

**JEOİSTATİSTİKSEL NEHİR AĞI MODELLERİ KULLANILARAK SU
KALİTESİ GÖSTERGE PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI
ANALİZİ VE TAHMİNLENMESİ: ÇORUH VE KÜÇÜK MENDERES NEHİR
HAVZALARI ÖRNEKLEMİ**

Alper UĞURLUOĞLU

Doktora Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2022

24/01/2022

DANIŞMAN ONAYI

Danışmanlığını yürüttüğüm Doktora öğrencisi Alper UĞURLUOĞLU, JEOİSTATİSTİKSEL NEHİR AĞI MODELLERİ KULLANILARAK SU KALİTESİ GÖSTERGE PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ VE TAHMİNLENMESİ: ÇORUH VE KÜÇÜK MENDERES NEHİR HAVZALARI ÖRNEKLEMİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımda incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

ÖZET

JEOİSTATİSTİKSEL NEHİR AĞI MODELLERİ KULLANILARAK SU KALİTESİ GÖSTERGE PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ VE TAHMİNLENMESİ: ÇORUH VE KÜÇÜK MENDERES NEHİR HAVZALARI ÖRNEKLEMİ

Alper UĞURLUOĞLU

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

Bu çalışmada, son yıllarda geleneksel jeoistatistiksel metodolojilere yeni bir soluk getiren, hidrolojik mesafe ve topolojik veri yapısında memba-mansap ilişkilerine dayalı nehir ağı modelleri Türkiye'nin iki farklı özellikteki havzasında uygulanarak ölçülen su kalitesi gösterge parametrelerinin karşılaştırmalı analizi, tahminlenmesi ve havza bazlı mekânsal karakterizasyonu gerçekleştirilerek modellerin kullanılabilirliği amaçlanmıştır. Küçük Menderes ve Çoruh Nehir Havzalarında 7 farklı su kalitesi gösterge parametresi; torgegram, korelogram, temel bileşen analizi ve kapsamlı tarama algoritması çerçevesinde değerlendirilerek su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, alkalinite ve klorür parametreleri modellenmiştir. Mekânsal ağırlıklandırma için üretilen iki katkı fonksiyonu karşılaştırılmış olup yüzeysel akış eğri numaralarından elde edilen katkı fonksiyon değerlerinin model doğruluklarını olumlu etkilediği görülmüştür. Hidrolojik mesafelere dayalı otokorelasyon, ortak mekânsal değişkenlerin varyansa etkisi ve tahminlere ait ortalama standart hata değerleri açısından antropojenik faaliyetlerin Küçük Menderes Nehir Ağı'nda Çoruh Nehir Ağı'ndan daha etkili olduğunu kanıtlamıştır. Tahmin sonuçlarının ölçüm noktaları bazında RMSPE hata değerleri; Küçük Menderes Nehir Ağı'nda alkalinite ve klorür parametrelerini, Çoruh Nehir Ağı'nda ise su sıcaklığı ve çözünmüş oksijen parametrelerini öne çıkartmaktadır. Her iki nehir ağında alkalinite ve su sıcaklığı tahminlerinin, klorür ve çözünmüş oksijen tahminlerine göre doğruluğunun daha yüksek olduğu ortaya koyulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Jeoistatistik, Mekânsal nehir ağı modeli, Su kalitesi, Nehir havzası, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS AND PREDICTION OF WATER QUALITY INDICATOR PARAMETERS BY USING GEOSTATISTICAL RIVER NETWORK MODELS: A CASE STUDY CORUH AND KUCUK MENDERES RIVER BASINS

Alper UĞURLUOĞLU

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hakan UYGUÇGİL

Within the scope of this study, by using river network models based on hydrologic distance and upstream-downstream relations that have brought a new breath to classical geostatistical methodologies in recent years, the comparative analysis, prediction, and basin-based spatial characterization of the water quality indicator parameters measured in two distinct basins of Turkey has been carried out. Water temperature, dissolved oxygen, alkalinity, and chloride water quality indicator parameters were modeled in Kucuk Menderes and Coruh River Basins by evaluating 7 parameters within the framework of toregram, correlogram, principal component analysis, and exhaustive search algorithm. Additive function values produced by runoff curve numbers for spatial weighting, which is one of the model components, were used as comparatively and it was found that they affect the model accuracy positively. It has been approved that anthropogenic activities are more effective in Kucuk Menderes River Network than Coruh River Network in terms of autocorrelation based on hydrological distances, spatial covariates, the effect of model component and the mean standard error values of the predictions. RMSPE error values of prediction results on the basis of sampling sites highlight alkalinity and chloride parameters in Kucuk Menderes River network and water temperature and dissolved oxygen parameters in Coruh River network. It has been found that alkalinity and water temperature estimates are more accurate in both river networks than the estimates of chloride and dissolved oxygen.

