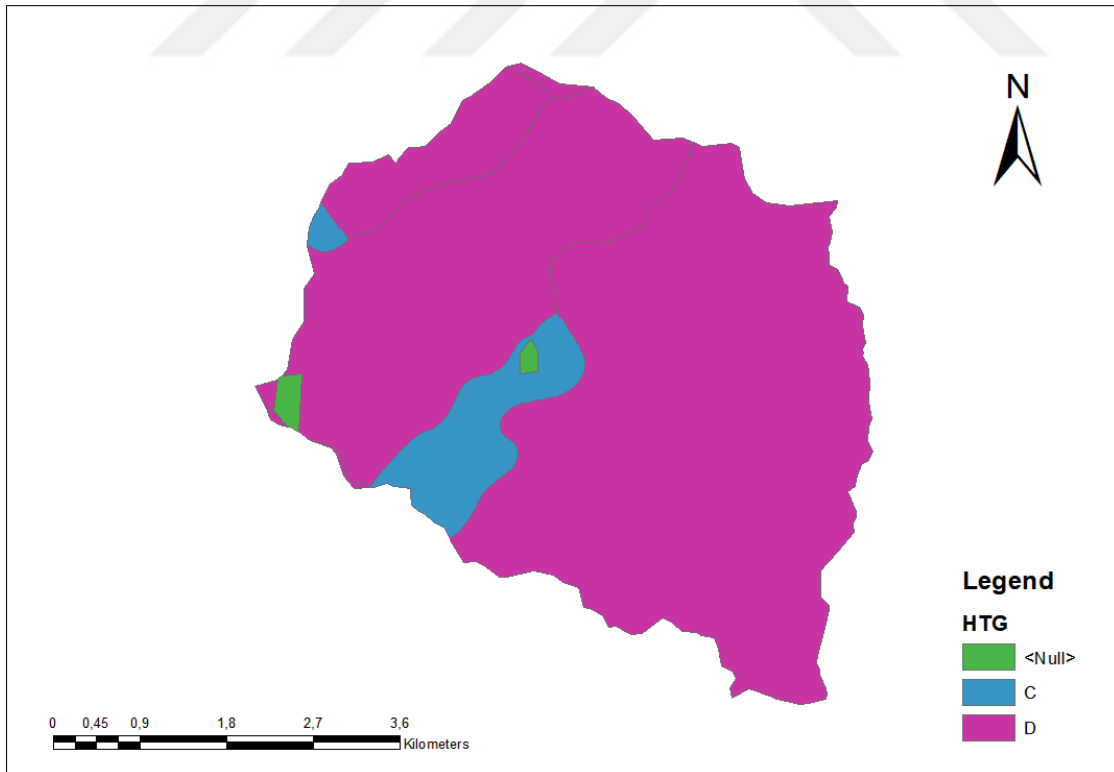
Harita 3.33. Pİ-3 HTG Haritası



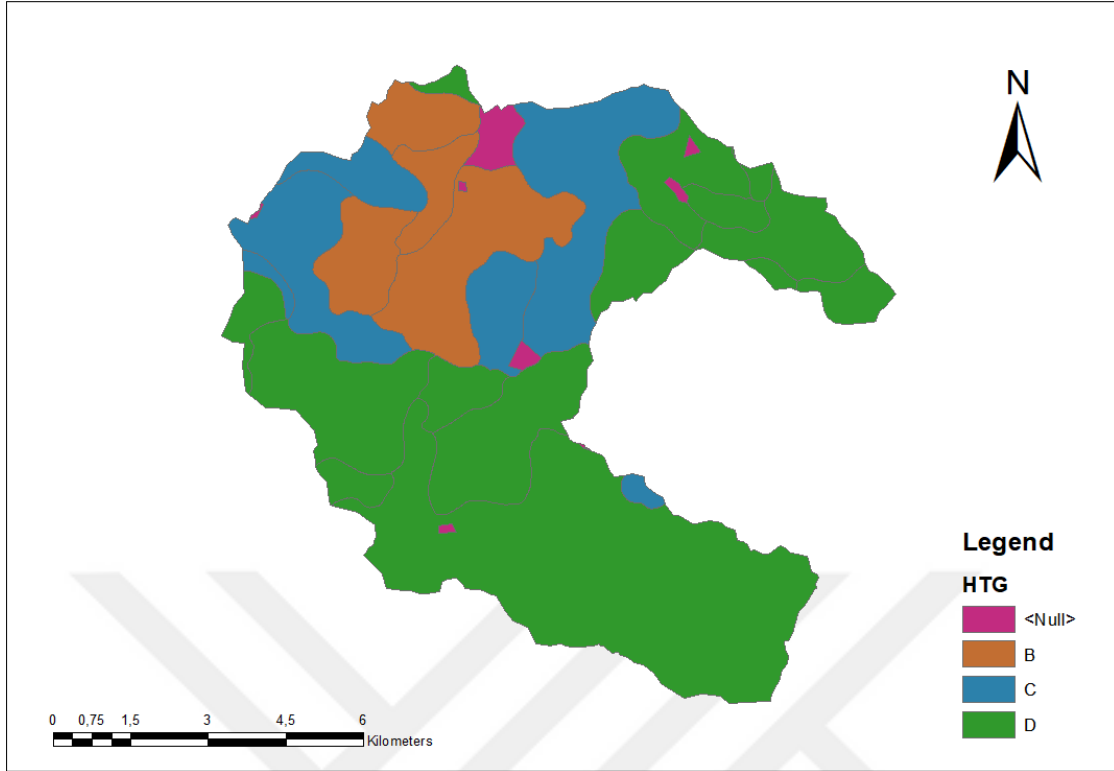
Harita 3.34. Pİ-4 HTG Haritası



Harita 3.35. Pİ-5 HTG Haritası

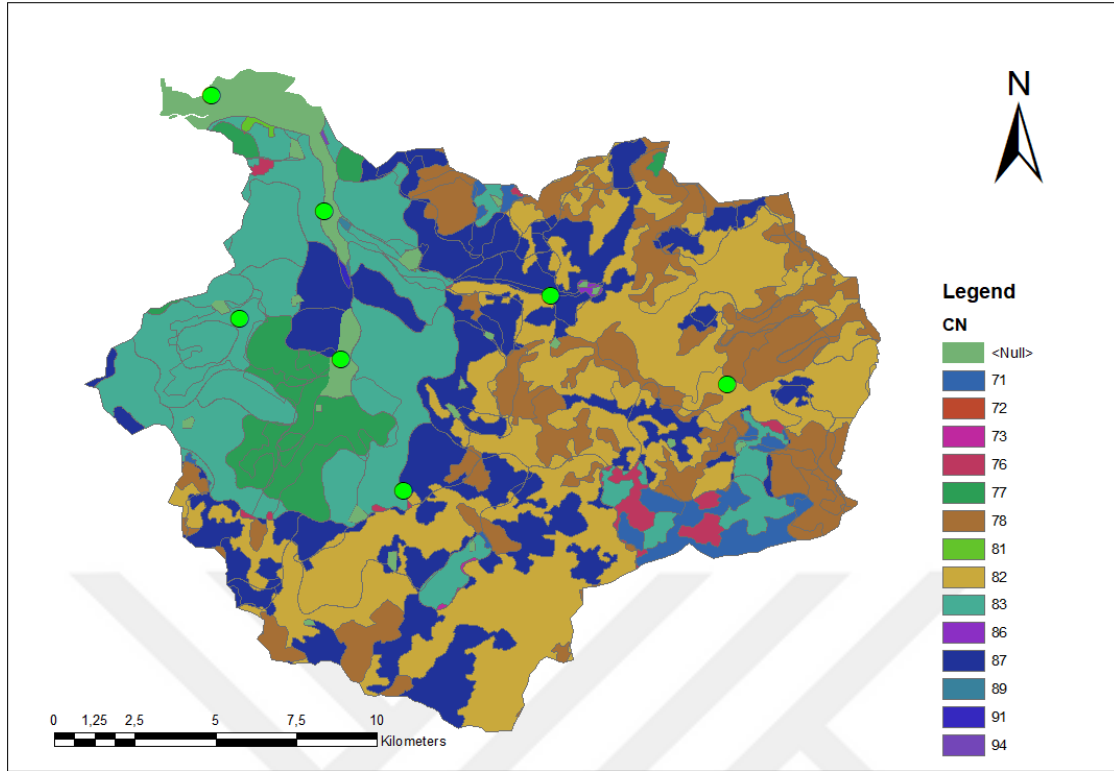


Harita 3.36. Pİ-6 HTG Haritası

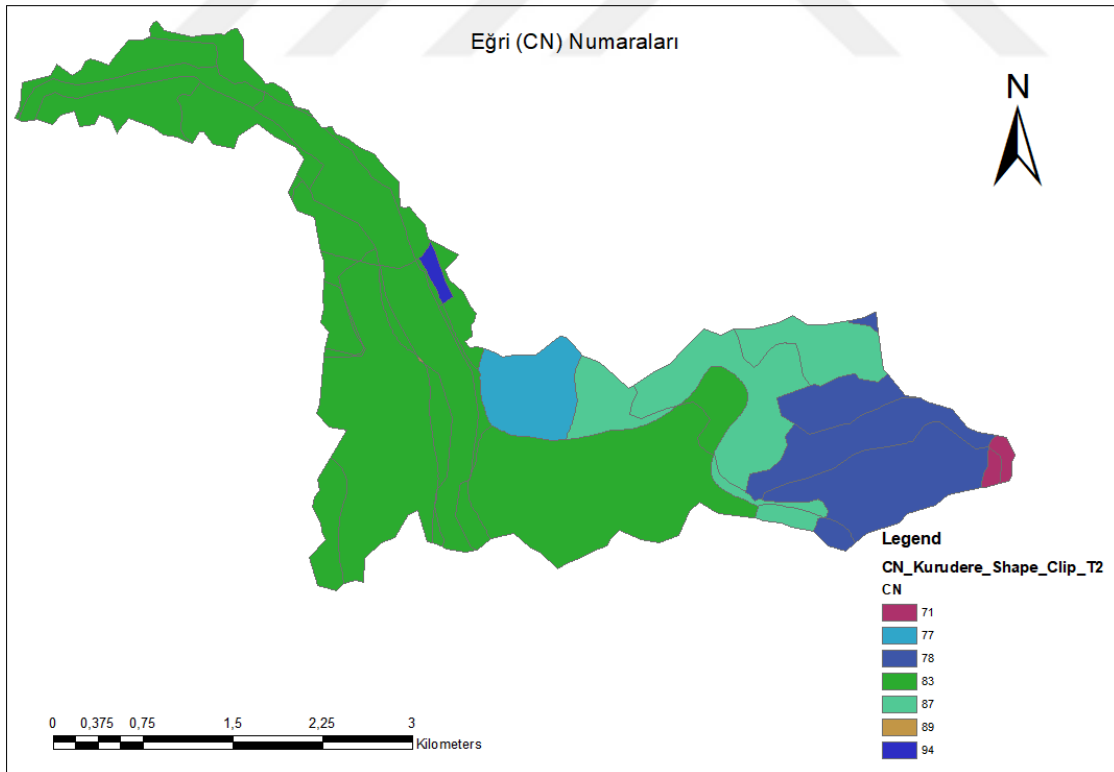


Harita 3.37. Pİ-7 HTG Haritası

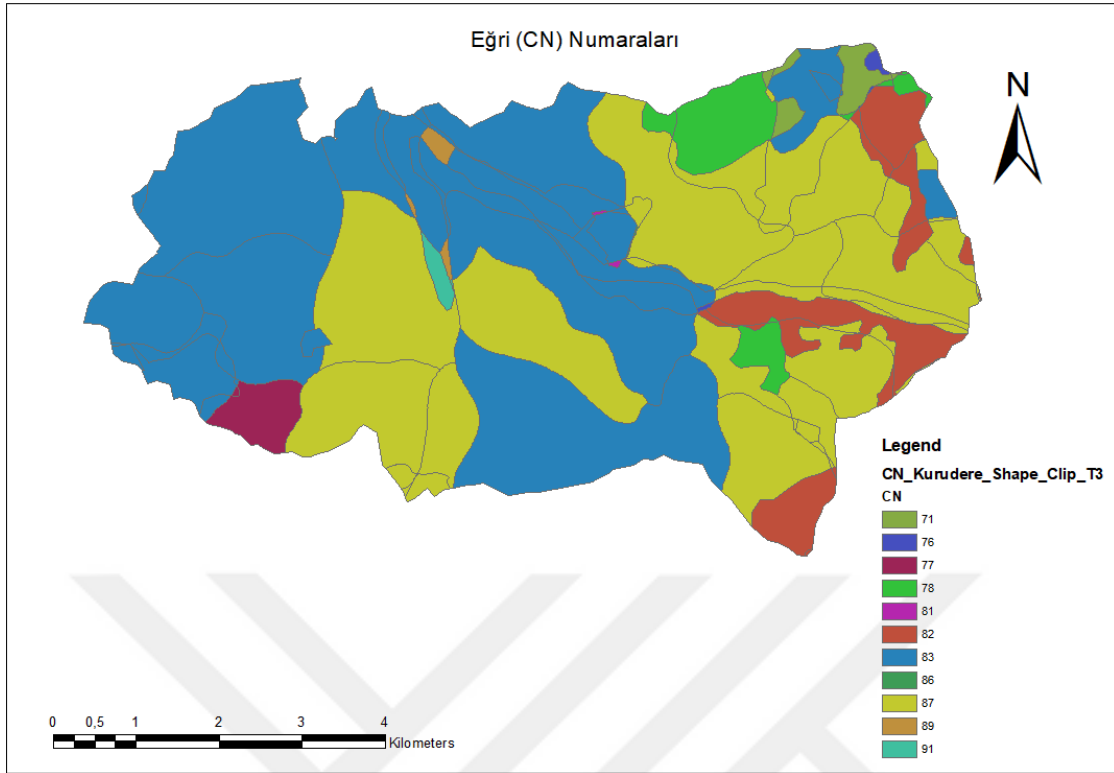
Elde edilen eğri numaralarının dağılımlarını gösteren Harita 3.38’de verilmiştir. Çalışmada BTG ve Arazi kullanım haritalarının kullanımı ve elde edilmesi sürecinde toprak grubunda tam olarak tanımlanamayan alanlar bulunabilmektedir. Bu alanlar harita içerisinde de yer yer görülebilmektedir. Bu alanların da sisteme dahil edilebilmesi için yakın bulunan bölgelerin koşulları kullanılabilir. Bu çalışmada da eğri numaraları arazi kullanımı veya toprak tipi nedeniyle tespitinin tam yapılamadığı alanlar en yakınlarındaki en büyük bölgelerle eşleştirilmiştir. Hesaplanan eğri numaraları yöntem içerisinde kullanılmak üzere öznitelik tablosuna işlenmiştir. Harita 3.39 ile Harita 3.45 arasında çalışma alanında bulunan her bir alt havza için hesaplanan eğri numaralarının dağılımları verilmiştir.



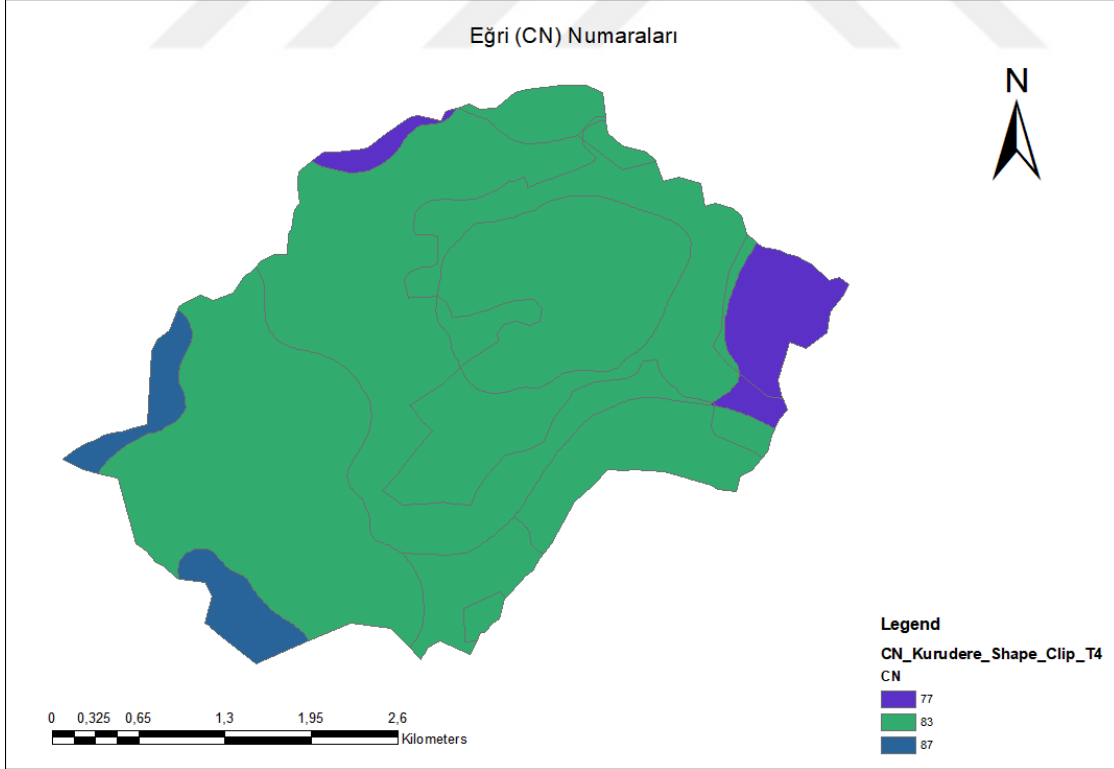
Harita 3.38. Çalışma Alanı Eğri Numaraları