Keywords: Geostatistics, Spatial river network model, Water quality, River basin, Geographic information system (GIS).

TEŞEKKÜR

Lisans yaşıntımdan bu yana Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri konularına ilgimi katlayarak arttıran, akademik yaşamıma bu alanda yön vermeme ilham olan, akademik derslerinin yanında hayata dair ufkumu açan, tez çalışmam süresince beni sınırlamayıp özgür bir araştırma ortamı yaratmanın yanında motive eden, desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL'e,

Tez çalışmam süresince kıymetli bilgi, birikim ve yönlendirmeleriyle desteklerini her daim hissettiğim hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Arda ŞORMAN ve Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN'a,

Özverili dostluğu, derin sevgisi, mesleğindeki saygı uyandırıcı çalışma disiplini ve hayatımın her alanında koşulsuz desteği ile beni bir an yalnız bırakmayan kadim dostum, kardeşim Dr. Mesut ÇİFTÇİ'ye,

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili anneme, babama ve kardeşime,

Uzun ve meşakkatli bir süreç olan doktora çalışmam içerisinde yollarımızı birleştirdiğimiz ve hayatıma girdiği andan itibaren her zaman yanımda olup sevgi, ilgi ve anlayış gösteren, zamanı kullanma konusunda hayatımı kolaylaştırmanın yanı sıra mesleki bilgisi ve sabrıyla tez çalışmama her türlü desteği veren, bana destek olan, varlığından güç aldığım değerli eşim Özge UĞURLUOĞLU'na,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Alper UĞURLUOĞLU

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Alper UĞURLUOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
1.GİRİŞ	1
2. TEORİK BAĞLAM VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Su Kalitesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	5
2.2. Su Kalitesinde Modelleme	10
2.2.1. Su kalitesinde istatistiksel modelleme çalışmaları.....	12
2.2.2. Su kalitesi ve jeostatistik.....	13
2.2.3. Mekânsal nehir ağı modelleri.....	21
3. METODOLOJİ.....	33
3.1. CBS Ortamında Mekânsal Nehir Ağı Veri Seti Üretilmesi.....	37
3.1.1.1. Numerik çerçeve ve indisleme	37
3.1.2. Ağ topolojisinin kontrolü	39
3.1.3. Su toplama alanlarının oluşturulması	40
3.1.4. Su toplama alanları katmanı özniteliklerinin hesaplanması.....	41
3.1.5. Kümülatif su toplama alanları özniteliklerinin hesaplanması.....	42
3.1.6. Gözlem ve tahmin noktalarının nehir ağına entegrasyonu	43

3.1.7. Gözlem ve tahmin noktalarına STA özniteliklerinin entegrasyonu	44
3.1.8. Hidrolojik mesafelerin hesaplanması	45
3.1.9. Nehir segmenti kısmi etkisinin (PI) hesaplanması	46
3.1.10. Katkı fonksiyonu değerlerinin hesaplanması	47
3.1.11. SSN modeli için üretilen verilerin formata uygun hale getirilmesi	49
3.2. Nehir Ağlarında Mekânsal İstatistiksel Modeller	49
3.2.1. Tail-up modeli.....	51
3.2.1.1. Tail-up modelinde mekânsal ağırlıklandırma	52
3.2.2. Tail-down modeli.....	54
3.2.3. Öklid mesafe modeli.....	56
3.2.4. Rassal etkiler modeli	57
3.2.5. Mekânsal doğrusal karma model.....	57
3.3. Nehir Ağlarında Keşifsel Mekânsal Veri Analizi.....	58
3.3.1. Torgegram.....	58
3.4. Mekânsal Modellerin Oluşturulması ve Seçimi	59
3.4.1. Modellerin değerlendirilmesi	60
3.5. Ortak Değişkenlerin Belirlenmesi ve Seçimi	61
3.5.1. Mekânsal değişkenlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi	61
3.5.2. Ortak değişkenlerin seçimi	65
4. ÇALIŞMA ALANI VE MATERYAL	66
4.1. Küçük Menderes Nehir Havzası	70
4.1.1. Yerüstü su kaynakları.....	70
4.1.2. Topografya	73
4.1.3. Arazi kullanımı	74
4.1.4. Jeolojik formasyon	78
4.1.5. İklim.....	79
4.1.6. Antropojenik etkiler	81
4.1.7. Su kalitesi ölçüm verileri	83
4.1.8. Mekânsal nehir ağı veri seti.....	83
4.2. Çoruh Havzası	86
4.2.1. Yerüstü su kaynakları.....	87
4.2.2. Topografya	88