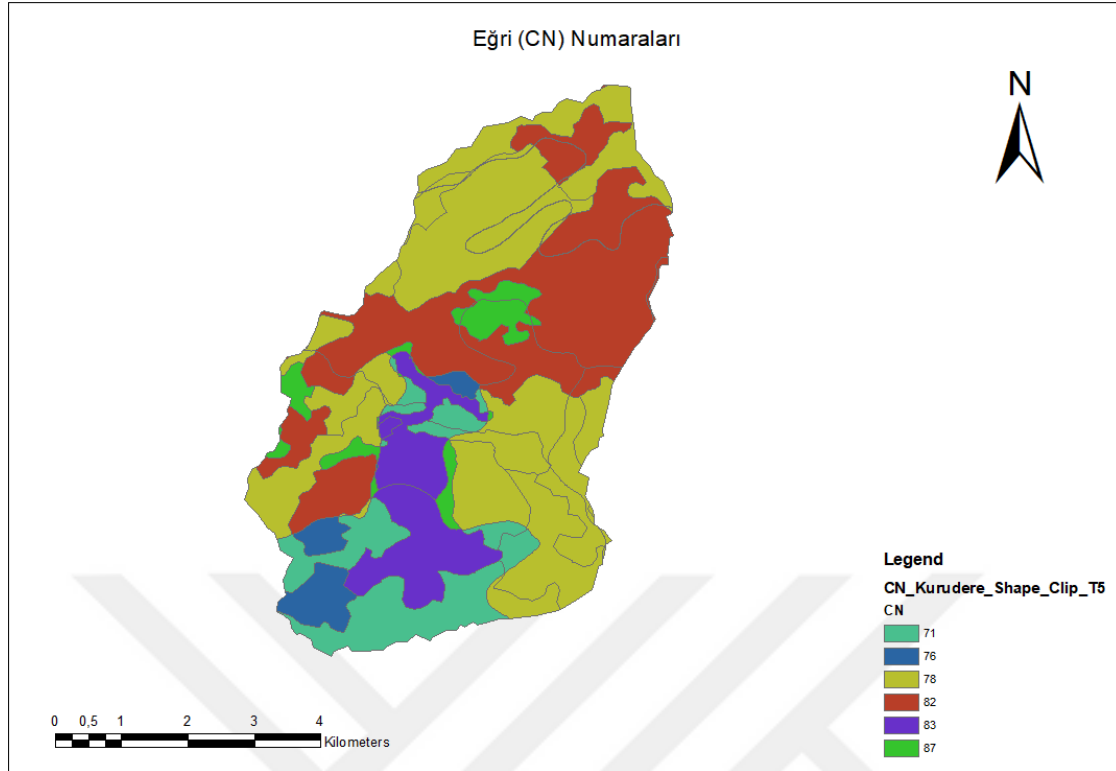
Harita 3.39. Pİ-1 CN Dağılımı



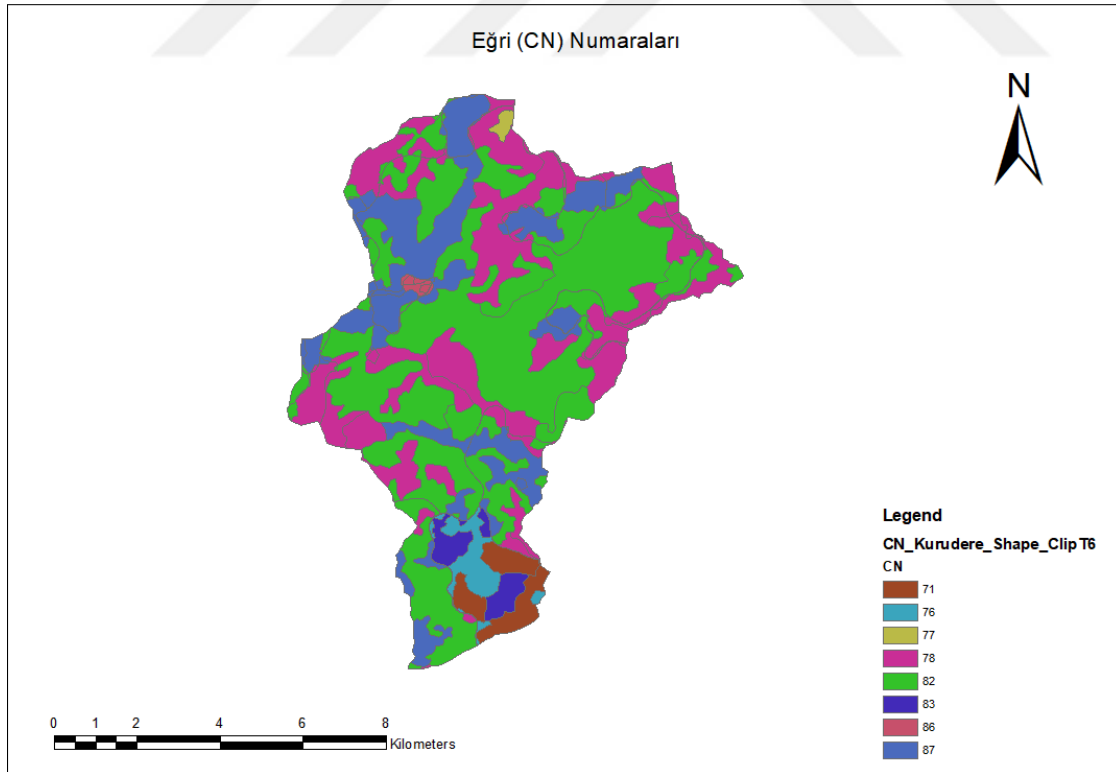
Harita 3.40. Pİ-2 CN Dağılımı



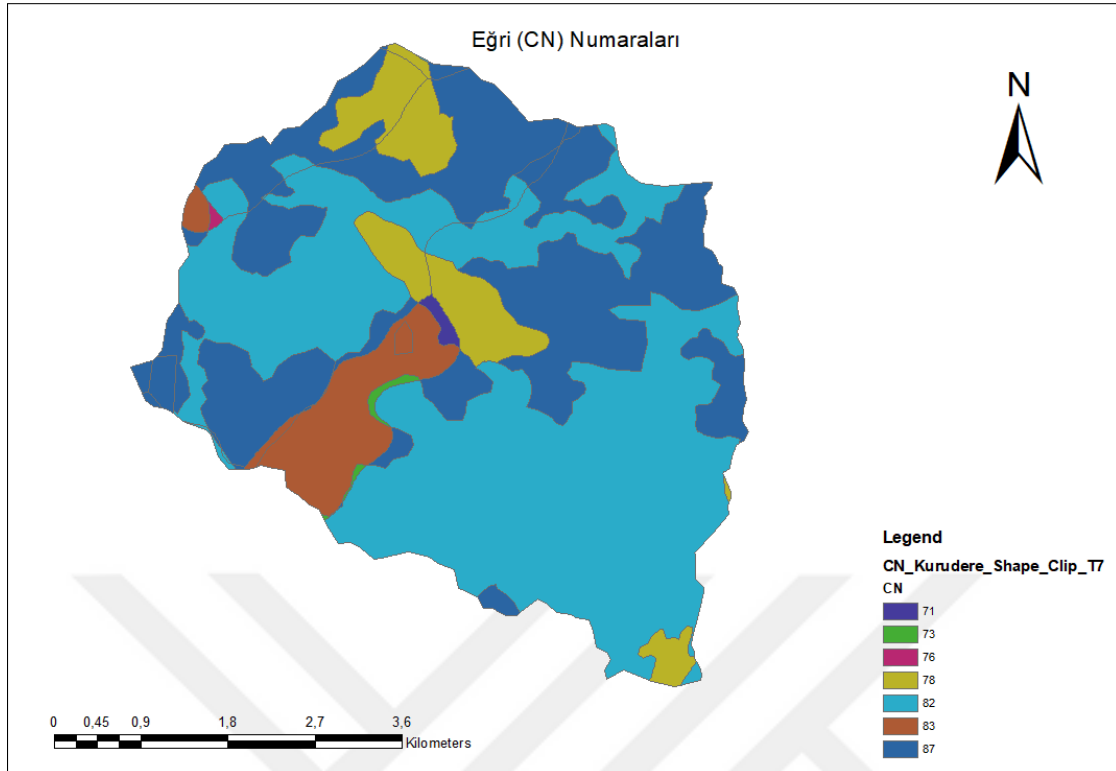
Harita 3.41. Pİ-3 CN Dağılımı



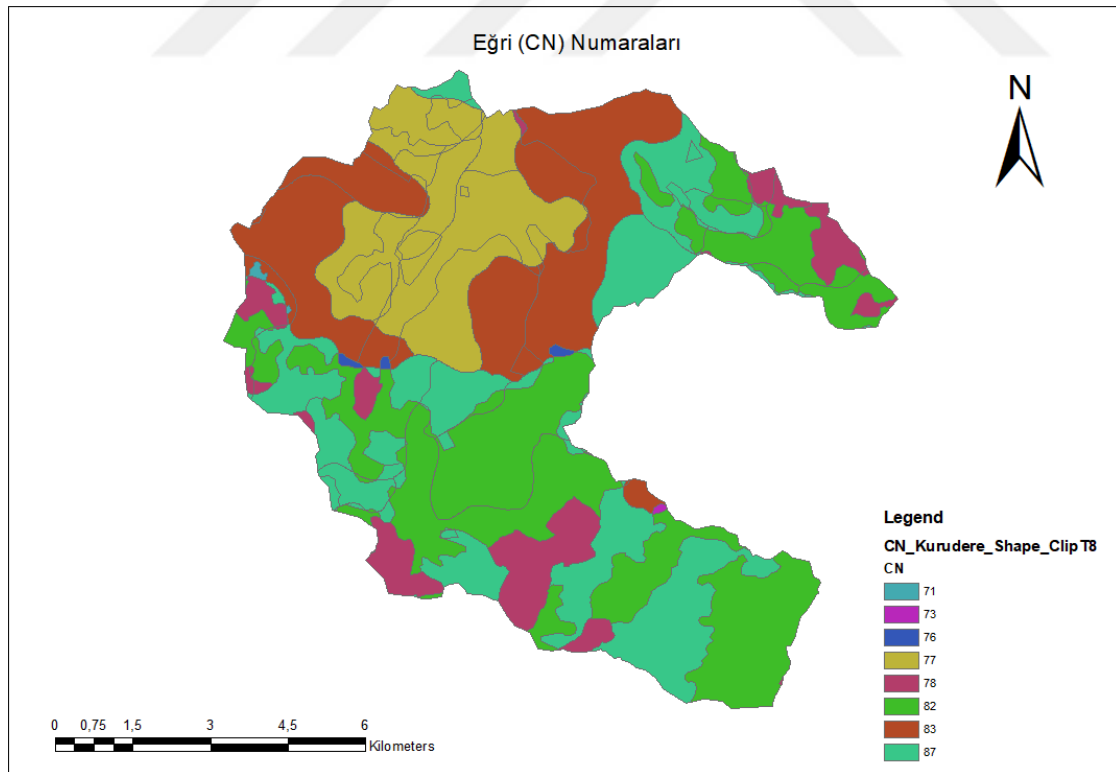
Harita 3.42. Pİ-4 CN Dağılımı



Harita 3.43. Pİ-5 CN Dağılımı



Harita 3.44. Pİ-6 CN Dağılımı



Harita 3.45. Pİ-7 CN Dağılımı

Bu bölümde geliştirilen yöntemin girdilerini oluşturan SYM, BTG ve arazi kullanım haritalarının elde edilmesi ve havza üzerindeki dağılımları sunulmuştur. Çalışma alanı üzerinde yapılan CBS analizleri ve elde edilen haritaları ile birlikte bir sonraki bölümde detaylıca anlatılmış olan geliştirilen yöntemin uygulanışı için temel gereksinimler elde edilmiştir. Sürecin ilerlemesinde önemli rol oynayan öznitelik tablosunun elde edilebilmesi açısından bu bölümdeki çalışmaların gerekliliği oldukça önemlidir.



4. YÖNTEM

4.1. Giriş

Bu bölümde çalışma içerisinde kullanılan yöntem ve parametreler detayları ile anlatılmıştır. Kullanılan parametreler, çalışma alanı, yöntem gereksinimleri ve ilgili hesaplamalar aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

4.2. Yöntem Akış Şeması

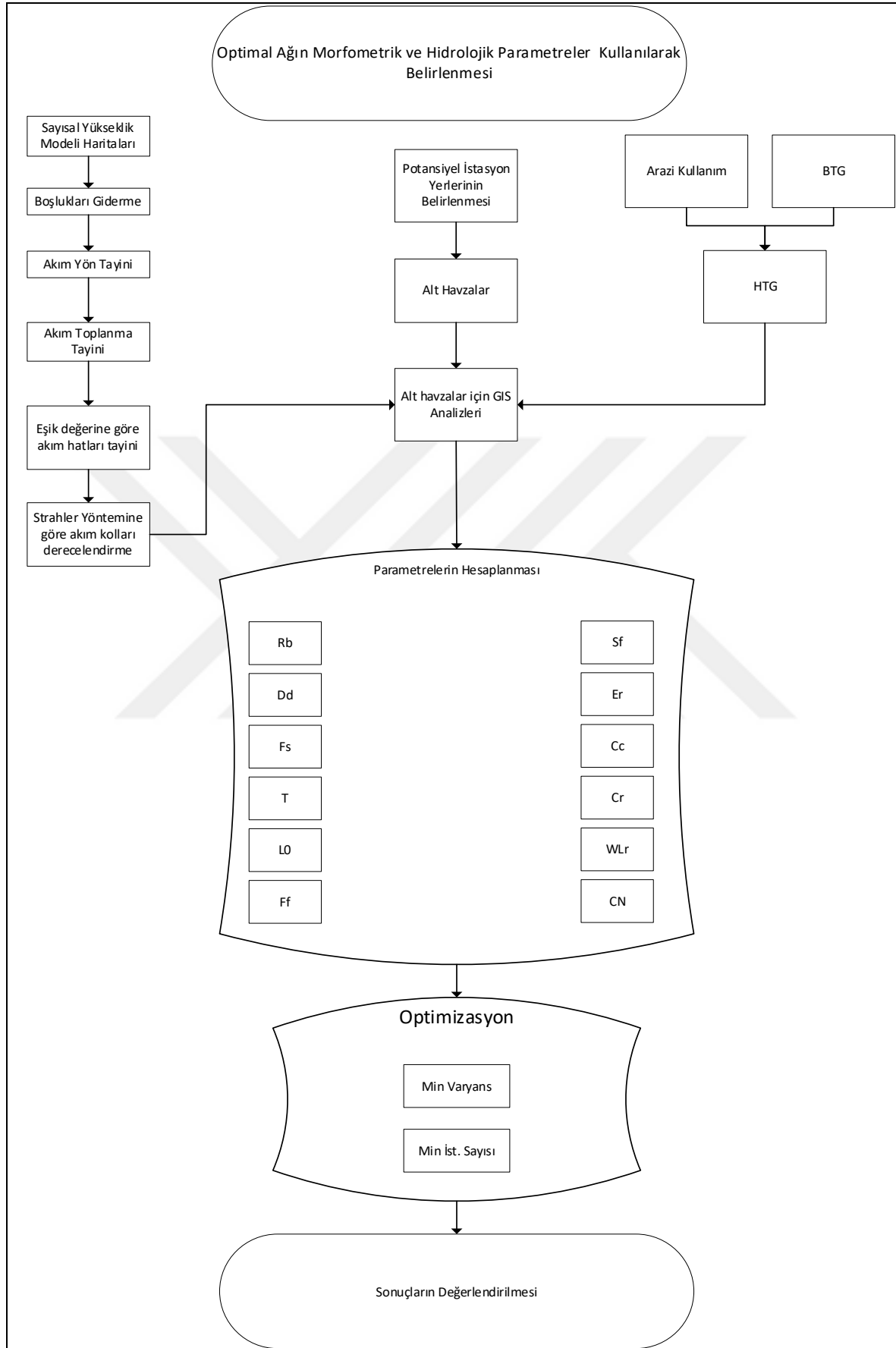
Literatürdeki birçok optimizasyon çalışmasında da görüldüğü gibi özellikle optimize edilecek alanlarda bulunan istasyonların genel bilgi kazanım ve bilgi edinim değerleri değerlendirilerek, mevcut istasyonların zaman serilerinden yola çıkarak optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir. Bu bağlamda çalışmalar özellikle istasyonların sağladığı zaman serilerinin değerlendirilmesi ve bu değerlendirmeler yapılırken farklı yöntemler, farklı metotlar kullanılması, farklı optimizasyon algoritma ve yöntemlerinin kullanılması ile daha iyi bilgi kazanımı elde edilecek şekilde yönlendirilmiştir. Bununla birlikte özellikle havza parametrelerinin de değerlendirildiği optimizasyon çalışmaları diğer çalışmalara göre biraz daha kısıtlıdır. Mevcut istasyon durum ve veri setlerinin değerlendirilmesi istasyonların mevcudiyetlerini korumalarına ve bu istasyonlardan elde edilecek verilerin sağlıklı olmasına ve diğer akım parametreleri ile tutarlı olmasına bağlıdır. Modelleme çalışmaları veya ilgili istasyonu veri setlerinin değerlendirilmesi de yine bu istasyonlardan elde edilecek verilerin sağlıklı olmasına bağlıdır. Birçok alan ve birçok bölgede mevcut istasyon sayılarının yetersiz olması bu istasyonların verilerinin düzenli aralıklarla veya kontrollü şekillerle alınmaması, istasyonların bakımlarının sağlıklı şekilde yapılmaması ve benzeri birçok durumdan ötürü istasyonlardan elde edilecek bilgilerin hem değerleri hem sayıları yetersiz olabilmektedir. Bu nedenle istasyon kurulumu, planlama ve tasarım aşamasında, ideal bir istasyon dağılımı sağlanabilmesi açısından ve aynı zamanda bir ön hazırlık yöntemi olarak da kullanılabilecek yöntemler de araştırılmıştır.

Bu çalışmada potansiyel istasyon yerlerinin yağış havzalarıyla ilişkilendirilerek değerlendirilmesi ve en uygun konumda yerleştirilmesi için morfometrik parametrelerle beraber toprak grupları ve diğer bazı parametrelerin de kullanıldığı bir algoritma önerilmiştir. Önerilen bu algoritmada havzaların birbirlerinden farklılıkları değerlendirilerek

en farklı içeriğe sahip olan havzanın sistemden en farklı dağılımları ve sonuçları elde edeceği yaklaşımıyla değerlendirmeler yapılmıştır. Havzaların uygun görülen potansiyel istasyon yerlerine göre alt havzalarına ayrılmasıyla başlayan süreçte ilgili parametreler hesaplanmış ve tüm havzalar birlikte değerlendirilmek üzere öz nitelik tabloları oluşturulmuştur. Yaklaşım daha önceden kullanılan Havza Farklılık İndeksi yaklaşımının kullandığı parametrelere göre daha fazla parametre içermesi ve optimizasyon başlığı altında bulunan çalışmalarda morfometrik indekslerinde kullanılması ile özgünlüğünü kazanmıştır.

Morfometrik parametreler yıllardır birçok çalışmacı tarafından kullanılmış ve hidroloji çalışmalarında kendine büyük ve kapsamlı bir yer edinmiştir. Özellikle taşkın planlama, ani taşkın değerlendirme ve taşkın duyarlılık haritalarında, yani taşkın alanında sıklıkla kullanılan morfometrik parametreler havzaların şekil özelliklerine göre niceliksel sonuçlar sunmaktadır. Bu sonuçlar ile araştırmacılar ve tasarımcılara yön gösteren birçok yöntem ve modeller geliştirilmiştir. Bu kapsamda bu parametreler optimizasyon çalışmalarına da kullanılarak belirlenen havzayı tam olarak kapsayabilecek istasyon dağılımı ve yüksek seviyede bilgi kazanımı dolaylı olarak amaçlayan bir hedefle istasyonların yerlerinin tasarlanmasında da kullanılabilir. Özellikle taşkın durumlarında değerlendirilen matematiksel parametrelerin bir kısmı doğrudan taşkın değerleriyle pozitif ilişkileri, bir kısmı ise negatif yönde ilişkilidir. Bu çalışmada ise morfometrik parametreler havzanın özgünlüğünü tanımlamak için kullanılan parametrelerdendir. Her bir havzanın ve havzanın çıkışı noktasında bulunan istasyonların elde edeceği verileri doğrudan etkileyeceğinden bu parametreler belirlenen havzalar için özgün niteliktedir. Şekil 4.1’de geliştirilen yöntemin akış şeması verilmiştir.

Özellikle istasyonların tasarlanması ve faaliyete geçirilmesinden sonra birçok araştırmacı bu istasyonlardan elde edilen verileri değerlendirmiş ve mevcut durumda bulunan istasyonların değerlendirmelerini yaparak gerekliliklerini sorgulamıştır. Bu durum gözlem istasyonlarının planlama aşamasında da gereksiz istasyonların oluşturulmaması, kurulacak istasyonlardan en fazla bilgi elde edilmesinin önemini artırmıştır. Gözlem istasyonlarının mevcut bir veri seti ve akım gözlem değerleri olmadan da istasyonların davranışlarının arazi şekil ve şartlarına göre değerlendirilerek yöntemlerin de araştırılması su yönetimi karar vericileri açısından önem arz etmektedir.



Şekil 4.1. Akış Diyagramı

Sayısal yükseklik modeli üzerinden yapılan çalışmalarda elde edilen alt havzalar potansiyel istasyon yerlerine göre belirlenmiş ve bu alt havzaların davranışları birbirlerine göre değerlendirilecek bir yöntem sunulmuştur. Hesaplamalar yapılırken her bir alt havzanın temsil ettiği alan Hidrolojik Toprak Grupları ve morfometrik parametrelerin akım üzerindeki etkileri üzerine kurgulanmıştır.