4.2.3. Arazi kullanımı	90
4.2.4. Jeolojik formasyon	94
4.2.5. İklim.....	95
4.2.6. Antropojenik etkiler	97
4.2.7. Su kalitesi ölçüm verileri	99
4.2.8. Mekânsal nehir ağı veri seti.....	99
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	103
5.1. Küçük Menderes Nehir Ağı Mekânsal İstatistik Modeli.....	103
5.1.1. Hidrolojik mesafe matrisleri	103
5.1.2. Torgegramlar.....	104
5.1.3. Mekânsal ortak değişkenler	106
5.1.3.1. Korelogramlar.....	107
5.1.3.2. Temel bileşen analizi	109
5.1.3.3. Mekânsal ortak değişken seçimi	112
5.1.4. Model seçimi ve tahmin	117
5.1.4.1. Alkalinite	118
5.1.4.2. Klorür	120
5.1.4.3. Çözünmüş oksijen	122
5.1.4.4. Su sıcaklığı.....	124
5.2. Çoruh Nehir Ağı Mekânsal İstatistik Modeli	126
5.2.1. Hidrolojik mesafe matrisleri	127
5.2.2. Torgegramlar.....	128
5.2.3. Mekânsal ortak değişkenler	129
5.2.3.1. Korelogramlar.....	129
5.2.3.2. Temel bileşen analizi	131
5.2.3.3. Mekânsal ortak değişken seçimi	134
5.2.4. Model seçimi ve tahmin	140
5.2.4.1. Alkalinite	140
5.2.4.2. Klorür	142
5.2.4.3. Çözünmüş oksijen	145
5.2.4.4. Su sıcaklığı.....	147
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	150

6.1. Su Kalitesi Parametreleri bazında Mekansal Kovaryans Modellerinin ve Otokorelasyonun Değerlendirilmesi.....	151
6.2. Nehir Ağı Modellerinde Mekânsal Ağırlıklandırma Açısından Katkı Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi.....	153
6.3. Su Kalitesi Parametreleri – Model Bileşenleri Düzleminde Havzaların Karşılaştırmalı Mekânsal Karakterizasyonu	153
6.4. Nehir Ağı Üzerinde Ölçüm Olmayan Kollarda Su Kalitesi Parametre Tahminlerinin Değerlendirilmesi	156
6.5. Sonuçlar ve Öneriler	158
KAYNAKÇA.....	162
EKLER	172
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Ağ analizleri.....	35
Tablo 4.1. Mekânsal veri setleri özellikleri.....	67
Tablo 4.2. Arazi kullanımı- Hidrolojik toprak sınıfları - Eğri numaraları	69
Tablo 4.3. Küçük Menderes Nehir Havzası büyük toprak grubu sınıfları alan ve yüzdeleri.....	75
Tablo 4.4. Çoruh Havzası büyük toprak grubu sınıfları alan ve yüzdeleri	91
Tablo 5.1. Küçük Menderes Nehir Ağı ölçüm noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi	103
Tablo 5.2. Küçük Menderes Nehir Ağı tahmin noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi	104
Tablo 5.3. Ortak değişkenlere ait özellikler	106
Tablo 5.4. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite parametresi model seçimi	118
Tablo 5.5. Küçük Menderes Nehir Ağı klorür parametresi model seçimi	121
Tablo 5.6. Küçük Menderes Nehir Ağı çözünmüş oksijen parametresi model seçimi	123
Tablo 5.7. Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı parametresi model seçimi.....	125
Tablo 5.8. Çoruh Nehir Ağı ölçüm noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi	127
Tablo 5.9. Çoruh Nehir Ağı tahmin noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi	127
Tablo 5.10. Çoruh Nehir Ağı alkalinite parametresi model seçimi	141
Tablo 5.11. Çoruh Nehir Ağı klorür parametresi model seçimi	143
Tablo 5.12. Çoruh Nehir Ağı çözünmüş oksijen parametresi model seçimi	146
Tablo 5.13. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı parametresi model seçimi	148
Tablo 6.1. Küçük Menderes ve Çoruh Nehir Ağı modellerinde kullanılan mekansal ortak değişkenler.....	154
Tablo 6.2. Parametre ve havza özelinde tahmin sonuçlarının değerlendirilmesi.....	157

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Geometrik nehir ağ modeli kirlilik izlemesi (Jiang, 2011)	7
Şekil 2.2. Su kalitesi veri analiz sistemi CBS arayüzü (Girgin, Akyürek ve Usul, 2014)	8
Şekil 2.3. CBS ortamında içme suyu dağıtım sistemlerinde çoklu kriterli karar verme analizi (Larsen, 2017)	9
Şekil 2.4. Model seçimi kriterleri (Snowling ve Kramer, 2001)	10
Şekil 2.5. Su kalitesi modellerinin istatistiksel ve deterministik tanımlarına dayalı örneklendirmesi.....	11
Şekil 2.6. Varyogram- kovaryans ilişkisi	17
Şekil 2.7. Bölgeselleşmiş bir değişkenin çoklu gerçekleştirmeleri ve durağanlık hipotezi (Pannatier, 1996).....	18
Şekil 2.8. Semivaryogram ve özellikleri	19
Şekil 2.9. h uzaklığında farklı laglar için gözlem değerleri çiftleri.....	20
Şekil 2.10. Jeostatistiksel yaklaşıma dair kavramsal çerçeve.....	21
Şekil 2.11. Şematik akış ağı su toplama alan sınırları ve nokta çiftleri (Skøien, Merz ve Blochl, 2006).....	22
Şekil 2.12. Su toplama alanlarının ayrıklaştırılması (Skøien, Merz ve Blochl, 2006)	23
Şekil 2.13. Top-kriging ağırlıklarında nehir ağı topolojisinin etkisi	23
Şekil 2.14. 2000-2018 yılları arasında ülkeler bazında yayımlanan mekânsal nehir ağı modelleme çalışmaları	26
Şekil 2.15. Yağış miktarına ait Torgegram (El Saadani, Zimmerman ve Krajewski, 2018).....	27
Şekil 2.16. İstilacı iki türe ait Torgegramlar (Filipe vd., 2017).....	29
Şekil 2.17. Su sıcaklığına ait Torgegram (Detenbeck vd., 2016).....	31
Şekil 3.1. Grafik ağ modelleri örnekleri	33
Şekil 3.2. Ağ analiz yöntemleri	34
Şekil 3.3. Nehir ağı üretim metodolojisi.....	36
Şekil 3.4. Kenar ve düğümlerde indisleme.....	38
Şekil 3.5. Düğüm kategorileri.....	39
Şekil 3.6. Topolojik hata örnekleri	40