Birçok optimizasyon çalışmasında mevcut akım verileri ve bu verilerin sağladığı faydalar üzerinden kazanımlar kontrol edilmiştir. Mevcut durum değerlendirilerek tekrara düşen veya yeni bilgi kazanımı sağlamayan istasyonların sistemsel olarak çok gerekli olmadığı ve bu istasyonların gözden çıkarılabilir olduğu yorumunda bulunulmuştur. Genellikle mevcut istasyonlar değerlendirilirken uzun veri setleri ve ilgili akış parametrelerine dayalı analizler ve çalışmalar yapılmakla beraber farklı yaklaşımlar da denenmiştir. Havzaların farklılıklarına dayanarak bir indeks oluşturan çalışmaların da varlığı söz konusudur. Mevcut istasyonların veri setlerinin değerlendirilmesi, gereksiz görülenlerin kapatılmasının önerilmesinin yanı sıra sisteme mevcut istasyon eklemeyi planlayan yöntemler de araştırmalara konu olmuştur. Bu süreç içerisinde özellikle istasyon veri setlerinin istatistiksel olarak incelenmesi ve irdelenmesi ile karar aşamasının netleşmesi sağlanmış, kullanılan yöntemlerin özgünlüğü bu alanlarda kullanılan istatistiksel yöntemlere göre çeşitlilik göstermiştir.

Geliştirilen yöntem, farklılık endeksi üzerinden havzaların akım verilerine etki eden birtakım parametrelerin değerlendirilmesi ve düzensizliği en fazla sağlayanların sistem içerisinde sıralanması üzerine tasarlanmıştır. Morfometrik parametreler ve beraberinde değerlendirilen diğer parametrelerin çalışma alanı üzerindeki farklılıkların sonuçlara doğrudan etki etmesi beklendiğinden en fazla farkı sağlayan bölümlemenin sistem için en ideal bilgiyi sağlayacağı düşünülmektedir.

4.3. Morfometrik Parametreler

Morfometrik parametreler birçok hidroloji çalışmasında kullanılan ve havzalar üzerinde çeşitli incelemelerde sıklıkla kullanılan parametrelerdendir. Örneğin Bashir ve Alsalman (2024), Koçyiğit, Akay ve Babaiban (2021) ve Masoud, Niyazi, Elfeki ve Zaidi (2014) morfometrik parametreleri ani taşkın analiz çalışmalarında kullanmışlardır. Bu çalışmada seçilen parametreler Çizelge 4.1' de özetlenmiştir. İlgili parametreler alt başlıklar halinde detaylıca tanımlanmış ve anlatılmıştır.

Çizelge 4.1. Morfometrik Parametreler

Parametre	Formül	Açıklamalar ve Tanımlar	Kaynak
Dallanma Oranı (R_b)	N_u/N_{u+1}	Herhangi bir mertebedeki akarsu sayısının o merteye sonrasındaki akarsu sayısına oranıdır	(Strahler, 1957)
Akarsu Sıklığı (F_s)	$\sum N_u/A$	Birim drenaj alanındaki toplam akarsu sayısıdır	(Horton, 1932)
Drenaj Yoğunluğu (D_d)	$\sum L_u/A$	Birim drenaj alanındaki toplam akarsu uzunluğudur	(Horton, 1932)
Tekstür Oranı (T)	N_1/P	Birim çevre uzunluğundaki birinci merteye akarsu uzunluğudur	(Schumm, 1956)
Yüzey Akış Uzunluğu (L_0)	$A/2L_u$	Drenaj yoğunluğunun tersinin yarısıdır.	(Horton, 1945)
Şekil Faktörü (S_f)	L^2/A	Havza uzunluğunun karesinin havza drenaj alanına oranıdır	(Horton, 1945)
Dairesellik Oranı (C_r)	$12.566A/P^2$	Havzanın alanının havzanın çevresi ile aynı çevreye sahip dairenin alanına oranıdır	(Patel ve diğerleri, 2013)
Sıklık Katsayısı (C_c)	$0.282P/A^{0.5}$	Havzanın çevresinin havzanın drenaj alanı ile aynı alana sahip dairenin çevresine oranıdır.	(Patel ve diğerleri, 2013)
Genişlik Uzunluk Oranı	(W/L)	Havzanın genişliğinin havzanın uzunluğuna oranıdır.	(Al-Saif, 2010)
Biçim Faktörü (F_f)	A/L^2	Havzanın drenaj alanının havza uzunluğunun karesine oranıdır.	(Horton, 1945)

Dallanma oranı (R_b)

Dallanma oranı herhangi bir mertebedeki akarsu sayısının bir merteye büyük olan akarsu sayısına oranı olarak ifade edilmektedir. Çalışmada alt havzalara ayrılan ve akım kolları belirlenen her bir havza için Strahler (1957)'e göre akarsu mertebeleri hesaplanmış ve devamında dallanma oranı hesaplamalarında kullanılmıştır. Hesaplama yapılırken her bir alt havzanın ilişkili dizinlerinin oranları hesaplandıktan sonra değerlerin ortalaması alınarak dallanma oranı belirlenmiştir. Her bir alt havza için akarsu kolu numaraları ve dallanma oranı değerleri hesaplanmış ve öznitelik tablosuna işlenmiştir. Bu çalışmada dallanma oranı 1,8 ile 7,2 arasında değişmektedir.

Dallanma oranı (bazı kaynaklarda çatallanma oranı olarak da ifade edilmektedir) havzadan havzaya değişiklik göstermektedir (Çıtak ve Kılıç, 2023). Bu değer bulduğu havza üzerindeki değerleri havzanın erozyon, taşkın riski ve akım parametrelerine etkisinin yorumlanmasına fırsat vermektedir. Örneğin, düşük dallanma oranına sahip olan havzalarda akım hidrografları daha keskin ve yüksek özellik göstermekteyken, yüksek dallanma oranına

sahip havzalarda ise daha düşük ve devamlı bir akım hidrografi elde edilmektedir (Strahler, 1964). Benzer şekilde dallanma oranının yüksek veya düşük olması durumuna göre havzalarda akım karakterlerinin yorumlandığı çalışmalar da mevcuttur. Literatürde ideal dallanma oranı veya dallanma aralığı ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Örneğin Horton (1945)'a göre ideal çatallanma oranı 3'tür. Diğer bazı araştırmalara göre çatallanma oranı 3 ile 5 arasında yer alan havzaların yapısının daha homojen olduğu kabul edilmiştir. Bu yaklaşımların ve çalışmaların da gösterdiği gibi havza akım değerlerine havzanın dallanma oranı da etki edebilmektedir. Havzaların birlikte kıyaslanmaları dikkate alınacak olursa dallanma oranı kıyaslama için bir parametre olarak kullanılabilecektir.

Akarsu sıklığı (F_s)

Birim drenaj alanındaki toplam akarsu sayısı olarak nitelendirilir. Benzer şekilde toplam akarsu sayısının alana bölümü olarak da ifade edilebilir. Akarsu sıklığının değeri bitki örtüsü, zeminin litolojik yapısı, iklim, jeomorfolojik özellikler ve insan faktörü gibi etmenlerden etkilenmektedir (Çıtak ve Kılıç, 2023). Havzanın drenaj dokusu hakkında bilgi vermektedir ve akarsu sıklığının drenaj yoğunluğu ile çoğu zaman doğru orantı bulunduğu bilinmektedir (Utlı ve Özdemir, 2018). F_s değerinin değişimlerine göre havzanın yüzey geçirimsizliği veya eğimiyle ilgili yorumlamalar yapılabilmektedir. Örneğin Şahin (2022) çalışmasında akarsu sıklığı değerinin yüksek olmasının yüzeydeki geçirimsizliğin az olduğunu, havza eğiminin fazla olduğunu ve bunlardan dolayı suyun hızlı akışa geçip taşkın potansiyelini artırdığını; akarsu sıklığı değerinin düşük olması durumunun da yüzeydeki geçirimsizliğin fazla olduğu, havza eğiminin az olduğu ve bunlardan dolayı suyun akışa yavaş geçip taşkın potansiyel riskini düşürdüğünü ifade etmiştir.

Akarsu sıklığı havzanın geçirimsizliği, sızma kapasitesi ve rölyef özellikleri hakkında bilgi verir. Geçirgen olmayan zemin özellikleri, seyrek bitki örtüsü ve yüksek rölyef özelliklerine sahip bir havzada görülen yüksek F_s değerleri zayıf yeraltı suyu potansiyeline ve yüksek yüzeysel akışa işaret eder. Tam aksine geçirgen zemin özellikleri, sık bitki örtüsü ve homojen rölyef özellikleri görülen düşük F_s değerleri ise yüksek yeraltı suyu potansiyeline ve düşük yüzeysel akışa işaret eder (Hancı, 2023).

Drenaj yoğunluğu (D_d)

Drenaj yoğunluğu havzadaki toplam akarsu uzunluğunun havza alanına bölünmesi ile bulunmaktadır (Horton, 1932). Benzer şekilde birim drenaj alanındaki toplam akarsu

uzunluğu olarak da ifade edilebilir. Drenaj yoğunluğu da diğer morfometrik parametreler gibi havza ile ilgili birçok parametrenin yorumlanmasına izin verir. Bunlardan bazıları bitki örtüsü, jeolojisi, yarıлма derecesi ve iklim özellikleridir (Çıtak ve Kılıç, 2023). Aynı zamanda havzadaki drenaj gelişimini ifade etmeye yardımcı olacak bir parametredir (Hancı, 2023). D_d değerinin yüksek veya alçak olması durumunda havzada yüzeysel akışın etkisi ile parçalanma, aşındırma veya yüzeysel akış sularının infiltrasyon ile yer altına sızması nedeniyle yer altı akımları oluşmaktadır (Patton, 1988). Özetle düşük D_d değeri genellikle dayanıklı kayaların olduğu sahalarda akarsu aralıklarının daha geniş olduğu ve yüksek infiltrasyonun olduğu sahalarda ortaya çıkarken, yüksek D_d değeri infiltrasyonun azaldığı ve yüzeysel akışın artması ile akarsu aralıklarının daralıp azaldığı sahalarda ortaya çıkmaktadır (Çıtak ve Kılıç, 2023). Kısaca havzanın drenaj yoğunluğu bitki örtüsü, jeolojisi, yarıлма derecesi, hidrolojik özellikleri ve iklim özelliklerine göre değişmektedir. Drenaj yoğunluğu değerini literatürden de ulaşılabacağı üzere 4 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar;

- 0- 2 arası düşük
- 2– 2,5 arası orta
- 2,5 – 3 arası yüksek
- 3 ve üzeri çok yüksek olarak ifade edilmektedir (M. I. Malik, Bhat ve Kuchay, 2011).

Çalışma alanında yapılan hesaplamalarda drenaj yoğunluğun genellikle 0 ile 2,5 arasında değiştiği görülmüştür. Bu değer ise drenaj alanı değerinin düşük ve orta sınıfta bulunduğunu göstermektedir.

Tekstür oranı (T)

Birim çevre uzunluğundaki birinci mertebe akarsu uzunluğudur (Schumm, 1956). Birinci mertebe akarsu sayısının havza çevresine oranı olarak da tanımlanabilmektedir. Tekstür oranı dairesel havzalarda daha yüksek değer alırken uzunlamasına havzalarda daha düşük değer alır ve T değerinin yüksek olması ana akarsu koluna su gönderen birinci dizedeki kolların fazla olduğunu ifade ederken, T değerinin düşük olması bu kolların daha az olduğunu ifade etmektedir (Özdemir, 2011). Aynı miktarda yağışın düştüğü iki havzadan, tekstür oranının fazla olduğu havzada suyun 1. düzeyden toplanması ve ana kola katılımı daha hızlı olacaktır (Utlu ve Özdemir, 2018). T değeri, jeoloji, ana kayanın sızma kapasitesi, relief yönü gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. T değeri büyük olan havzalarda meydana gelecek akış değeri de büyük olmaktadır (Akay, 2018).

Yüzey akış uzunluğu (L_0)

Drenaj alanının toplam akarsu uzunluğuna oranının yarısıdır. Drenaj yoğunluğunun tersinin yarısı olarak da tanımlanabilir. Belirli akarsu kanallarına yoğunlaşmadan önce yer üzerindeki suyun uzunluğudur ve drenaj havzasının hem hidrolojik hem de fizyografik gelişimini etkiler. Drenaj ağının gelişiminde en baskın hidrolojik ve morfometrik faktör olarak düşünülebilir (Asode, Sreenivasa ve Lakkundi, 2016). Küçük L_0 değerleri havzada dik eğim ve kısa akım yolları, büyük değerleri ise yumuşak eğim ve uzun akım yolları olduğunu ifade etmektedir (Babaiban, 2020). Çalışma alanı için hesaplanan L_0 değerleri 0,2-0,5 arasında değişkenlik göstermektedir.

Şekil faktörü (S_f)

Havza uzunluğunun karesinin havza drenaj alanına oranıdır. Bu faktör, yüzey akış üretme hızı, drenaj uzunluğu ve zemin pürüzlülüğü hakkında fikir vermektedir (Horton, 1945). Havzanın şekil özellikleri ile ilgilenen diğer morfometrik parametreler gibi şekil faktörü de havzanın geometrik özelliklerini tanımlar. Biçim faktörü ile ters orantılıdır. Biçim faktörü ve dairesellik oran değerleri gibi havzanın şekli ve dolayısıyla havzanın taşkın potansiyeli hakkında fikir vermektedir (Şahin, 2022).

Diğer havza şekil parametreleri gibi şekil faktörü de birçok çalışmada farklı amaçlarda kullanılmıştır. Şahin (2022) ve Babaiban (2020) morfometrik parametrelerin taşkın üzerindeki etkileriyle ilgili çalışmalarında şekil faktöründen yararlanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan bölge için şekil faktörü aralığı 0,8-6,7 arasında değişmektedir. Şekil faktörü dağılımı incelendiğinde özellikle bir havzanın değerinin diğerlerine göre oldukça fazla olduğu ve daha fazla farklılık içerdiği görülmektedir.

Dairesellik oranı (C_r)

Havzanın alanının havzanın çevresi ile aynı çevreye sahip dairenin alanına oranıdır (Patel ve diğerleri, 2013). Akarsu uzunluğu, jeolojik yapı, zemin ile ilgili pürüzlülükler ve havzanın eğimi gibi özellikler dairesellik oranından etkilenmektedir. C_r değeri 1.0 ise, havza tam bir daire şeklinde olmakta ve deşarj miktarı yüksek olmaktadır (Miller, 1953). C_r değeri genellikle 0.2 – 0.8 arasında değişmektedir (A. Malik ve diğerleri, 2019). Büyük C_r değeri (>0.5) orta – yüksek pürüzlülük, yüksek sızma kapasitesine sahip olan dairesel havzayı; küçük dairesellik oranı (< 0,5) durumu ise daha uzun havza ve daha yavaş akımı temsil

etmektedir. Böylece erozyon ihtimali de daha küçük olmaktadır (Babaiban, 2020). Miller (1953) 'e göre ise $C_r = 0,4 - 0,5$ olan havzalar önemli derecede uzun havzalardır.

Babaiban (2020) çalışmasında bu parametrenin akarsu debisiyle korelasyonu olduğunu ve bu nedenle taşkın analizlerinde kullanılmak üzere kullanışlı morfometrik parametrelerden biri olduğunu vurgulamıştır. Hancı (2023) ise çalışmasında dairesellik oranı değerlerinin, akarsuların uzunluğu ve sıklığı, jeolojik birimler, arazi kullanımı/arazi örtüsü, iklim, topoğrafya ve havzanın eğimi gibi birçok faktöre bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Çalışmada 0,20-0,61 aralığında değişen bir dairesellik oranı tespit edilmiştir. Bu kapsamda bakılırsa hem büyük hem de küçük dairesellik oranına sahip havza çeşitliliğin mevcut olduğu söylenebilmektedir. Bu parametre de çalışmada havza özelliklerini tanımlama ve farklılık için öznitelik tablosunda kendisine yer bulmuştur.

Sıklık katsayısı (C_c)

Havzanın çevresinin havzanın drenaj alanı ile aynı alana sahip dairenin çevresine oranıdır (Patel ve diğerleri, 2013). Diğer adı Gravelius indeksi olan parametre havzanın sızma kapasitesini, dolayısıyla akarsuyun akış hızını etkileyen morfometrik parametrelerden bir tanesidir (Şahin, 2022). Küçük C_c değerlerine sahip havzalarda yüzey geçirimsizliği düşük olmaktadır. Böylece havzada yüksek erozyon meydana gelebilmektedir. C_c sıklık katsayısı havzanın sızma kapasitesiyle doğrudan ilgili olan bir parametredir. $C_c=1$ olması durumunda havzanın mükemmel dairesel bir şekle sahip olduğu anlaşılmaktadır. C_c değeri 1'i geçerse havza şekli daha çok kare olarak ifade edilmekte, $C_c > 3.0$ durumunda ise havza uzun olarak kabul edilmektedir (Babaiban, 2020). Çalışmada sıklık katsayısı değerinin 1,25-2,21 aralığında olduğu görülmüştür. Bu kapsamda bakıldığında çalışma alanı havzaları için uzun havza statüsü bulunmamakta, dairesel havza türüne daha yakın bir dağılım görülmektedir.

Genişlik uzunluk oranı (W/L)

Havzanın genişliğinin havzanın uzunluğuna oranıdır (Al-Saif, 2010). Bu değer havzanın genişliği ile ilgili bilgi verebilmektedir. Değer küçüldükçe havzanın uzunluk oranı artmaktadır. Çalışmada 0,15-1,15 arasında değer değişmektedir. Bu parametre de sıklık katsayısı, dairesellik oranı ve şekil faktörü gibi çalışılan havzanın şekliyle ilgili bilgi içermektedir.

Biçim faktörü (F_f)

Havzanın drenaj alanının havza uzunluğunun karesine oranıdır (Horton, 1945). Eğer oran sıfıra yakınsa havza şeklinin uzunlamasına olduğu, oran bire yakınsa havza şeklinin dairesel olduğu söylenebilir. Bu parametre şekil faktörü ile ters orantılıdır. Büyük F_f değerleri pik debinin daha çabuk olduğu dairesel havzaları, küçük F_f değerleri ise pik debinin daha geç olduğu daha uzun havzaları ifade etmektedir (Babaiban, 2020). Şahin (2022) biçim faktör değeri düşük olan havzalarda uzun süreli ana akımın gerçekleşeceğini ve havza şeklinin ince uzun bir yapıya sahip olduğunun anlaşılabileceğini ifade etmiştir.

4.4. Hidrolojik Toprak Grupları ve Yüzey Eğri Numaraları

Çalışmada morfometrik parametrelerin yanında hidrolojik modelleme ve taşkın planlama, su yapılarının planlanması vb. gibi amaçlarla kullanılan hidrolojik toprak grupları ve yüzey akış eğri numaraları da sınıflandırılarak analize dahil edilmiştir. Yüzey eğri akış numarası akış bilgisinin veya akım değerlerinin kaydedilmediği havzalarda dolaylı olarak elde edilmesinde kullanılmaktadır (Öztürk ve Batuk, 2011). Geliştirilen yöntemde arazi kullanımı parametresi olarak katılan HTG (Hidrolojik Toprak Grupları) ve bu sınıflandırmaya dayalı olarak belirlenebilecek CN (Yüzey akış eğri numarası, Curve Number) değerleri hesaplanarak kullanılmıştır.