Şekil 3.7. Su toplama alanlarının oluşturulması	41
Şekil 3.8. STA ve KSTA örneği	42
Şekil 3.9. Gözlem ve tahmin noktalarının nehir ağına entegrasyonu	43
Şekil 3.10. Gözlem ve tahmin noktalarında oran özniteliği	44
Şekil 3.11. Gözlem noktalarına STA özniteliklerinin entegrasyonu	45
Şekil 3.12. PI değerlerinin hesaplanması.....	47
Şekil 3.13. Katkı fonksiyon değeri hesaplanması.....	48
Şekil 3.14. .ssn objesi	49
Şekil 3.15. Nehir ağlarında hareketli ortalama otokovaryans varyogram modelleri.....	50
Şekil 3.16. Tail-up modeli akış bağlantılı (a) ve akış bağlantısız (b) gösterimi.....	52
Şekil 3.17. Tail-up modeli için ağırlıklandırma örneği: Shreve metodu	53
Şekil 3.18. Tail-down modeli akış bağlantılı (a) ve akış bağlantısız (b) gösterimi.....	54
Şekil 3.19. Nehir ağlarında 2 boyutlu koordinat sisteminde öklid mesafesi	56
Şekil 3.20. Keşifsel mekânsal veri analizi: Torgegram	59
Şekil 3.21. Mekânsal süreçlerin yerüstü su kalitesi gösterge parametrelerine etkisinin şematik gösterimi	62
Şekil 3.22. Mekânsal abiyotik faktörlerin su kalitesi süreçleri açısından değerlendirilmesi.....	62
Şekil 3.23. Mekânsal veri setlerinin nokta, çizgi ve alan tiplerinde değerlendirilmesi.....	65
Şekil 4.1. Küçük Menderes ve Çoruh Havzaları	66
Şekil 4.2. Küçük Menderes Havzası il ve ilçeler.....	70
Şekil 4.3. Küçük Menderes Havzası yerüstü su kaynakları	71
Şekil 4.4. Küçük Menderes Havzası alt havzaları	72
Şekil 4.5. Küçük Menderes Nehir Havzası sınıflandırılmış yükselti haritası.....	73
Şekil 4.6. Küçük Menderes Nehir Havzası eğim haritası.....	74
Şekil 4.7. Küçük Menderes Nehir Havzası arazi kullanım haritası.....	75
Şekil 4.8. Küçük Menderes Nehir Havzası büyük toprak grupları haritası.....	76
Şekil 4.9. Küçük Menderes Nehri Havzası hidrolojik toprak grupları haritası	77
Şekil 4.10. Küçük Menderes Nehir Havzası yüzeysel akış eğri numarası haritası	77
Şekil 4.11. Küçük Menderes Nehir Havzası toprak organik karbon haritası	78
Şekil 4.12. Küçük Menderes Nehir Havzası sınıflandırılmış jeolojik formasyon haritası.....	79

Şekil 4.13. Küçük Menderes Nehir Havzası uzun yıllar ortalama yağış haritası	80
Şekil 4.14. Küçük Menderes Nehir Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık haritası	80
Şekil 4.15. Küçük Menderes Nehir Havzası nüfus yoğunluğu haritası.....	81
Şekil 4.16. Küçük Menderes Nehir Havzası tesis haritası.....	82
Şekil 4.17. Küçük Menderes Nehir Havzası foseptik haritası	82
Şekil 4.18. Küçük Menderes Nehir Havzası ölçüm noktaları	83
Şekil 4.19. Küçük Menderes Nehir Havzası hidrografik nehir ağı haritası.....	84
Şekil 4.20. Küçük Menderes Nehir Havzası hidrografik durgun sular haritası.....	85
Şekil 4.21. Küçük Menderes Nehir Havzası su toplama alanları haritası	85
Şekil 4.22. Küçük Menderes Nehir Havzası su kalitesi parametrelerine ait tematik haritalar	86
Şekil 4.23. Çoruh Havzası il ve ilçeler	87
Şekil 4.24. Çoruh Havzası yerüstü su kaynakları	88
Şekil 4.25. Çoruh Havzası sınıflandırılmış yükselti haritası	89
Şekil 4.26. Çoruh Havzası eğim haritası	90
Şekil 4.27. Çoruh Havzası arazi kullanımı haritası	91
Şekil 4.28. Çoruh Havzası büyük toprak grupları haritası	92
Şekil 4.29. Çoruh Havzası hidrolojik toprak grupları haritası.....	93
Şekil 4.30. Çoruh Havzası yüzeysel akış eğri numarası haritası	93
Şekil 4.31. Çoruh Havzası toprak karbon haritası	94
Şekil 4.32. Çoruh Havzası sınıflandırılmış jeolojik formasyon haritası.....	95
Şekil 4.33. Çoruh Havzası uzun yıllar ortalama yağış haritası.....	96
Şekil 4.34. Çoruh Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık haritası.....	96
Şekil 4.35. Çoruh Havzası nüfus yoğunluğu haritası	97
Şekil 4.36. Çoruh Havzası tesis haritası	98
Şekil 4.37. Çoruh Havzası foseptik haritası	98
Şekil 4.38. Çoruh Havzası ölçüm noktaları	99
Şekil 4.39. Çoruh Havzası hidrografik nehir ağı haritası	100
Şekil 4.40. Çoruh Havzası hidrografik durgun sular haritası	101
Şekil 4.41. Çoruh Havzası su toplama alanları haritası	101
Şekil 4.42. Çoruh Havzası Havzası su kalitesi parametrelerine ait tematik haritalar...	102
Şekil 5.1. Küçük Menderes Nehir Ağı su kalitesi parametrelerine ilişkin torgegramlar	105