CN havzanın eğri numarasıdır ve 0-100 arasında değerler almaktadır. Bu değer havzanın toprak sınıflandırması ve yüzey örtüsünün bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir (Usul, 2008). Bu değer havzanın sızma parametrelerinin tespitinde ve SCS yönteminde toplanma süresini belirlemek için kullanılmaktadır. Toprak gruplarının açıklaması Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Toprak Gruplarının Tarifi (Engineering, 1951)

Grup A	<i>En düşük akım potansiyeli:</i> Derin kum, derin lős, topaklanmış silt
Grup B	<i>Oldukça düşük akım potansiyeli:</i> Sığ lős, kumlu lem
Grup C	<i>Oldukça yüksek akım potansiyeli:</i> killi lem, sığ kumlu lem, organik maddesi az toprak ve genelde killi bol toprak
Grup D	<i>En fazla akım potansiyeli:</i> Islanınca önemli ölçüde şişen topraklar, ağır plastik kil ve bazı tuzlu topraklar

Çizelge 4.3. Büyük Toprak Grupları ve Toprak Özelliklerinin Kombinasyonuna Göre Hidrolojik Toprak Grupları (Özer, 1990)

HTG	BTG	Arazi Tipi	Toprak Özelliklerinin Kombinasyonu
A Minimum sızma derecesi: 7,5-10 mm/saat	L		1-11, 13-15, 17-19, 21, 22
	A		3, 6, 9, 10
	E,T		1-16
	O		m, p, r ya da bunlarla birlikte h, s, a, k, v sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
		KK, SK, IY	
B Minimum sızma derecesi: 3-7,5 mm/saat	P, G		1, 2, 5, 6, 9, 10
	C, D, M, N		1-10
	E, T		17-24
	B, F, R, Y		1-8
	U		1, 2, 3
	L		12, 16, 20, 24
	X		1-4
	K		4-6, 13-15, 22-24
	A		3, 6, 9, 10 ile h, s, a, k, v sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
C Minimum sızma derecesi: 0,8-3 mm/saat	P, G		3, 4, 7, 8, 11-22
	C, D, M, N		11-18
	B, F		9-23
	U		4-21
	R		4-21
	L, E, T		25
	Y		9-25
	X		5,20
	K		1-3, 10-12, 19-32
	Ç		3, 6, 9
	A		2, 5, 8 ile h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası ile
D Minimum sızma derecesi: 0-0,8 mm/saat	P, G		23, 24, 25
	C, D, M, N		19-25
	B, F		24, 25
	R, U		22-25
	V		1-25
	Z		1-4
	A		1, 4, 7 ya da h, s, a, k, v, y sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
	H		H veya h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası
	S		S veya h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası ile
	X		21-25
	Ç		1, 2, 4, 5, 7, 8
		SB, ÇK	

Çizelge 4.3 yardımıyla BTG grupları ve toprak kombinasyon özelliklerine göre çalışma alanının HTG belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma yapılırken Tarım ve Orman Bakanlığı'nın ilgili birimlerinden temin edilen BTG harita verisi kullanılmıştır. Çizelge 4.4'te BTG gruplarının sembolü ve açıklamaları verilmiştir.

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere HTG grubu A'dan D'ye kadar sızma derecesinin azaldığı görülmektedir. Buradan HTG grubu D olan konumların sızma miktarlarının az olduğu, grubun A olduğu alanların ise sızma miktarlarının fazla olduğu görülebilmektedir. Çalışma alanı HGT haritaları incelendiğinde alan içerisinde A grubuna ait bir HTG bulunmadığı gözlemlenmiştir. Buradan alan içerisinde yüksek miktarda sızma derecesine sahip bölgeler bulunmadığı, HTG'nin B, C ve D grupları arasında dağıldığı görülebilmektedir.

Çizelge 4.4. Büyük Toprak Grupları ve Sembolleri (Özer, 1990)

BÜYÜK TOPRAK GRUBU	SEMBOLÜ
Alüvyal Topraklar	A
Hidromorfik Alüvyal Topraklar	H
Kolüvyal Topraklar	K
Tuzlu-Sodik (Çorak) Topraklar	Ç
Organik (Islak-Turba) Topraklar	O
Kırmızı-Sarı Podzolik Topraklar	P
Gri-Kahverengi Podzolik Topraklar	C
Kahverengi Orman Toprakları	M
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	N
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	U
Kestanerengi Topraklar	C
Kırmızı Kestanerengi Topraklar	D
Kırmızı Akdeniz Toprakları	T
Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları	E
Rendizina Toprakları	R
Kahverengi Toprakları	B
Kırmızı Kahverengi Topraklar	F
Sierozam Topraklar	Z
Vertisol Topraklar	V
Yüksek Dağ Çayır Toprakları	Y
Regosol Topraklar	L
Bazaltik Topraklar	X

Corine veri tabanından elde edilen arazi kullanım haritaları ve sınıflandırmalarıyla yukarıda ifade edilen HTG sınıflandırmalarının kullanılması ile hidrolojik toprak gruplarına göre eğri numaraları Çizelge 4.5'te de ifade edilen şartlarla tespit edilmiştir. Sınıflandırmalar çizelgede belirtilen şekilde yapılarak belirlenen aralıklarla iterasyon işlemi gerçekleştirilmiş

ve ara değerler de sürece dahil edilmiştir. Böylece en düşük 30, en yüksek 100 değerleri olacak şekilde CN değerleri her bir havza için tespit edilmiş ve sisteme dahil edilmiştir.

Çizelge 4.5. Hidrolojik Toprak Gruplarına Göre Eğri Numaraları (Halley, White ve Watkins, 2000)

<u>Arazi</u> <u>Kullanımı/Örtüsü</u>	<u>Ortalama</u> <u>Geçirimsiz Alan</u> <u>(%)</u>	<u>Hidrolojik Toprak Gruplarına</u> <u>Göre Eğri Numarası</u>			
		A	B	C	D
<u>Yerleşim</u> (Yüksek Yoğunluklu)	65	77	85	90	92
<u>Yerleşim</u> (Orta Yoğunluklu)	30	57	72	81	86
<u>Yerleşim</u> (Düşük Yoğunluklu)	15	48	66	78	83
<u>Ticari Alanlar</u>	85	89	92	94	95
<u>Endüstriyel Alanlar</u>	72	81	88	91	93
<u>Çakıl, Taş Ocağı vb.</u>	5	76	85	89	91
<u>Tarım Alanları</u>	5	67	77	83	87
<u>Açık Alanlar</u> (Park, çim, saha vb.)	5	39	61	74	80
<u>Çayır, Otlak</u>	5	30	58	71	78
<u>Sık Orman, koru</u>	5	30	55	70	77
<u>Seyrek Orman, koru</u>	5	43	65	76	82
<u>Su/Sulak alanlar</u>	100	100	100	100	100

Entropi

N tane olasılıklı P olayı ile ayrık bir rastgele değişken X'in entropisi $P_n=p(x_n)$, ($n=1,2,3,\dots,N$) Shannon (1948)'un bilgi teorisi olarak tanımlanmıştır.

$$H(X) = K \sum_{n=1}^N p(x_n) \log \left[\frac{1}{p(x_n)} \right] \quad (4.1)$$

İki rastgele süreç X ve Y aynı anda, birbirlerinden stokastik olarak bağımsız olarak meydana geldiğinde, verdikleri toplam belirsizlik miktarı veya iletebilecekleri toplam bilgi miktarı, marjinal entropilerinin toplamıdır.

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y) \quad (4.2)$$

X ve Y değişkenleri arasında önemli bir bağımlılık olduğunda, "koşullu entropi" kavramı, X ve Y'nin birbirine göre koşullu olasılıklarının bir fonksiyonu olarak tanımlanmalıdır:

$$H(X|Y) = -K \sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N p(x_n, y_n) \cdot \log p(x_n|y_n) \quad (4.3)$$

$$H(Y|X) = -K \sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N p(x_n, y_n) \cdot \log p(y_n|x_n) \quad (4.4)$$

burada $p(x,y)$ ($n=1, \dots, N$) birleşik olasılıkları ve $p(x|y)$ veya $p(y|x)$ x ve y değerlerinin koşullu olasılıklarını tanımlar. Koşullu entropi $H(X|Y)$, Y biliniyor olsa bile X 'te kalan belirsizlik miktarını tanımlar ve aynı miktarda bilgi X 'i gözlemleyerek elde edilebilir.

X ve Y değişkenleri stokastik olarak bağımlıysa, toplam entropi şu şekilde ifade edilir:

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y|X) \quad (4.5)$$

$$H(X, Y) = H(Y) + H(X|Y) \quad (4.6)$$

Süreçler bağımsız olsaydı, bağımlı X ve Y 'nin toplam entropisi $H(X, Y)$, toplam entropiden daha az olacaktır.

$$H(X, Y) < H(X) + H(Y) \quad (4.7)$$

Bu durumda $H(X, Y)$, X ve Y 'nin ortak entropisini temsil eder ve ortak olasılıklarının bir fonksiyonudur.

$$H(X, Y) = K \sum_{n=1}^N \sum_{n=1}^N p(x_n, y_n) \log \left[\frac{1}{p(x_n, y_n)} \right] \quad (4.8)$$

Toplam ve birleşik entropi arasındaki fark, "dönüştürme (transinformation)" adı verilen başka bir entropi kavramına eşittir:

$$T(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) \quad (4.9)$$

X ve Y arasında stokastik bağımlılık olduğunda, transinformation X ve Y 'de tekrarlanan bilgi miktarını temsil ettiğinden, her iki süreç için ortak olan $T(X, Y)$ miktarındaki toplam belirsizlik azalır.

Denklem 4.9'daki $H(X, Y)$ terimi, Denklem 4.5 veya 4.6'da verilen tanımla değiştirilerek, dönüşüm bilgisi şu şekilde formüle edilebilir.

$$T(X, Y) = H(X) - H(Y|X) \quad (4.10)$$

$$T(X, Y) = H(X) - H(X|Y) \quad (4.11)$$

Transinformation, diğer entropi kavramları gibi, her zaman pozitif değerler alır ve iki süreç birbirinden bağımsız olduğunda 0'a eşittir.

Varyans

Ortalama, olasılık dağılımının merkezinin veya ortasının bir ölçüsüdür olarak tanımlanabilir. Varyans ise dağılımdaki değişkenliğin bir ölçüsüdür. Bu iki ölçü, bir olasılık dağılımını benzersiz bir şekilde tanımlayamamaktadır. Yani, iki farklı dağılım aynı ortalamaya ve varyansa sahip olabilir. Yine de bu iki parametre dağılımın basit ve kullanışlı özetleridir (Montgomery ve Runger, 2002: 66). Varyans bir veri setinin ortalaması etrafındaki dağılımının en yaygın ölçüsüdür. Büyük varyans değerleri, ortalama etrafındaki dağılımda büyük bir yayılma olduğunu gösterir. Bu durumun tersine, küçük değerler ise dağılım kütesinin ortalamanın civarında keskin bir şekilde yoğunlaştığını gösterir (Soong, 2004: 79).

İstatistikte oldukça yaygın olarak kullanılan varyans kavramı genel olarak belirlenen örnekleme her bir noktanın ortalamadan ne kadar farklı olduğunu ifade etmektedir. Standart sapma ise bir sayı grubunun ortalamadan yayılmasıdır. Standart sapma varyansın karekökü iken varyans her veri noktasının ortalamadan kare farkının ortalamasıdır. Denklem 4.12'de varyansın formülü verilmiştir.

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (4.12)$$

Burada S^2 varyans, x_i belirlenen set içerisindeki her bir değer, $\bar{x}$ setin ortalaması, n set boyutu ve Σ toplamı ifade etmektedir.

4.5. Optimizasyon

Bir sistemin optimal veya en iyi çözümünü belirlemek için matris ve sayısal yöntemlerin en güçlü ve pratik kullanımlarından yararlanmak gerekmektedir. Matematiksel denklemler tarafından yönetilen sistemlerin optimizasyonunda amaç, belirli bir lineer veya lineer

olmayan matematiksel denklem seti tarafından tanımlanabilen bir görevi başarmanın “en iyi” yolunu belirlemektir. Bu nedenle istenilen amaç sistemin istenen performansını kapsayan $J = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ ile gösterilen bir matematiksel amaç fonksiyonunu en aza indirerek veya en üst düzeye çıkararak gerçekleştirilir (Cassel, 2021). Bir optimizasyon modeli, verilen kısıtlamaları sağlayan tüm karar değişkenleri değerleri kümesi içerisinde bir amaç fonksiyonunu optimize eden (maksimum veya minimum yapan) karar değişkenlerinin değerlerini bulmaya çalışır (Winston, 2004).

Optimizasyon, karar bilimde ve fiziksel sistemlerin analizinde önemli bir araçtır. Bu aracı kullanmak için, öncelikle incelenen sistemin performansının nicel bir ölçüsü olan bir hedef belirlenmelidir. Bu hedef, kâr, zaman, potansiyel enerji veya tek bir sayı ile temsil edilebilen herhangi bir nicelik veya nicelik kombinasyonu olabilmektedir. Hedef, sistemin değişkenler veya bilinmeyenler olarak adlandırılan belirli özelliklerine bağlıdır. Amaç hedefi optimize eden değişkenlerin değerlerini bulmaktır (Wright ve Nocedal, 2006).

Optimizasyon kavramı oldukça geniş içerikli olmakla birlikte dikkate alınması gereken çok sayıda senaryo da içermektedir. Örneğin tek bir amaç fonksiyonu $[J = f(x)]$ veya çok amaçlı fonksiyonlar $[J_1 = f_1(x), J_2 = f_2(x), \dots, J_M = f_M(x)]$ mevcut olabilir. Amaç fonksiyon veya fonksiyonları tek bir tasarım değişkeninin (x) veya birkaçının ($x_1, x_2, \dots, x_N$) bir fonksiyonu olabilir. Optimizasyon sınırlandırılmamış olabilir veya matematiksel kısıtlamalara tabi olabilir. Amaç fonksiyonu veya fonksiyonları doğrusal veya doğrusal olmayan içerikte olabilir. Benzer şekilde matematiksel kısıtlama veya kısıtlamalar da doğrusal veya doğrusal olmayan içerikte olabilir. Kısıtlamalar matematiksel bir eşitlik veya eşitsizlik içerebilir. Amaç fonksiyonu ve/veya kısıtlamalar sürekli veya ayrık fonksiyonlar olabilir (Cassel, 2021).

4.5.1. Çok amaçlı optimizasyon

Çok ölçütlü karar verme süreci, karar verme sürecinde birden fazla ölçütün söz konusu olduğu sorunlarda karar vericinin daha iyi karar vermesine yardımcı olmayı hedefleyen analitik yöntemleri konu edinir (Pehlivanoglu, 2017: 714). Cohon ve Marks (1975) su kaynaklarında çok amaçlı optimizasyona ilişkin 1975 tarihli incelemelerinde, çok amaçlı tasarım problemini, karar uzayının uygun bölgesini tanımlayan bir dizi kısıtlamaya tabi olan “vektör optimizasyonu” olarak ifade etmişlerdir. Aşağıda verilen denklem ile çok amaçlı

tasarım problemini, M adet $f(x)$ amaç fonksiyonundan oluşan $F(x)$ vektörünün minimizasyonu olarak tanımlanmıştır.

$$\text{en küçükleme (minimize)} \quad F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x)]$$

$$\text{Şartlar altında} \quad C_m(x) = 0, \forall m \in \varepsilon,$$

$$C_n(x) \leq 0, \forall n \in \zeta,$$

Burada $x=[x_1, x_2, \dots, x_L]$ çözüm uzayında L adet karar değişkeni içeren bir vektördür. Karar değişkenleri gerçek sayı veya tam sayı olabilir. Yöntem bir veya daha fazla eşitlik veya eşitsizlik içeren kısıtlayıcıya sahip olabilir (ζ ve ε gibi).

Çok amaçlı değerlendirme algoritmaları (MOEAs) su kaynakları alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Aşağıda optimizasyon alanında kullanılan çok amaçlı değerlendirme algoritmalarından yaygın olarak kullanılan yöntemlere örnekler verilmiştir. Bu yöntemlerin çözüm evrensel kümesi genişledikçe kullanılması değerlendirme açısından önem arz etmektedir. Yöntemlerden bazıları şunlardır:

- NSGA-II (Deb, Pratap, Agarwal ve Meyarivan, 2002)
- NBI (Das ve Dennis, 1998)
- NC (Messac ve Mattson, 2004)
- ε -constraint method (Mavrotas, 2009)
- Multi-objective Branch-and-Bound (Mavrotas ve Diakoulaki, 2005)
- SPO (Mueller-Gritschneider, Graeb ve Schlichtmann, 2009)

4.5.2. Amaç fonksiyonları ve kısıtlar

En uygun kavramını aramakta kullanılan yöntemlerin prensipte belirli bir amaç ve bu amacın matematiksel olarak ifade edilebilmesi gerekmektedir. Özellikle hidroloji çalışmalarında kullanılan optimizasyon kavramları ise bu bağlamda çeşitlilik gösterebilmektedir. Bütün ve Koçyiğit (2024) hidroloji çalışmalarında gerek modelleme gerekse belirlenen amaç doğrultusunda birçok farklı amaç fonksiyonunun bulunabileceğini ifade etmiştir.

Çalışmada istasyonlardan elde edilecek bilgi kazanımının artımını sağlayabilmek için istasyonlar arasında minimum varyansı sağlayacak dağılımın tespit edilebilmesi amacıyla seçim yapılması hedeflenmiştir. Bu nedenle amaç fonksiyonlarından bir tanesi varyans

dağılımının minimize edecek dağılımın belirlenmesini sağlamaktır. İkinci amaç fonksiyonu ise genel anlamıyla maliyet için azaltımı sağlayacak en az istasyon sayısının seçimini sağlamaktır. Bu nedenle ikinci amaç fonksiyonu ise minimum istasyon sayısının belirlenmesidir. Çalışma çok amaçlı karar verme prensiplerini sağlaması açısından iki adet amaca hizmet edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle her iki amacın birlikte değerlendirilmesini sağlayacak bir algoritma üzerinde çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda her bir istasyonun değerleri ilgili havzalarından temin edildiği için her istasyonun değerlerini ifade edecek öznitelik tablosu ve toplam varyans değerleri hesaplanmıştır. Öznitelik tablosu Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çalışma içerisinde amaç fonksiyonları yukarıda ifade edilen şekillerde belirlenirken kısıtlamalarda ise optimizasyon çalışmalarının en temel çözümlerinde kullanılan değişkenlerin sıfır veya sıfırdan büyük olma kısıtı kullanılmıştır. Bu kısıtlamaların temel bir optimizasyon algoritmasında kullanılması yeterli olmakla birlikte çözüm amaçları ve süreç içerisinde farklı kısıtlamalar da ilgi alanları ve hedeflemelere göre çeşitlendirilebilir.

4.6. Analizler

Çalışma süreci boyunca geliştirilen yöntem ve uygulama alanında yöntemin kullanılabilmesi açısından yapılması gereken işlemler gerekli bilgisayar programlamaları ve yardımlarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bu kısımda analizlerin gerçekleştirilme süreçleri ve temel olarak süreçteki yerlerinden bahsedilmiştir.

Çalışma alanı belirlendikten sonraki süreçte alan üzerinde istenilen ve potansiyel olarak yerleri belirlenen istasyonların ve bu istasyonların yağış havzalarının tespitleri ve haritalanması gerekmektedir. Bu süreçte ArcGIS programı yardımıyla istasyon konumları belirlenmiş, alt havzalar oluşturulmuş ve hesaplamalarda kullanılacak alan, çevre, drenaj hat uzunlukları, derecelendirmeleri, genişlikler vb. gibi birçok parametre hesaplanarak tablolastırılmıştır. Bu hesaplamalar ve alt havza dilimleme işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için ArcGIS programı üzerinde birtakım model kuramları geliştirilmiş ve süreçte tekrar etmesi gereken birçok alt işlem bu kuramlara dahil edilmiştir. Bu model kurgularından bir tanesi Şekil 3.2'de ilgili bölümün anlatım sürecine örnek olarak verilmiştir.

Potansiyel istasyonlar için belirlenen konumlarda havza yağış alanlarına etki edecek alt havza alanlarının belirlenmesi ve bu havzaların değerlendirilecek parametrelere göre değerlerinin hesaplanması ile Çizelge 4.6’da öznitelik tablosu elde edilmiştir. Sistemde en farklı havzanın en farklı kazanım değerlerini oluşturması beklendiğinden havza özelliklerine göre varyansı en fazla azaltan havzaların tespiti için varyans azaltma yöntemi kullanılarak öncelikli istasyonlar tespit edilmiştir. Bu işlemler bir yandan varyansı azaltırken bir yandan ise seçilen istasyon sayısını en az seviyede olacak şekilde tutmak için iki amaç doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle optimizasyon amaçları minimum istasyon ve minimum varyans değerini tespit edecek şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Alt Havza Öznitelik Tablosu

Morfometrik Parametreler											
Havza No	R _b	D _d	F _s	T	L ₀	F _f	S _f	E _r	C _c	C _r	WL _r
1	2,250	0,998	13,099	1,420	0,501	0,151	6,613	0,439	2,216	0,204	0,279
2	1,954	1,199	12,512	4,057	0,417	0,766	1,306	0,987	1,434	0,486	1,280
3	5,552	1,637	15,461	3,247	0,305	0,582	1,719	0,860	1,300	0,591	0,647
4	7,253	2,298	11,344	3,694	0,218	1,152	0,868	1,210	1,279	0,611	1,757
5	1,805	2,180	11,842	4,777	0,229	0,885	1,130	1,061	1,505	0,441	0,963
6	2,587	2,413	12,896	3,774	0,207	0,506	1,977	0,802	1,252	0,638	0,678
7	6,391	2,429	13,082	4,891	0,206	0,518	1,929	0,812	1,718	0,339	0,865

Öznitelik tablosunun oluşturulmasında kullanılan ve ilgili parametre hesaplamaları için elde edilen değerler Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu çizelgede alt havzaların dallanma oranlarının tespiti için havzaların Strahler yöntemine göre belirlenmiş numaralanmış akım sayıları ve dallanma oranı hesapları için kullanılan oranların değerleri verilmiştir. Havza için en yüksek akarsu kol sayısı 541 ile 7 nolu havza iken en düşük akarsu kol sayısı 76 ile 1 nolu havzaya aittir. Ayrıntılı dağılım Çizelge 4.7’de görülebilmektedir.

Çizelge 4.7. Dallanma Oranı Hesaplarının Çizelgesi

Pİ-Havza	Akarsu Numaralandırması							Dallanma Oranları				
	Toplam	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₁ /N ₂	N ₂ /N ₃	N ₃ /N ₄	N ₄ /N ₅	N ₅ /N ₆
1	76	38	19	4	0	0	15	2	4,75			0
2	268	135	55	13	11	33	21	2,45	4,23	1,18	0,33	1,57
3	112	57	26	27	2	0	0	2,19	0,96	13,5		
4	194	98	46	25	24	1	0	2,13	1,84	1,04	24	
5	429	217	106	39	40	27	0	2,04	2,71	0,97	1,48	
6	170	86	40	36	8	0	0	2,15	1,11	4,5		
7	541	271	114	99	32	24	1	2,37	1,15	3,09	1,33	24

Matlab programından elde edilen sonuçlar değerlendirilerek bulgular bölümünde sunulmuştur. Sonuçlardan elde edilen Pareto Optimal sonuçlar yine bulgular bölümünde yorumlanmıştır. Önerilen yöntem değerlendirilmiştir. Çalışmada morfometrik parametrelerin kendi içlerinde değerlendirilmesi ve eğri numaralarının meydana getireceği değişimlerin daha sağlıklı görülebilmesi açısından ilk olarak morfometrik parametreler kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Bu parametreler Çizelge 4.6'da görülebilmektedir. Çizelge 4.8'de ise sisteme eğri numaraları da dahil edilmiştir. Çalışmalar yeni öznitelik tablosunda tekrar edilmiştir. Elde edilen kapsamlı sonuçlar Ek-2'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Morfometri ve Toprak Özellikleri ile Öznitelik Tablosu

Eğri Numaraları ve Morfometrik Parametreler												
Havza No	R _b	D _d	F _s	T	L ₀	F _f	S _f	E _r	C _c	C _r	WL _r	CN
1	2,250	0,998	13,099	1,420	0,501	0,151	6,613	0,439	2,216	0,204	0,279	58,140
2	1,954	1,199	12,512	4,057	0,417	0,766	1,306	0,987	1,434	0,486	1,280	80,074
3	5,552	1,637	15,461	3,247	0,305	0,582	1,719	0,860	1,300	0,591	0,647	81,918
4	7,253	2,298	11,344	3,694	0,218	1,152	0,868	1,210	1,279	0,611	1,757	79,063
5	1,805	2,180	11,842	4,777	0,229	0,885	1,130	1,061	1,505	0,441	0,963	81,156
6	2,587	2,413	12,896	3,774	0,207	0,506	1,977	0,802	1,252	0,638	0,678	82,716
7	6,391	2,429	13,082	4,891	0,206	0,518	1,929	0,812	1,718	0,339	0,865	80,836

Elde edilen öznitelik tabloları üzerinde belirlenen hedef ve ilgili kısıtları doğrultusunda en ideal dağılımın tespit edilebilmesi açısından ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamaların ve dağılımların daha net anlaşılması ve tüm süreci takip edebilmek için tüm seçim kombinasyonlarının hesaplanması ve grafik haline getirilebilmesi amacıyla MATLAB programı üzerinde yazılan kodlama ile tüm seçim durumları, seçimler ve varyans değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Ek-1 ve Ek-2'de sunulmuştur. “BULGULAR” bölümünde ise ilgili hesaplamaların sonuçları ve optimal seçimler sunulmuş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Program çalışma süreleri

Geliştirilen MATLAB uygulaması sayesinde istenilen istasyon ve istenilen parametre sayısına göre evrensel çözüm kümesi hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte potansiyel istasyon sayısı arttıkça genel çözüm kümesi değerlerinin sayısı da artacağından işlem süreleri ve işlem hacmi de artmaktadır. Bu durumun ifade edilmesi ve sürece etkisinin görülmesi için farklı potansiyel istasyon sayılarında kurgusal denemeler gerçekleştirilmiş ve işlem süreleri gözlemlenmiştir. İşlemler Intel(R) Core(TM) i7-3630QM CPU 2.40GHz

işlemci, 8 GB RAM özelliklerine sahip, 64 bit Windows 10 işletim sistemi kullanılan bir bilgisayar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Program çalıştırılması sırasında arka planda herhangi başka bir uygulama çalıştırılmamıştır. Aşağıda belirli istasyon sayılarına göre hesaplama işlem sürelerinin durumu verilmiştir.

Çizelge 4.9. İşlem Süre Çizelgesi

Potansiyel İstasyon Sayısı	İşlem Süresi ($\cong$)
3	<2 sn
4	<2 sn
5	<2 sn
6	2 sn
7	6 sn
8	20 sn
9	40 sn
10	120 sn
11	380 sn
12	1220 sn
13	5020 sn
14	20835 sn
15	96470 sn

Çizelge 4.9 incelendiğinde işlem süresinin potansiyel istasyon sayısının artması ile arttığı görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Potansiyel istasyon sayısı 13'ten sonra analiz süreleri saatlere, potansiyel istasyon sayısı 15 ve sonrası için günlere dönüşmektedir. Bu kapsamda bakıldığında tam çözüm kümesini içeren analizlerin gerçekleştirilmesi potansiyel istasyon sayısının 15 veya daha fazla olması ile kullanıcı dostu bir çözüm yöntemi olmaktan uzaklaşmaktadır.

Çizelge 4.9'daki analiz değerleri 11 adet parametrenin değerlendirilmesi ile elde edilen öznitelik tablosu için gerçekleştirilmiş analiz sürelerini vermektedir. Bu açıdan bakıldığında parametre sayısının artması da bu analiz değerlerini etkileyecektir. İşlem süresinin kullanıcı dostu olarak kalabilmesi ve ideal sonuçların elde edilmesi sürecinde sağlıklı sonuçlar alabilmek için işlem sürelerinden yola çıkılarak farklı yöntem ve uygulamalara başvurulabilir. Çizelge 4.9'dan da anlaşıldığı üzere özellikle potansiyel istasyon sayısının 15'i geçmesi durumunda tam çözüm kümesinin tespit edilmesi günleri bulabilecektir. Bu nedenle alternatif bazı optimizasyon algoritmalarına başvurularak sadece ideal çözüm kümesini elde etmek hedeflenebilir. Bu yöntemlerden bazıları "4.5.2 Amaç fonksiyonları ve

kısıtlar” başlığı altında ifade edilmiştir. Benzer birçok optimizasyon uygulaması aynı amaç için uygulanabilecektir. Böylece optimum dağılım daha kısa sürede tespit edilebilecektir. Ayrıca potansiyel istasyon sayısının yüksek olduğu durumlarda çeşitli çalışmalarla bu sayıyı düşürerek işlem yapmak da bir çözüm olabilecektir.



5. BULGULAR

Çalışma kapsamında önerilen yöntem için yapılan çalışmalar ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen harita ve çizelgeler çalışma alanı ve yöntem başlıklarında detaylıca anlatılmıştır. Yöntemin uygulandığı alan ve ilgili parametrelerin hesaplanmasının ardından analizlerin sonuçlandırılması ve değerlendirilmesi için bu bölümde elde edilen sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

Çalışma alanı için temin edilen SYM, BTG ve arazi kullanım haritaları üzerinde CBS analizlerinin gerçekleştirilmesi ve ilgili hesaplamaların yapılması ile belirlenen alan için öznitelik tablosu (Çizelge 4.6) elde edilmiştir. Bu çizelge üzerinden geliştirilen yöntemin uygulanması ve yorumlanması için gereken işlemler MATLAB programı üzerinde yazılan bir programlama bölümü yardımı ile varyans değerlerinin tüm kombinasyonlar için hesaplanmasını ve seçim yapılan değerlere göre sonuçların sunulmasını sağlamıştır. Çalışma alanı ve değerlendirilen potansiyel istasyonların her biri için tüm kombinasyonları hesaplanmıştır. Ek-1’de hesaplanan bu değerler verilmiştir. Çizelge 5.1’de ise tüm istasyonların değerlendirildiği öznitelik tablosu ve tablonun değerlerinin minimum, maksimum, ortalamana ve varyans değerleri gibi birtakım istatistiksel değerleri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde varyans değerlerinin en yüksek değerinin dallanma oranında, en düşük değerin ise yüzey akış uzunluğunda olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.1. Öznitelik Tablosu ve Varyans Değerleri

Havza No	R_b	D_d	F_s	T	L_0	F_f	S_f	E_r	C_c	C_r	WL_r
1	2,250	0,998	13,099	1,420	0,501	0,151	6,613	0,439	2,216	0,204	0,279
2	1,954	1,199	12,512	4,057	0,417	0,766	1,306	0,987	1,434	0,486	1,280
3	5,552	1,637	15,461	3,247	0,305	0,582	1,719	0,860	1,300	0,591	0,647
4	7,253	2,298	11,344	3,694	0,218	1,152	0,868	1,210	1,279	0,611	1,757
5	1,805	2,180	11,842	4,777	0,229	0,885	1,130	1,061	1,505	0,441	0,963
6	2,587	2,413	12,896	3,774	0,207	0,506	1,977	0,802	1,252	0,638	0,678
7	6,391	2,429	13,082	4,891	0,206	0,518	1,929	0,812	1,718	0,339	0,865
Minimum	1,805	0,998	11,344	1,42	0,206	0,151	0,868	0,439	1,252	0,204	0,279
Maksimum	7,253	2,429	15,461	4,891	0,501	1,152	6,613	1,21	2,216	0,638	1,757
Ortalama	3,970	1,879	12,890	3,694	0,2975	0,651	2,220	0,881	1,529	0,472	0,924
S^2	4,680	0,307	1,474	1,159	0,012	0,087	3,363	0,051	0,101	0,022	0,197

Ek-1’de hazırlanan çizelgede, her bir istasyonun seçilmesi ile varyans değerlerinin hesaplamaları ve seçim yapılan istasyonlara ait numaralar sunulmuştur. Bu çizelgede tüm kombinasyonların hesaplanması nedeniyle en ideal sonucu veren dağılımları gösteren ve optimal çözümü ifade eden ideal dağılım Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Yönteme Göre Seçilen İstasyonlar

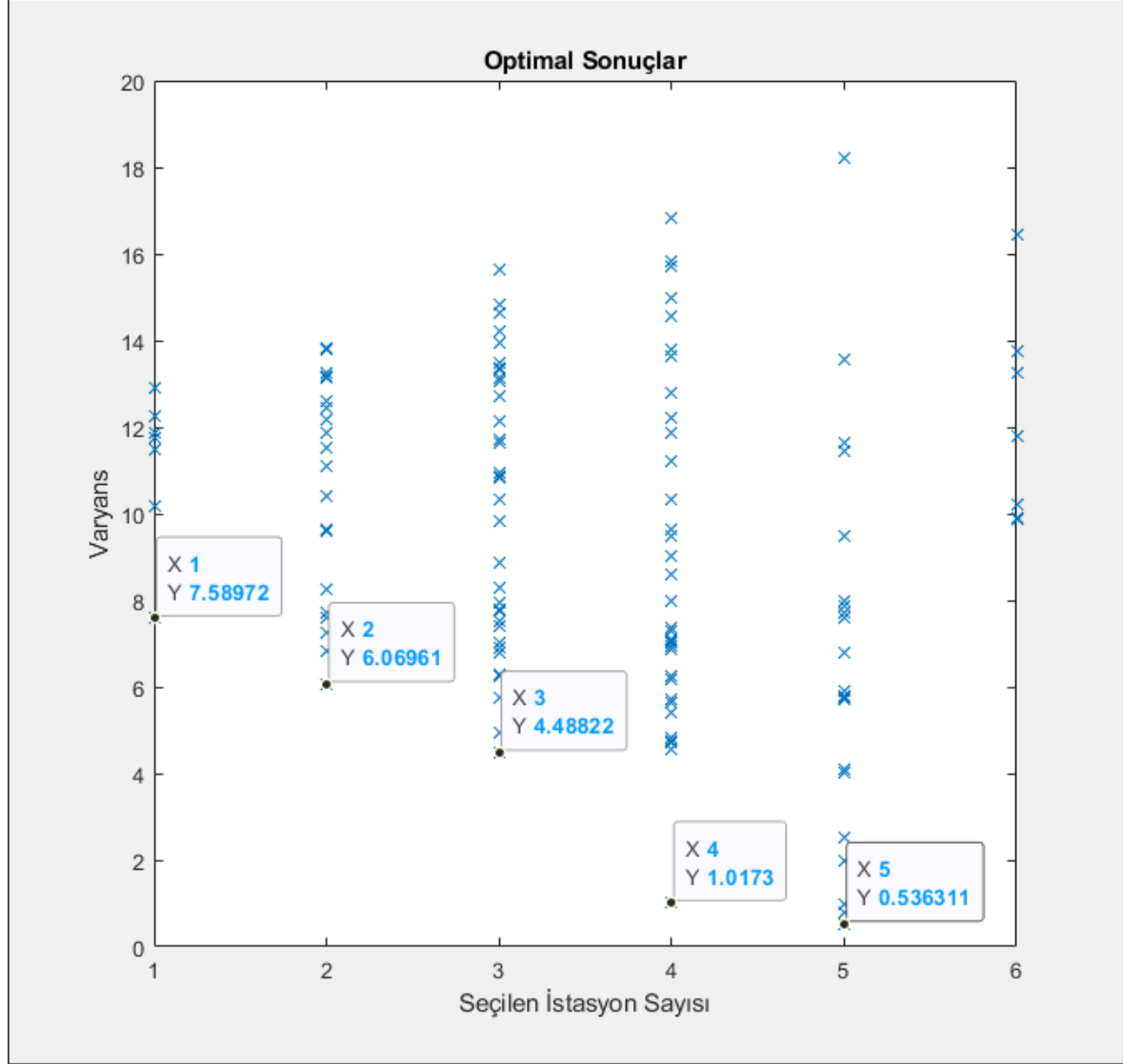
Sayı	Varyans	İstasyon Sayısı	Seçimler					
1	7,589715	1	1					
2	6,069609	2	1	4				
3	4,488223	3	1	3	4			
4	1,017304	4	1	3	4	7		
5	0,536311	5	1	3	4	6	7	
6	9,860187	6	1	2	3	4	6	7
7	Tüm istasyonların seçilmesi durumu							

Çizelgede varyans sütunu hesaplanan toplam varyans sonuçlarını gösterirken istasyon sayısı sütunu seçilen istasyon sayısını göstermektedir. Seçimler sütunu ise seçilen istasyonların numaralarını vermektedir. Bu sütununda değerlerin olmaması istasyon seçiminin yapılmadığını ifade etmektedir.

Çizelge, yapılan analizler ve yöntemin uygulanması ile elde edilen Pareto optimal çözüm kümesini vermektedir. Bu kapsamda uygun tasarım için hedeflenen iki amaç doğrultusunda bir amacın hedeflerinden feragat etmeden diğer amacın hedeflerine yaklaşmamaktadır.

Ek-1’de verilen çizelgeye göre elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 5.1’de verilmiştir. Şekil 5.1’de varyans değerlerinin seçim yapılan istasyon sayısına göre değişimi görülebilmektedir. Elde edilen sonuçlardan arazi şartlarını ve morfometrik özelliklerine göre değerlendirilen alt havzaların en farklı olanlarının tespiti sağlanmıştır. Varyans değişimleri her bir istasyon sayısı seçimi için görülebilmektedir. Belirlenen potansiyel istasyonlardan bir istasyon seçilmesi durumunda 1 nolu havzayı temsil eden potansiyel istasyonun incelenen havzalar arasında en farklı yapıya sahip olduğu görülmüştür. Özellikle bu havzanın diğer havzalara oranla incelenen parametrelere göre diğer havzalardan daha fazla değişim sağladığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulardan bu havzanın diğer havzalara göre daha farklı sonuçlar vermesi beklenmektedir. Çizelge 5.2 incelendiğinde seçilecek istasyon sayısının birden fazla olması durumunda yine 1 numaralı Pİ-1 ile beraber Pİ-4 istasyonunu temsil eden havzanın seçimi en fazla varyans azaltımını sağlayan istasyon olmuştur. Buradan seçilen istasyon sayısının artmasıyla beraber önceliğin değişmediği ve bu önceliğe ek

istasyonların seçime katıldığı görülebilmektedir. Bu düzen şekli tüm istasyonların seçimlerinde de görülmektedir. Seçilen istasyon sayısı artsa bile daha önceki seçimlerden elde edilen sonuçlar yerini korumaktadır. Buradan seçimlerin tutarlılık içerdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.1. Optimal Sonuçlar

Şekil 5.1'de geliştirilen yöntem sonucunda elde edilen Pareto optimal sonuçların grafiği verilmektedir. Grafikte yatay eksen optimizasyon amaçlarından biri olan istasyon sayısını, dikey eksen ise diğer bir amaç fonksiyonu olan ve minimize edilmesi hedeflenen varyans değerlerini göstermektedir. Grafikteki sonuçlar tüm çözüm kümesini içermekte ve 126 adet kombinasyonun tamamı grafikten görülebilmektedir. Anlaşılabilir olması açısından grafik üzerindeki optimal noktaların değerleri yanlarındaki kutularda belirtilmiştir. Buna göre istasyon sayısının 1 olduğu ideal çözüm değerinde en düşük varyans değeri (7,58972) olarak

belirlenmiştir. Benzer şekilde istasyon değeri 2 olan optimum çözüm değeri için varyans değeri (6,06961) olduğu görülmektedir. Düşey eksendeki diğer değerler ise farklı seçim sonuçlarından elde edilecek varyans değerlerini göstermektedir. Bu grafikte optimum olarak seçilen istasyonların numaraları, dolayısı ile konumları görülememekte, bunun için Çizelge 5.2'den yardım alınması gerekmektedir. Tüm değerler için seçilen istasyonların sıralamaları istenirse Ek-1'deki tablodan yararlanılabilir.

Şekil 5.1'deki sonuçlardan seçilen istasyonların sıralamalarına bakıldığında istasyon sayısı arttıkça bir önceki seçimdeki istasyonun listede bulunduğu, sıralamada tutarlılığın olduğu görülmektedir. Örneğin 1 istasyon seçimi için Pİ-1 değerinin seçilmesi 1 istasyon seçilmesi durumunda meydana gelebilecek en düşük varyans değeri olan (7,58972) değerini verirken, 2 istasyon seçilmesi durumunda seçilen istasyonlar Pİ-1 ve Pİ-4 olması durumunda en düşük varyans değeri olan (6,06961) elde edilmektedir. Benzer şekilde 3 istasyon seçilecekse en düşük varyans değeri (4,48822) olan seçim Pİ-1, Pİ-3 ve Pİ-4 ile sağlandığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlardan seçim sayısı arttıkça bir önceki seçim değerinde seçilen istasyonların da seçime dahil olduğu ve seçilen yeni istasyonun bu seçimlere ek olarak geldiği görülmektedir. Çizelge 5.2 ve Şekil 5.1'deki değerlerin tamamı incelenirse bu durumun seçilen istasyonların tamamında böyle olduğu görülmektedir.

İstasyon seçimleri arasındaki varyans değerleri incelendiğinde 1 istasyon seçimi için en düşük ve en yüksek varyans değerlerinin sırasıyla 7,58 ve 12,88 olduğu görülmektedir. 2 istasyon seçimi durumunda ise 6,06 ile 13,84 aralığında seçim değerlerinin değiştiği görülmektedir. Varyans değerlerindeki bu değişimin 5 istasyon seçim durumuna kadar arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5.1'deki grafik genel olarak yorumlandığında Pareto optimal çözüm yaklaşımının elde edildiği genel olarak görülebilir. Sadece son seçim değerinin (6 istasyon seçim durumu) genel eğilime göre farklılık içerdiği görülmektedir. Bu durum seçim yapılan varyans değer aralığının giderek azalması ve istatistiksel aralığı tam olarak yansıtamamasından kaynaklanmakla birlikte seçim değerleri incelendiğinde varyans değerleri genel olarak artmış görünse de istasyon seçimlerindeki sıralamanın değişmediği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre Pİ-1 istasyonu her seçim durumunda seçilmektedir. Bu nedenle bu istasyonun temsil ettiği havza öznetelikleri diğer istasyonlara göre ortalamadan oldukça farklılık göstermektedir. Buradan seçim önceliğinin Pİ-1 istasyonunda olduğu sonucu elde

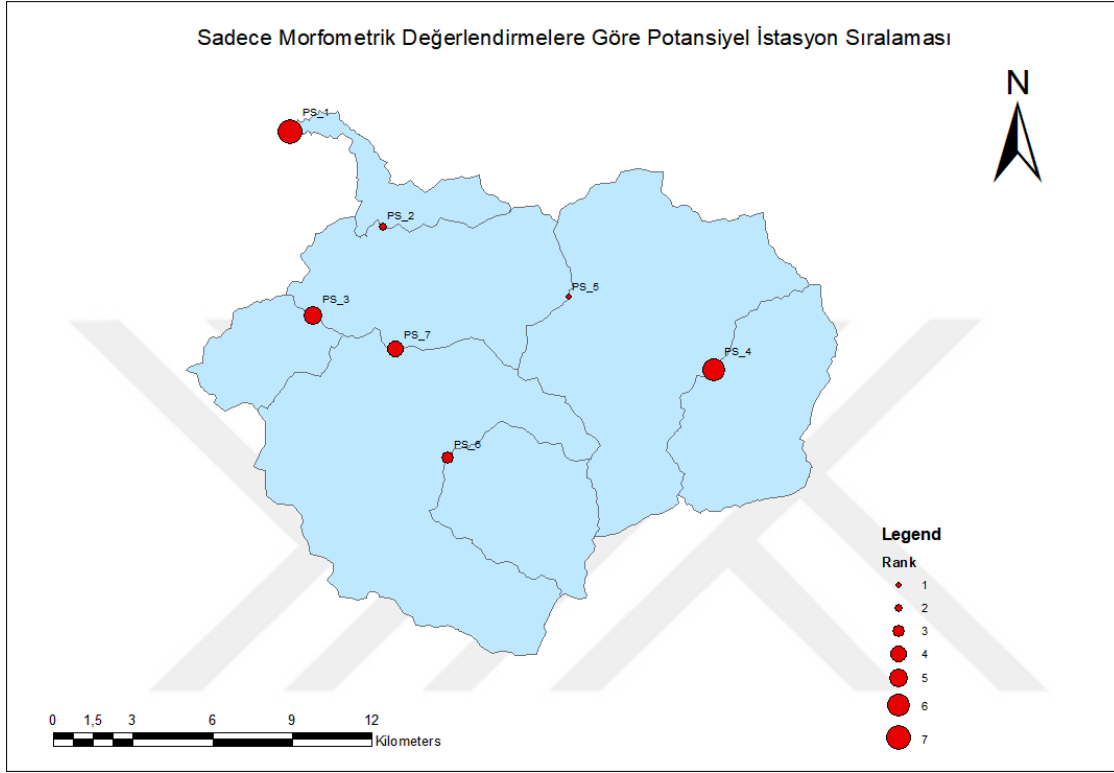
edilmiştir. Çalışma sınırları içerisinde benzer yağış alanının mevcudiyeti ve alt havzaların bireysel değerlendirildiği düşünülürse elde edilen sonuçlar ölçüm değerlerinde farklılıkların havza özelliklerini ve yağıştan sonraki süreci değerlendirmede kullanılabilecektir. Bu nedenle bilgi kazanımını ve minimum maliyeti hedefleyen amaç fonksiyonlarına göre seçilecek konum, bireysel olarak en ideal sonucu vermektedir. Bununla birlikte istasyonlar konumları gereği tek bir akarsu üzerinde ve birbirlerinin memba veya mansap kısımlarında bulunabilmektedir. Bu kapsamda seçim önceliğinin olduğu Pİ-1 incelendiğinde bireysel olarak en fazla farklılığa sahip olmasının yanı sıra çalışma alanının tamamını yansıtacak değerleri de içermekte ve havza çıkışında konumlanmaktadır. Pİ-1'in özel konumu nedeniyle tüm havzanın ölçümlerini değerlendirebilecek bir konuma sahip olması ile birlikte sadece bir istasyon seçilmesi durumunda havzanın memba kısımlarındaki bireysel değişimleri yansıtmayacaktır. Seçilen istasyon sayılarının artması ile bu durum değişecek, memba kısmın değişimleri de elde edilebilecektir. İki istasyon seçilmesi kararı bu durumu açıklamaktadır. Pİ-1'in yanına Pİ-4 seçimi, havzanın memba kısmında bir alanın ayrıca değişimlerinin gözlemlenmesine de yardımcı olacaktır. Ayrıca istasyonların temsil ettikleri yağış alanlarını da dengeleyecektir.

Mevcut durum incelendiğinde çalışma alanı üzerinde 2 adet DSİ akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Çalışmada bu istasyonların konumlarının yöntem tarafından seçime dahil edilmesi ve incelenmesi açısından potansiyel istasyonların ikisinin konumu mevcutlar ile birebir eşleştirilerek işlemlere devam edilmiştir. Bahsi geçen bu istasyonlar Pİ-5 ve Pİ-7 istasyonlarıdır. Bu istasyonların yöntemle göre ilk sıralarda seçilmediği, özellikle Pİ-5'in en son seçimde sisteme dahil olduğu, Pİ-7'nin ise 4 istasyon seçiminde sisteme dahil olduğu görülmektedir. Bu kapsamda bakıldığında mevcut durumun seçimlerinin önerilen yöntemle göre ilk sıralarda tercih edilmediği söylenebilir.

Mevcut DSİ istasyon konumları havza üzerinde incelendiğinde tüm havzanın tamamını yansıtmadığı (yağış alanı olarak üst kotlarda kaldığı, mansaptaki değişimleri yansıtamadığı) ve istasyonların birbirlerine oldukça yakın oldukları (yaklaşık 6,79 km) görülmektedir. Şekil yapısı itibarı ile birbirlerine benzerlik göstermektedirler. Bu kapsamdan bakıldığında havzanın tamamını yansıtamadığı ve konumları itibarı ile oldukça yakın oldukları görülmektedir.

Harita 5.1'de istasyon konumları ve seçim değerlerine göre seçilme sayılarına göre sınıflandırmaları görülebilmektedir. Burada 7 değeri, bahsedilen istasyonun her seçim

şartında seçime girdiği, tüm seçim şartlarında seçildiğini, 1 değeri ise sadece tek bir seçim şartında seçildiğini, bu seçimin de tüm istasyonların kullanımına karar verilmesi durumunda olduğu ifade edilmektedir. Bu nedenle puanlaması yüksek olan istasyonların gösterimleri de bu duruma göre yapılmıştır.



Harita 5.1. Potansiyel İstasyon Sıralaması (Morfometrik Parametrelere Göre)

Morfometrik parametrelerin öznitelik tablosunda ve analizlerde kendi içerisinde değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar ve bulgular yukarıda tartışılmıştır. Çizelge 5.3'te ise öznitelik tablosunun eğri numaraları dahil edilmiş hali verilmiştir. Çizelge incelendiğinde eğri numaralarının eklenmesi ile genel olarak toplam varyans değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Arazi kullanımı ve toprak türlerinin her havza bünyesinde farklılık içermesi öznitelik tablosuna ve sonuçlara da yansımıştır.

Çizelge 5.3. Eğri Numaraları ile Öznitelik Tablosu ve Varyans Değerleri

Havza No	R_b	D_d	F_s	T	L_0	F_f	S_f	E_r	C_c	C_r	WL_r	CN
1	2,250	0,998	13,099	1,420	0,501	0,151	6,613	0,439	2,216	0,204	0,279	58,14
2	1,954	1,199	12,512	4,057	0,417	0,766	1,306	0,987	1,434	0,486	1,28	80,074
3	5,552	1,637	15,461	3,247	0,305	0,582	1,719	0,860	1,300	0,591	0,647	81,918
4	7,253	2,298	11,344	3,694	0,218	1,152	0,868	1,210	1,279	0,611	1,757	79,063
5	1,805	2,18	11,842	4,777	0,229	0,885	1,13	1,061	1,505	0,441	0,963	81,156
6	2,587	2,413	12,896	3,774	0,207	0,506	1,977	0,802	1,252	0,638	0,678	82,716
7	6,391	2,429	13,082	4,891	0,206	0,518	1,929	0,812	1,718	0,339	0,865	80,836
Minimum	1,805	0,998	11,344	1,420	0,206	0,151	0,868	0,439	1,252	0,204	0,279	58,140
Maksimum	7,253	2,429	15,461	4,891	0,501	1,152	6,613	1,21	2,216	0,638	1,757	82,716
Ortalama	3,970	1,879	12,891	3,694	0,298	0,651	2,220	0,882	1,529	0,473	0,924	77,700
S^2	4,681	0,307	1,475	1,159	0,012	0,087	3,364	0,051	0,101	0,022	0,197	64,974

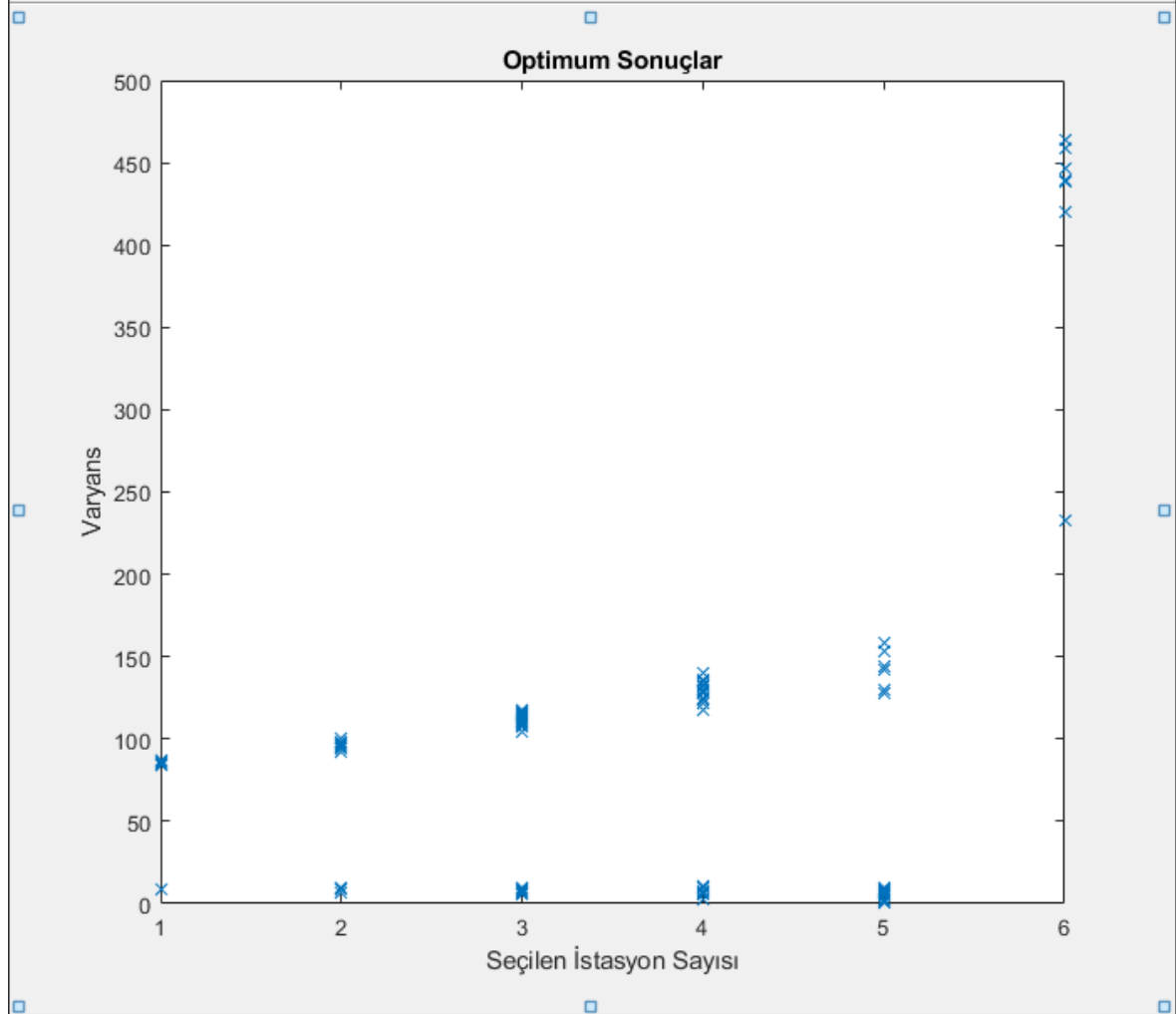
Elde edilen yeni öznitelik tablosu ile yukarıda da ifade edilen işlemler tekrar gerçekleştirilmiştir. MATLAB yardımı ile ilgili hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar Ek-2’de ayrıntıları ile sunulmuştur. Optimum sonuçlar ise Çizelge 5.4’te verilmiştir. Yine elde edilen sonuçların grafik gösterimi Şekil 5.2’de sunulmuştur. Şekil 5.2 incelendiğinde özellikle varyans değerlerinde sadece morfometrik parametrelerin incelendiği duruma göre oldukça yüksek değerlerin elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 5.4. Eğri Numaraları ve Morfometri Parametrelerinin Değerlendirildiği Optimum Sonuçlar

Sayı	Varyans	İstasyon Sayısı	Seçimler					
1	8,996164	1	1					
2	6,893227	2	1	4				
3	5,413343	3	1	3	4			
4	2,193358	4	1	3	4	7		
5	0,828992	5	1	3	4	6	7	
6	232,5968	6	2	3	4	5	6	7
7	Tüm istasyonların seçilmesi durumu							

Elde edilen sonuçlar sadece morfometrik parametrelerin kullanıldığı analiz sonuçları ile oldukça benzerdir. Özellikle 5 istasyon seçimine kadar sonuçlar seçim sıralaması ve seçilen istasyonlar bakımından aynıdır. Normalden farklı olarak 6 istasyon seçilmesi durumunda Pİ-1 istasyonu seçimi yerine Pİ-2 istasyonu Pİ-5 istasyonu ile seçime katılmıştır. Bu durumun özellikle CN değerlerinin her istasyon için morfometrik parametrelere göre oldukça farklılık sağlaması ve varyans değerlerini fazlasıyla artırması nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5.3 ve Şekil 5.2 incelendiğinde varyans değerlerindeki değişimlerin önceki çözüme göre oldukça arttığı görülmektedir.



Şekil 5.2. Eğri Numaraları ve Morfometrik Parametrelere Göre Optimum Sonuçlar

Şekil 5.2'den de görülebileceği gibi varyans değerlerinde sadece morfometrik parametrelerin değerlendirildiği duruma göre bir artış görülmüştür. 1 istasyon seçim yapılması durumunda varyans aralıkları 8,99-85,73 değerleri arasında değişim göstermiştir. Benzer şekilde 2 istasyon seçimi yapılması durumunda varyans aralıkları 6,89-100,00 aralığında değişmiştir. Buradan sisteme eklenen CN değerlerinin genel varyans değer değişimlerini artırdığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sürecinde hidrolojik gözlem istasyonları için bir optimizasyon algoritması geliştirmek amacıyla literatürde bulunan çalışmalar, ilgili yayınlar ve kaynaklar incelenmiş, optimizasyon kavramı ve hidrolojideki kullanımları tespit edilmiştir. Yapılan çıkarımlar, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntemin süreç içerisindeki gelişimini doğrudan etkilemiştir. Gereksinimler ve yöntemin kavramsal olarak uygulanabilmesi amacıyla su kaynakları planlayıcılarının karar verme aşamasında kullanabileceği bir yöntemin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle Kuzey Ege havzası üzerinde bulunan bir alt havzada ilgili CBS analizleri gerçekleştirilerek çalışma kapsamında geliştirilen yöntemden elde edilen bulgular sunulmuştur.

Bu çalışmada geliştirilen yöntem üzerinde çalışılan 7 farklı potansiyel istasyon için çalışmalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde 7 farklı potansiyel istasyonu konumlarına göre yapılan parametre değerlendirmeleri ve geliştirilen MATLAB program koduyla birlikte hızlı bir şekilde tüm çözüm kümesini de gösterecek şekilde çözümlenmiştir. Potansiyel istasyonların konumlarının gereği temsil ettikleri havzaların morfometrik ve arazi özellikleri üzerinden sınıflandırılması ve değerlendirilmelerinin yapılabildiği görülmüştür. Morfometrik parametrelerin çalışma alanı içerisindeki alt havzaların özelliklerini yansıtmada sıklıkla kullanıldığı, taşkın analizleri, yeraltı suyu kuyu lokasyonlarının belirlenmesi vb. birçok hidrolojik konularda kullanım alanına sahip olduğu ve optimizasyon çalışmalarında da kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Potansiyel istasyon yerlerinin ve sayısının seçimi genellikle uygulama mühendislerinin ve su kaynakları hakkında çalışma yapan kişilerin kararlarına bağlıdır. İstasyon konumu, istasyonu etkileyecek yağış havzasının özelliklerini içerdiğinden istasyon hangi konumda seçilirse seçilsin ona etki edecek havzanın özelliklerini yansıtacak şekilde sistemde bulunacaktır. Bu nedenle istasyon sayısı ve seçim yerleri karar vericilerin, uygulama mühendislerinin ve su kaynakları hakkında çalışma yapan kişilerin öngörülerıyla tekrar belirlenebilecek, tekrar sorgulanabilecektir.

Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi seçilen istasyon sayısı arttıkça varyans düşmektedir. Bu durum yeni eklenen istasyonların yeni bilgi sağlayabileceğini de göstermektedir. Eğer yeni istasyonlar eklendikçe varyans sayısında herhangi bir azalma söz konusu olmuyorsa bu

durum eklenecek istasyonların bilgi kazanımlarında da yeterli katkı sağlamayacağı anlamına gelmektedir. Sisteme eklenecek veya çıkarılacak istasyonların sayısının belirlenmesinde bu durumun göz önünde bulundurulması oldukça faydalı olacaktır.

Önerilen yöntem için özellikle morfometrik parametrelerin ağırlıklı olarak seçilmesi nedeniyle havza şekil özelliklerinin seçimleri doğrudan etkilediği söylenebilir. Çalışma alanı içerisinde yer alan bir yağış gözlem istasyonunun bulunmaması, havzaya en yakın istasyonların dağılımları ve Thiessen yöntemine göre yağış alanlarının belirlenmesiyle bile alt havzaları bireysel olarak temsil edecek farklı yağış değerleri bulunamamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada yağış parametresi tüm çalışma alanında benzer yağış dağılımı varsayımı ile sürece dahil edilmemiştir. Daha büyük alanlarda ve yağış değişiminin havzalarda daha ayrıntılı tespit edilebildiği durumlarda bu parametrenin de sistem değerlendirmesine katılması ve etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Büyük alanlarda yapılacak çalışmalarda yağış etkisinin de ayrıca değerlendirilmeye alınması yöntemin uygulanabilirliği açısından önemlidir.

Yöntem, su kaynakları konusunda çalışan kişilerin karar verme süreçlerini kolaylaştırmak ve katkı sağlamak amacıyla erişimi mümkün ve kolay elde edilebilen parametrelerle çalışmayı hedeflemiştir. Modelleme çalışmaları, modelleme gereksinimleri, iş yükü ve süreçteki diğer beklenmedik durumlar düşünülürse bu durumlardan bağımsız olarak arazi üzerindeki yapı ve CBS analizleri yardımıyla daha önceden potansiyel yerleri belirlenmiş istasyon yerleri için sıralama yapabilmektedir.

Yöntem yapısı gereği avantaj ve dezavantajlara sahiptir. İstasyonların temsil ettiği yağış havzalarının farklılıklarına odaklanmasından kaynaklı elde edilecek zaman serilerinin benzer havzalara göre farklı olması beklenmektedir. Bu nedenle bilgi teorisi yaklaşımına uygundur. Bununla birlikte mevcut durumun yetersiz veya kısmi olarak yetersiz olduğu durumlarda istasyon sayısını arttıracak bir çalışma olarak da kullanılabilecektir. Ayrıca yağış parametresinin dağılımı benzer olacak şekilde kabul edildiğinden yöntem küçük alanlarda pratik olarak uygulanabilmektedir. Tüm bu sebepler yöntemin avantajları olarak sayılabilmektedir.

Geliştirilen yöntem uygulamasında kullanılan potansiyel istasyon sayısının artması ile beraber çözüm yönteminde değişikliğe gidilmesi süreci daha verimli etkileyecektir. Çizelge 4.9 incelendiğinde potansiyel istasyon sayısının artması ile işlem süresinin arttığı

gözlemlenmiştir. Bu nedenle potansiyel istasyon sayılarının yüksek olduğu durumlarda “4.5.2. Amaç fonksiyonları ve kısıtlar” başlığı altında verilmiş olan yöntemlerden bazılarının uygun şartlar altında kullanılması işlem süresi problemini azaltabilecektir. Böylece yüksek işlem süresinin sonuçlara olan etkisi de azaltılabilecektir. Geliştirilen yöntem ve uygulanan MATLAB programı sayesinde belirlenen amaç doğrultusunda tüm çözüm kümesinin elde edilmesi sağlanmaktadır. Bölüm “4.6.Analizler” kısmında da bahsedildiği gibi geliştirilen yöntem için işlem süresi potansiyel istasyon sayısı arttıkça artmaktadır. Özellikle 13 potansiyel istasyondan sonra çözüm süreleri saatlere geçmekte, bu süreler sayı arttıkça artmaktadır. Potansiyel istasyon sayılarının analiz sürelerine doğrudan etkisinin olmasından kaynaklı potansiyel istasyon sayısının 15’i geçmesi durumunda analiz sürelerinin günleri bulacağı (analiz yapılan bilgisayarın işlemci gücüne göre de değişmekle birlikte bu çalışmadaki sürelerden yola çıkılarak söylenmiştir) öngörülmelidir. Böyle durumlar için doğrudan optimum değerleri veren yöntemlerin de kullanılması bu durumun dezavantajını ortadan kaldıracaktır.

Yöntem, potansiyel istasyonların temsil ettiği havzaların ilgili parametreler üzerinden değerlendirilmesi durumunda ortalama değerlerden farklılıklara odaklanmasından kaynaklı, istasyonları temsil eden havzaların birbirlerine benzer olduğu durumlarda yöntem doğası gereği seçim işlemini sağlıklı olarak gerçekleştiremeyecektir. Arazi özellikleri, havza morfometrisi ve diğer parametreler de beraber düşünüldüğünde bu durumun rassal olduğu ve doğada pek mümkün olmaması beklenmekle birlikte göz önüne de alınmasında fayda bulunmaktadır.

Elde edilen sonuçlar farklı bir amaç fonksiyonu hedefleyen bir yöntemin sonuçları olduğu için gözlem istasyonlarının optimizasyonu konusunda farklı amaç fonksiyonları ve kısıtlamalar ile birlikte özgün yöntemlerin geliştirilebileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada maliyet ve bilgi dağılımının farklılıklarını artırması amacı ile minimum varyans ve minimum istasyon sayısı aynı anda hedeflenmiştir.



KAYNAKLAR

- Aceves-De-Alba, J., Junez-Ferreira, H. E., Gonzalez-Trinidad, J., Cardona-Benavides, A. ve Bautista-Capetillo, C. F. (2019). Methodology for the Optimization of Groundwater Quality Monitoring Networks Oriented to Satisfy a Specific Spatial Coverage. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(5), 10861-10882.
- Agarwal, A., Marwan, N., Rathinasamy, M., Ozturk, U., Kurths, J. ve Merz, B. (2020). Optimal design of hydrometric station networks based on complex network analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2235-2251.
- Akay, H. (2018). *Türkiye'deki Akarsu Köprüleri İçin Güvenlik-Değerlendirme Yöntemi Geliştirilmesi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Al-Saif, H. (2010). Assessing flood vulnerability of Wadi Hanifa basin and surrounding area, central Saudi Arabia. *Journal of Environmental Hydrology*, 18, 1-12.
- Alfonso, L., Lobbrecht, A. ve Price, R. (2010a). Information theory-based approach for location of monitoring water level gauges in polders. *Water Resources Research*, 46(3), 1-14.
- Alfonso, L., Lobbrecht, A. ve Price, R. (2010b). Optimization of water level monitoring network in polder systems using information theory. *Water Resources Research*, 46, 1-13.
- Asadollahfardi, G., Heidarzadeh, N., Sekhavati, A. ve Asadi, M. (2021). Optimization of water quality monitoring stations using dynamic programming approach, a case study of the Mond Basin Rivers, Iran. *Environment Development and Sustainability*, 23(2), 2867-2881.
- Asode, A. N., Sreenivasa, A. ve Lakkundi, T. (2016). Quantitative morphometric analysis in the hard rock Hirehalla sub-basin, Bellary and Davanagere Districts, Karnataka, India using RS and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-14.
- Babaiban, E. (2020). *Morfometrik Parametreler Yardımıyla Olası Havza Taşkın Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Doğu Akdeniz Havzası Örneği*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Baran, T., Harmancioglu, N. B., Cetinkaya, C. P. ve Barbaros, F. (2017). An Extension to the Revised Approach in the Assessment of Informational Entropy. *Entropy*, 19(12), 1-18.
- Bashir, B. ve Als Salman, A. (2024). Morphometric Characterization and Dual Analysis for Flash Flood Hazard Assessment of Wadi Al-Lith Watershed, Saudi Arabia. *Water*, 16(22), 1-21.
- Boisvert, J., El-Jabi, N., El Adlouni, S. E., Caissie, D. ve Thiombiano, A. N. (2017). New Brunswick hydrometric network analysis and rationalization. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(10), 829-837.

- Bütün, L. ve Koçyiğit, Ö. (2024). *Hidrolojide Optimizasyon Uygulamaları ve Kullanım Alanları*. İnşaat Mühendisliğinde Güncel Araştırmalar 28-50, Bidge Yayınları.
- Cameron, K. ve Hunter, P. (2002). Using spatial models and kriging techniques to optimize long-term ground-water monitoring networks: a case study. *Environmetrics*, 13(5-6), 629-656.
- Cassel, K. W. (2021). *Matrix, Numerical, and Optimization Methods in Science and Engineering*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Chebbi, A., Bargaoui, Z. K., Abid, N. ve Cunha, M. D. (2017). Optimization of a hydrometric network extension using specific flow, kriging and simulated annealing. *Journal of Hydrology*, 555, 971-982.
- Cohon, J. L. ve Marks, D. H. (1975). A review and evaluation of multiobjective programming techniques. *Water Resources Research*, 11(2), 208-220.
- Coulibaly, P., Samuel, J., Pietroniro, A. ve Harvey, D. (2013). Evaluation of Canadian National Hydrometric Network density based on WMO 2008 standards. *Canadian Water Resources Journal*, 38(2), 159-167.
- Çetinkaya, C. P., Fıstıkoğlu, O., Fedra, K. ve Harmancıoğlu, N. B. (2008). Optimization methods applied for sustainable management of water-scarce basins. *Journal of Hydroinformatics*, 10(1), 69-95.
- Çetinkaya, C. P. ve Harmancıoğlu, N. B. (2014). Reduction of streamflow monitoring networks by a reference point approach. *Journal of Hydrology*, 512, 263-273.
- Çıtak, S. ve Kılıç, O. M. (2023). Yukarı Çekerek Havzası'nın Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Jeomorfometrik Analizi. 1(4), 262-279.
- Das, I. ve Dennis, J. E. (1998). Normal-boundary intersection: A new method for generating the Pareto surface in nonlinear multicriteria optimization problems. *SIAM journal on optimization*, 8(3), 631-657.
- Davis, D. R., Duckstein, L. ve Krzysztofowicz, R. (1979). The worth of hydrologic data for nonoptimal decision making. *Water Resources Research*, 15(6), 1733-1742.
- de Almeida, R. G. B., Lamparelli, M. C., Dodds, W. K. ve Cunha, D. G. F. (2021). Spatial optimization of the water quality monitoring network in Sao Paulo State (Brazil) to improve sampling efficiency and reduce bias in a developing sub-tropical region. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 11374-11392.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. ve Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.
- Eastman, W. L. (1958). *Linear programming with pattern constraints*. Harvard University, Cambridge.
- Engineering, B. o. P. I. S. a. A. (1951). *Soil Survey Manual*, Agricultural Research Administration, United States Department of Agriculture.

- Farhan, Y. ve Anaba, O. (2016). Flash flood risk estimation of Wadi Yutum (Southern Jordan) watershed using GIS based morphometric analysis and remote sensing techniques. *Open Journal of Modern Hydrology*, 6(2), 79-100.
- Francisque, A., Rodriguez, M. J., Sadiq, R., Miranda, L. F. ve Proulx, F. (2009). Prioritizing monitoring locations in a water distribution network: a fuzzy risk approach. *Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua*, 58(7), 488-509.
- Guo, Y., Han, H., Nones, M., Xu, W. ve Liu, S. (2023). *Information Entropy Theory-Based Optimizing of Gauge Networks for Hydrological Modelling—A Case Study in the Loess Plateau, China*. International School of Hydraulics 167-181, Springer.
- Hailegeorgis, T. T., Abdella, Y. S., Alfredsen, K. ve Kolberg, S. (2015). Evaluation of Regionalization Methods for Hourly Continuous Streamflow Simulation Using Distributed Models in Boreal Catchments. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(11).
- Halley, M. C., White, S. O. ve Watkins, E. W. (2000). *ArcView GIS extension for estimating curve numbers*. Paper presented at the ESRI User Conference.
- Halverson, M. J. ve Fleming, S. W. (2015). Complex network theory, streamflow, and hydrometric monitoring system design. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(7), 3301-3318.
- Hancı, M. (2023). *Burdur Havzası Yeraltı Suyu Potansiyel Bölgelerinin Morfometrik Analiz ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemleriyle Önceliklendirilmesi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hannaford, J., Holmes, M. G. R., Laizé, C. L. R., Marsh, T. J. ve Young, A. R. (2013). Evaluating hydrometric networks for prediction in ungauged basins: a new methodology and its application to England and Wales. *Hydrology Research*, 44(3), 401-418.
- Harmancioglu, N. B. ve Alpaslan, N. (1994). Basic Approaches in Design of Water-Quality Monitoring Networks. *Water Science and Technology*, 30(10), 49-56.
- Harmancıoğlu, N. B. ve Alpaslan, N. (1992). Water-Quality Monitoring Network Design - a Problem of Multiobjective Decision-Making. *Water Resources Bulletin*, 28(1), 179-192.
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions, American geophysical union*, 13(1), 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370.
- Husain, T. (1989). Hydrologic Uncertainty Measure and Network Design. *Water Resources Bulletin*, 25(3), 527-534.

- Hynds, P. D., Nasr, A. E. ve O'Dwyer, J. (2019). Evaluation of hydrometric network efficacy and user requirements in the Republic of Ireland via expert opinion and statistical analysis. *Journal of Hydrology*, 574, 851-861.
- Jenson, S. K. ve Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(11), 1593-1600.
- Ji, X. H., Pan, Y., Jia, G. Q. ve Fang, W. D. (2021). A neural network-based prediction model in water monitoring networks. *Water Supply*, 21(5), 2347-2356.
- Keum, J., Awol, F. S., Ursulak, J. ve Coulibaly, P. (2019). Introducing the Ensemble-Based Dual Entropy and Multiobjective Optimization for Hydrometric Network Design Problems: EnDEMO. *Entropy*, 21(10), 1-16.
- Keum, J. ve Coulibaly, P. (2017a). Information theory-based decision support system for integrated design of multivariable hydrometric networks. *Water Resources Research*, 53(7), 6239-6259.
- Keum, J. ve Coulibaly, P. (2017b). Sensitivity of Entropy Method to Time Series Length in Hydrometric Network Design. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(7), 1-13.
- Keum, J., Kornelsen, K. C., Leach, J. M. ve Coulibaly, P. (2017). Entropy Applications to Water Monitoring Network Design: A Review. *Entropy*, 19(11), 1-21.
- Koçyiğit, M. ve Akay, H. (2018). Morfometrik parametreler yardımıyla havzada muhtemel taşkın riskinin tahmin edilmesi: Akçay Havzası örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1321-1332.
- Koçyiğit, M., Akay, H. ve Babaiban, E. (2021). Evaluation of morphometric analysis of flash flood potential of Eastern Mediterranean Basin using principle component analysis. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(3), 1670-1685.
- Kovacs, J., Kovacs, S., Hatvani, I. G., Magyar, N., Tanos, P., Korponai, J. ve Blaschke, A. P. (2015). Spatial Optimization of Monitoring Networks on the Examples of a River, a Lake-Wetland System and a Sub-Surface Water System. *Water Resources Management*, 29(14), 5275-5294.
- Laizé, C. L. R., Marsh, T. J. ve Morris, D. G. (2008). Catchment descriptors to optimise hydrometric networks. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 161(3), 117-125.
- Langbein, W. (1979). Overview of conference on hydrologic data networks. *Water Resources Research*, 15(6), 1867-1871.
- Leach, J. M., Kornelsen, K. C., Samuel, J. ve Coulibaly, P. (2015). Hydrometric network design using streamflow signatures and indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrology*, 529, 1350-1359.

- Li, C., Singh, V. P. ve Mishra, A. K. (2012). Entropy theory-based criterion for hydrometric network evaluation and design: Maximum information minimum redundancy. *Water Resources Research*, 48, 1-15.
- Li, H. S., Wang, D., Singh, V. P., Wang, Y. K., Wu, J. F., Wu, J. C., . . . Zhang, J. Y. (2020). Developing a dual entropy-transinformation criterion for hydrometric network optimization based on information theory and copulas. *Environmental Research*, 180, 1-17.
- Lictevout, E. ve Gocht, M. (2018). Hydrometric network design in hyper-arid areas: example of Atacama Desert (North Chile). *Hydrology Research*, 49(4), 1208-1220.
- Malik, A., Kumar, A., Kushwaha, D. P., Kisi, O., Salih, S. Q., Al-Ansari, N. ve Yaseen, Z. M. (2019). The implementation of a hybrid model for hilly sub-watershed prioritization using morphometric variables: Case study in India. *Water*, 11(6), 1-20.
- Malik, M. I., Bhat, M. S. ve Kuchay, N. A. (2011). Watershed based drainage morphometric analysis of Lidder catchment in Kashmir valley using geographical information system. *Recent Research in Science and Technology*, 3(4), 118-126.
- Martinez, S. I., Merwade, V. ve Maidment, D. (2010). Linking GIS, Hydraulic Modeling, and Tabu Search for Optimizing a Water Level-Monitoring Network in South Florida. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(2), 167-176.
- Masoud, M., Niyazi, B., Elfeki, A. ve Zaidi, S. (2014). *Mapping of flash flood hazard prone areas based on integration between physiographic features and GIS techniques (case study of Wadi Fatimah, Saudi Arabia)*. 6th International conference on water resources and the arid environments (ICWRAE 6). 334-347.
- Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied mathematics and computation*, 213(2), 455-465.
- Mavrotas, G. ve Diakoulaki, D. (2005). Multi-criteria branch and bound: A vector maximization algorithm for mixed 0-1 multiple objective linear programming. *Applied mathematics and computation*, 171(1), 53-71.
- Messac, A. ve Mattson, C. A. (2004). Normal constraint method with guarantee of even representation of complete Pareto frontier. *AIAA journal*, 42(10), 2101-2111.
- Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the clinch mountain area. *Virginia and Tennessee*, 2.
- Mishra, A. K. ve Coulibaly, P. (2009). Developments in Hydrometric Network Design: A Review. *Reviews of Geophysics*, 47, 1-24.
- Mishra, A. K. ve Coulibaly, P. (2010). Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. *Journal of Hydrology*, 380(3-4), 420-437.
- Mishra, A. K. ve Coulibaly, P. (2014). Variability in Canadian Seasonal Streamflow Information and Its Implication for Hydrometric Network Design. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(8), 1-13.

- Montgomery, D. ve Runger, G. (2002). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (3. Baskı). Arizona State University.
- Mueller-Gritschneider, D., Graeb, H. ve Schlichtmann, U. (2009). A successive approach to compute the bounded Pareto front of practical multiobjective optimization problems. *SIAM journal on optimization*, 20(2), 915-934.
- Murtojarvi, M., Suominen, T., Uusipaikka, E. ve Nevalainen, O. S. (2011). Optimising an observational water monitoring network for Archipelago Sea, South West Finland. *Computers & Geosciences*, 37(7), 844-854.
- Organization, W. M. (2008). *Guide to Hydrological Practice*, World Meteorological Organization.
- Ozkul, S., Harmancioglu, N. B. ve Singh, V. P. (2000). Entropy-Based Assessment of Water Quality Monitoring Networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(1), 90-100.
- Özdemir, H. (2011). Havza Morfometrisi ve Taşkınlar, Fiziki Coğrafya Araştırmaları; Sistematik ve Bölgesel. *İstanbul: Türk Coğrafya Kurumu Yayınları*, 457-474.
- Özer, Z. (1990). Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar (Teknik Rehber). *Hydrological and Hydraulic Principles in Designing Water Structures-Technical Guide*, 1-714.
- Öztürk, D. ve Batuk, F. (2011). SCS yüzey akış eğri numarasının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. TUFUAB V. Teknik Sempozyumu. 23-25.
- Patel, D. P., Gajjar, C. A. ve Srivastava, P. K. (2013). Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective. *Environmental earth sciences*, 69(8), 2643-2656.
- Patton, P. C. (1988). Drainage basin morphometry and floods. *Flood Geomorphology*, 51-64.
- Pehlivanoğlu, V. Y. (2017). *Optimizasyon: Temel Kavramlar & Yöntemler* (1. Baskı). Ankara.
- Pelletier, P. M. ve Simonovic, S. P. (1988). Initial Attempt to Optimize the Operation of a Hydrometric Network Using Branch and Bound Algorithm. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 15(4), 717-725.
- Pham, H. V. ve Tsai, F. T. C. (2016). Optimal observation network design for conceptual model discrimination and uncertainty reduction. *Water Resources Research*, 52(2), 1245-1264.
- Pozdnoukhov, A. ve Kanevski, M. (2006). Monitoring network optimisation for spatial data classification using support vector machines. *International Journal of Environment and Pollution*, 28(3-4), 465-484.
- Samuel, J., Coulibaly, P. ve Kollat, J. (2013). CRDEMO: Combined regionalization and dual entropy-multiobjective optimization for hydrometric network design. *Water Resources Research*, 49(12), 8070-8089.

- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.
- Simonovic, S. P., Pelletier, P. M. ve Barlishen, K. D. (1988). Optimization of the Hydrometric Network Operation by a Heuristic Traveling Salesman Algorithm. *Water Resources Bulletin*, 24(6), 1185-1192.
- Singh, V. P. (2013). *Entropy theory and its application in environmental and water engineering*, John Wiley & Sons.
- Soong, T. T. (2004). *Fundamentals of probability and statistics for engineers*, John Wiley & Sons.
- Sreeparvathy, V. ve Srinivas, V. V. (2020). A fuzzy entropy approach for design of hydrometric monitoring networks. *Journal of Hydrology*, 586, 1-18.
- Stosic, T., Stosic, B. ve Singh, V. P. (2017). Optimizing streamflow monitoring networks using joint permutation entropy. *Journal of Hydrology*, 552, 306-312.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. *Handbook of applied hydrology*.
- Şahin, İ. (2022). *Morfometrik Parametrelerin Taşkın Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ursulak, J. ve Coulibaly, P. (2021). Integration of hydrological models with entropy and multi-objective optimization based methods for designing specific needs streamflow monitoring networks. *Journal of Hydrology*, 593, 1-16.
- Usl, N. (2008). *Mühendislik hidrolojisi*. Ankara, ODTÜ Yayıncılık.
- Utlü, M. ve Özdemir, H. (2018). Havza morfometrik özelliklerinin taşkın üretmedeki rolü Biga Çayı havzası örneği. *Coğrafya Dergisi*(36), 49-62.
- Werstuck, C. (2016). *Dual Entropy Multi-Objective Optimization Application to Hydrometric Network Design* McMaster Üniversitesi, Hamilton.
- Werstuck, C. ve Coulibaly, P. (2017). Hydrometric network design using dual entropy multi-objective optimization in the Ottawa River Basin. *Hydrology Research*, 48(6), 1639-1651.
- Werstuck, C. ve Coulibaly, P. (2018). Assessing Spatial Scale Effects on Hydrometric Network Design Using Entropy and Multi-objective Methods. *Journal of the American Water Resources Association*, 54(1), 275-286.

- Winston, W. L. (2004). *Operations research: applications and algorithm*, Thomson Learning, Inc.
- Wright, S. J. ve Nocedal, J. (2006). *Numerical optimization* (2. Baskı).
- Xu, H. L., Xu, C. Y., Saelthun, N. R., Xu, Y., Zhou, B. ve Chen, H. (2015). Entropy theory based multi-criteria resampling of rain gauge networks for hydrological modelling - A case study of humid area in southern China. *Journal of Hydrology*, 525, 138-151.
- Yang, Y. J. ve Burn, D. H. (1994). An Entropy Approach to Data-Collection Network Design. *Journal of Hydrology*, 157(1-4), 307-324.
- Yazdi, J. (2017). Optimization of hydrometric monitoring network in urban drainage systems using information theory. *Water Science and Technology*, 76(7), 1603-1613.





EKLER

Ek-1. Morfometrik Parametrelerin Değerlendirildiği Sonuç Çizelgesi

<u>Sıra</u>	<u>Varyans</u>	<u>Seçim Sayısı</u>	<u>Seçimler</u>						
1	13,2478	6	2	3	4	5	6	7	
2	10,2033	6	1	3	4	5	6	7	
3	16,4293	6	1	2	4	5	6	7	
4	9,89950	6	1	2	3	5	6	7	
5	9,86018	6	1	2	3	4	6	7	
6	11,7945	6	1	2	3	4	5	7	
7	13,7311	6	1	2	3	4	5	6	
8	9,49271	5	3	4	5	6	7	0	
9	11,4271	5	2	4	5	6	7	0	
10	18,2189	5	2	3	5	6	7	0	
11	11,6327	5	2	3	4	6	7	0	
12	7,70267	5	2	3	4	5	7	0	
13	13,5400	5	2	3	4	5	6	0	
14	5,78588	5	1	4	5	6	7	0	
15	7,86942	5	1	3	5	6	7	0	
16	0,53631	5	1	3	4	6	7	0	
17	0,77921	5	1	3	4	5	7	0	
18	5,75411	5	1	3	4	5	6	0	
19	5,72228	5	1	2	5	6	7	0	
20	7,60242	5	1	2	4	6	7	0	
21	4,08457	5	1	2	4	5	7	0	
22	2,50928	5	1	2	4	5	6	0	
23	7,99606	5	1	2	3	6	7	0	
24	6,79463	5	1	2	3	5	7	0	
25	1,98996	5	1	2	3	5	6	0	
26	0,97341	5	1	2	3	4	7	0	
27	5,88501	5	1	2	3	4	6	0	
28	4,02482	5	1	2	3	4	5	0	
29	11,8692	4	4	5	6	7	0	0	
30	15,8138	4	3	5	6	7	0	0	
31	9,62743	4	3	4	6	7	0	0	
32	7,98871	4	3	4	5	7	0	0	
33	12,7941	4	3	4	5	6	0	0	
34	15,7193	4	2	5	6	7	0	0	
35	13,6276	4	2	4	6	7	0	0	
36	10,3175	4	2	4	5	7	0	0	
37	12,2117	4	2	4	5	6	0	0	
38	16,8212	4	2	3	6	7	0	0	
39	14,5405	4	2	3	5	7	0	0	
40	14,9995	4	2	3	5	6	0	0	
41	9,02612	4	2	3	4	7	0	0	
42	13,8034	4	2	3	4	6	0	0	

Ek-1. (devam) Morfometrik Parametrelerin Değerlendirildiği Sonuç Çizelgesi

<u>Sıra</u>	<u>Varyans</u>	<u>Seçim Sayısı</u>	<u>Seçimler</u>					
43	11,2300	4	2	3	4	5	0	0
44	8,61226	4	1	5	6	7	0	0
45	6,18871	4	1	4	6	7	0	0
46	4,73318	4	1	4	5	7	0	0
47	6,24412	4	1	4	5	6	0	0
48	7,28969	4	1	3	6	7	0	0
49	6,86367	4	1	3	5	7	0	0
50	6,93933	4	1	3	5	6	0	0
51	1,01730	4	1	3	4	7	0	0
52	5,41130	4	1	3	4	6	0	0
53	4,69251	4	1	3	4	5	0	0
54	9,47590	4	1	2	6	7	0	0
55	7,37844	4	1	2	5	7	0	0
56	4,54290	4	1	2	5	6	0	0
57	5,62684	4	1	2	4	7	0	0
58	7,10965	4	1	2	4	6	0	0
59	4,71941	4	1	2	4	5	0	0
60	7,00627	4	1	2	3	7	0	0
61	7,05379	4	1	2	3	6	0	0
62	5,69307	4	1	2	3	5	0	0
63	4,83700	4	1	2	3	4	0	0
64	14,6291	3	5	6	7	0	0	0
65	11,6193	3	4	6	7	0	0	0
66	9,81805	3	4	5	7	0	0	0
67	12,1273	3	4	5	6	0	0	0
68	13,9365	3	3	6	7	0	0	0
69	12,7144	3	3	5	7	0	0	0
70	14,2163	3	3	5	6	0	0	0
71	7,77925	3	3	4	7	0	0	0
72	11,7102	3	3	4	6	0	0	0
73	10,3234	3	3	4	5	0	0	0
74	15,6499	3	2	6	7	0	0	0
75	13,4875	3	2	5	7	0	0	0
76	13,3519	3	2	5	6	0	0	0
77	10,8557	3	2	4	7	0	0	0
78	13,1491	3	2	4	6	0	0	0
79	10,8221	3	2	4	5	0	0	0
80	13,3296	3	2	3	7	0	0	0
81	14,8156	3	2	3	6	0	0	0
82	13,0677	3	2	3	5	0	0	0
83	10,9396	3	2	3	4	0	0	0
84	8,87810	3	1	6	7	0	0	0

Ek-1. (devam) Morfometrik Parametrelerin Değerlendirildiği Sonuç Çizelgesi

<u>Sıra</u>	<u>Varyans</u>	<u>Seçim Sayısı</u>	<u>Seçimler</u>					
85	7,75900	3	1	5	7	0	0	0
86	7,40773	3	1	5	6	0	0	0
87	4,94045	3	1	4	7	0	0	0
88	7,01825	3	1	4	6	0	0	0
89	5,73447	3	1	4	5	0	0	0
90	6,23726	3	1	3	7	0	0	0
91	7,50772	3	1	3	6	0	0	0
92	6,80304	3	1	3	5	0	0	0
93	4,48822	3	1	3	4	0	0	0
94	8,29335	3	1	2	7	0	0	0
95	7,92626	3	1	2	6	0	0	0
96	6,28139	3	1	2	5	0	0	0
97	6,26988	3	1	2	4	0	0	0
98	6,91597	3	1	2	3	0	0	0
99	13,8054	2	6	7	0	0	0	0
100	12,4604	2	5	7	0	0	0	0
101	13,1695	2	5	6	0	0	0	0
102	9,60272	2	4	7	0	0	0	0
103	11,8665	2	4	6	0	0	0	0
104	10,4160	2	4	5	0	0	0	0
105	11,5193	2	3	7	0	0	0	0
106	13,2664	2	3	6	0	0	0	0
107	12,1866	2	3	5	0	0	0	0
108	9,65136	2	3	4	0	0	0	0
109	13,1447	2	2	7	0	0	0	0
110	13,8438	2	2	6	0	0	0	0
111	12,1623	2	2	5	0	0	0	0
112	11,1011	2	2	4	0	0	0	0
113	12,6013	2	2	3	0	0	0	0
114	7,70307	2	1	7	0	0	0	0
115	8,26412	2	1	6	0	0	0	0
116	7,25027	2	1	5	0	0	0	0
117	6,06960	2	1	4	0	0	0	0
118	6,81647	2	1	3	0	0	0	0
119	7,61319	2	1	2	0	0	0	0
120	11,8465	1	7	0	0	0	0	0
121	12,8847	1	6	0	0	0	0	0
122	11,7439	1	5	0	0	0	0	0
123	10,1922	1	4	0	0	0	0	0
124	11,4655	1	3	0	0	0	0	0
125	12,2337	1	2	0	0	0	0	0
126	7,58971	1	1	0	0	0	0	0

Ek-2. Eğri Numaraları ve Morfometrik Parametrelerin Değerlendirildiği Sonuç Çizelgesi

<u>Sıra</u>	<u>Varyans</u>	<u>Seçim Sayısı</u>	<u>Seçimler</u>						
1	232,5968	6	2	3	4	5	6	7	
2	438,1831	6	1	3	4	5	6	7	
3	458,42	6	1	2	4	5	6	7	
4	420,2322	6	1	2	3	5	6	7	
5	446,7062	6	1	2	3	4	6	7	
6	464,2479	6	1	2	3	4	5	7	
7	439,0179	6	1	2	3	4	5	6	
8	129,7678	5	3	4	5	6	7	0	
9	152,7755	5	2	4	5	6	7	0	
10	127,662	5	2	3	5	6	7	0	
11	144,0668	5	2	3	4	6	7	0	
12	158,6976	5	2	3	4	5	7	0	
13	142,3172	5	2	3	4	5	6	0	
14	6,635965	5	1	4	5	6	7	0	
15	8,124958	5	1	3	5	6	7	0	
16	0,828992	5	1	3	4	6	7	0	
17	2,524254	5	1	3	4	5	7	0	
18	5,899273	5	1	3	4	5	6	0	
19	7,760045	5	1	2	5	6	7	0	
20	7,747586	5	1	2	4	6	7	0	
21	4,243776	5	1	2	4	5	7	0	
22	2,801967	5	1	2	4	5	6	0	
23	9,091231	5	1	2	3	6	7	0	
24	10,13074	5	1	2	3	5	7	0	
25	2,775842	5	1	2	3	5	6	0	
26	1,58181	5	1	2	3	4	7	0	
27	5,910619	5	1	2	3	4	6	0	
28	4,908426	5	1	2	3	4	5	0	
29	128,5241	4	4	5	6	7	0	0	
30	118,0243	4	3	5	6	7	0	0	
31	122,0727	4	3	4	6	7	0	0	
32	129,3287	4	3	4	5	7	0	0	
33	123,5485	4	3	4	5	6	0	0	
34	128,0878	4	2	5	6	7	0	0	
35	135,3733	4	2	4	6	7	0	0	
36	140,3186	4	2	4	5	7	0	0	
37	132,3976	4	2	4	5	6	0	0	
38	124,8089	4	2	3	6	7	0	0	
39	131,7735	4	2	3	5	7	0	0	
40	121,2244	4	2	3	5	6	0	0	
41	135,265	4	2	3	4	7	0	0	
42	129,9087	4	2	3	4	6	0	0	

Ek-2. (devam) Eğri Numaraları ve Morfometrik Parametrelerin Değerlendirildiği Sonuç Çizelgesi

<u>Sıra</u>	<u>Varyans</u>	<u>Seçim Sayısı</u>	<u>Seçimler</u>						
43	135,9659	4	2	3	4	5	0	0	0
44	10,00932	4	1	5	6	7	0	0	0
45	6,76113	4	1	4	6	7	0	0	0
46	5,957331	4	1	4	5	7	0	0	0
47	6,816535	4	1	4	5	6	0	0	0
48	8,02008	4	1	3	6	7	0	0	0
49	9,235532	4	1	3	5	7	0	0	0
50	7,466699	4	1	3	5	6	0	0	0
51	2,193358	4	1	3	4	7	0	0	0
52	5,617282	4	1	3	4	6	0	0	0
53	5,925312	4	1	3	4	5	0	0	0
54	10,93283	4	1	2	6	7	0	0	0
55	9,837581	4	1	2	5	7	0	0	0
56	5,927935	4	1	2	5	6	0	0	0
57	6,032521	4	1	2	4	7	0	0	0
58	7,315632	4	1	2	4	6	0	0	0
59	5,312964	4	1	2	4	5	0	0	0
60	9,246123	4	1	2	3	7	0	0	0
61	7,901196	4	1	2	3	6	0	0	0
62	7,917779	4	1	2	3	5	0	0	0
63	5,511491	4	1	2	3	4	0	0	0
64	108,1816	3	5	6	7	0	0	0	0
65	110,4556	3	4	6	7	0	0	0	0
66	113,6612	3	4	5	7	0	0	0	0
67	110,0494	3	4	5	6	0	0	0	0
68	104,8854	3	3	6	7	0	0	0	0
69	109,2268	3	3	5	7	0	0	0	0
70	104,1367	3	3	5	6	0	0	0	0
71	109,3668	3	3	4	7	0	0	0	0
72	107,1976	3	3	4	6	0	0	0	0
73	111,0286	3	3	4	5	0	0	0	0
74	112,2758	3	2	6	7	0	0	0	0
75	115,3174	3	2	5	7	0	0	0	0
76	109,0231	3	2	5	6	0	0	0	0
77	117,2783	3	2	4	7	0	0	0	0
78	113,9049	3	2	4	6	0	0	0	0
79	116,4361	3	2	4	5	0	0	0	0
80	112,8075	3	2	3	7	0	0	0	0
81	107,9559	3	2	3	6	0	0	0	0
82	111,6229	3	2	3	5	0	0	0	0
83	114,3706	3	2	3	4	0	0	0	0
84	10,04719	3	1	6	7	0	0	0	0

Ek-2. (devam) Eğri Numaraları ve Morfometrik Parametrelerin Değerlendirildiği Sonuç Çizelgesi

<u>Sıra</u>	<u>Varyans</u>	<u>Seçim Sayısı</u>	<u>Seçimler</u>						
85	9,854933	3	1	5	7	0	0	0	0
86	8,499512	3	1	5	6	0	0	0	0
87	5,890596	3	1	4	7	0	0	0	0
88	7,456101	3	1	4	6	0	0	0	0
89	6,753415	3	1	4	5	0	0	0	0
90	8,070495	3	1	3	7	0	0	0	0
91	8,157729	3	1	3	6	0	0	0	0
92	8,590872	3	1	3	5	0	0	0	0
93	5,413343	3	1	3	4	0	0	0	0
94	10,1388	3	1	2	7	0	0	0	0
95	9,021823	3	1	2	6	0	0	0	0
96	8,155198	3	1	2	5	0	0	0	0
97	6,798546	3	1	2	4	0	0	0	0
98	8,599666	3	1	2	3	0	0	0	0
99	95,11373	2	6	7	0	0	0	0	0
100	97,33162	2	5	7	0	0	0	0	0
101	93,84327	2	5	6	0	0	0	0	0
102	97,41921	2	4	7	0	0	0	0	0
103	95,80025	2	4	6	0	0	0	0	0
104	97,69147	2	4	5	0	0	0	0	0
105	94,79618	2	3	7	0	0	0	0	0
106	92,23114	2	3	6	0	0	0	0	0
107	94,84928	2	3	5	0	0	0	0	0
108	95,44043	2	3	4	0	0	0	0	0
109	99,80112	2	2	7	0	0	0	0	0
110	96,46538	2	2	6	0	0	0	0	0
111	98,25168	2	2	5	0	0	0	0	0
112	100,0082	2	2	4	0	0	0	0	0
113	97,14275	2	2	3	0	0	0	0	0
114	9,387096	2	1	7	0	0	0	0	0
115	9,212237	2	1	6	0	0	0	0	0
116	8,928839	2	1	5	0	0	0	0	0
117	6,893227	2	1	4	0	0	0	0	0
118	8,284182	2	1	3	0	0	0	0	0
119	9,112326	2	1	2	0	0	0	0	0
120	85,73766	1	7	0	0	0	0	0	0
121	83,79618	1	6	0	0	0	0	0	0
122	85,22503	1	5	0	0	0	0	0	0
123	85,63416	1	4	0	0	0	0	0	0
124	83,80972	1	3	0	0	0	0	0	0
125	86,94122	1	2	0	0	0	0	0	0
126	8,996164	1	1	0	0	0	0	0	0



Gazili olmak ayrıcalıktır