Şekil 5.2. Küçük Menderes Nehir Ağı su kalitesi parametrelerine ilişkin korelogramlar	107
Şekil 5.3. Küçük Menderes Nehir Ağı temel bileşen analizi boyutlandırma grafiği....	109
Şekil 5.4. Küçük Menderes Nehir Ağı temel bileşen analizi cos2 (a) ve korelasyon (b) grafikleri	110
Şekil 5.5. Küçük Menderes Nehir Ağı sınıflandırılmış temel bileşen – değişken grafiği	111
Şekil 5.6. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite - leaps and bounds kriterler grafiği	112
Şekil 5.7. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği	113
Şekil 5.8. Küçük Menderes Nehir Ağı klorür - leaps and bounds kriterler grafiği	114
Şekil 5.9. Küçük Menderes Nehir Ağı klorür - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği	114
Şekil 5.10. Küçük Menderes Nehir Ağı çözünmüş oksijen - leaps and bounds kriterler grafiği	115
Şekil 5.11. Küçük Menderes Nehir Ağı çözünmüş oksijen - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği	116
Şekil 5.12. Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı - leaps and bounds kriterler grafiği	116
Şekil 5.13. Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği	117
Şekil 5.14. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite LOOCV çapraz doğrulama grafikleri	119
Şekil 5.15. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite tahmin haritası	120
Şekil 5.16. Küçük Menderes Nehir Ağı klorür LOOCV çapraz doğrulama grafikleri	121
Şekil 5.17. Küçük Menderes Nehir Ağı klorür tahmin haritası	122
Şekil 5.18. Küçük Menderes Nehir Ağı çözünmüş oksijen LOOCV çapraz doğrulama grafikleri	123
Şekil 5.19. Küçük Menderes Nehir Ağı çözünmüş oksijen tahmin haritası	124
Şekil 5.20. Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı LOOCV çapraz doğrulama grafikleri	125

Şekil 5.21. Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı tahmin haritası	126
Şekil 5.22. Çoruh Nehir Ağı su kalitesi parametrelerine ilişkin torgegramlar	128
Şekil 5.23. Çoruh Nehir Ağı su kalitesi parametrelerine ilişkin korelogramlar	130
Şekil 5.24. Çoruh Nehir Ağı temel bileşen analizi boyutlandırma grafiği	132
Şekil 5.25. Çoruh Nehir Ağı temel bileşen analizi cos2 (a) ve korelasyon (b) grafikleri.....	132
Şekil 5.26. Çoruh Nehir Ağı sınıflandırılmış temel bileşen – değişken grafiği	133
Şekil 5.27. Çoruh Nehir Ağı alkalinite-leaps and bounds kriterler grafiği.....	134
Şekil 5.28. Çoruh Nehir Ağı alkalinite-leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği	135
Şekil 5.29. Çoruh Nehir Ağı klorür-leaps and bounds kriterler grafiği.....	136
Şekil 5.30. Çoruh Nehir Ağı klorür-leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği	136
Şekil 5.31. Çoruh Nehir Ağı çözünmüş oksijen-leaps and bounds kriterler grafiği.....	137
Şekil 5.32. Çoruh Nehir Ağı çözünmüş oksijen-leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği	138
Şekil 5.33. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı - leaps and bounds kriterler grafiği	139
Şekil 5.34. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği	139
Şekil 5.35. Çoruh Nehir Ağı alkalinite LOOCV çarpaz doğrulama grafikleri	141
Şekil 5.36. Çoruh Nehir Ağı alkalinite tahmin haritası	142
Şekil 5.37. Çoruh Nehir Ağı klorür - 80000 m lag mesafeli torgegram.....	143
Şekil 5.38. Çoruh Nehir Ağı klorür LOOCV çarpaz doğrulama grafikleri.....	144
Şekil 5.39. Çoruh Nehir Ağı klorür tahmin haritası	145
Şekil 5.40. Çoruh Nehir Ağı çözünmüş oksijen LOOCV çarpaz doğrulama grafikleri.....	146
Şekil 5.41. Çoruh Nehir Ağı çözünmüş oksijen tahmin haritası	147
Şekil 5.42. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı LOOCV çarpaz doğrulama grafikleri.....	148
Şekil 5.43. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı tahmin haritası	149
Şekil 6.1. Parametre ve nehir ağı bazında karşılaştırmalı model sonuçları	150
Şekil 6.2. Havza ve parametre özelinde ölçüm – tahmin sonuçları grafikleri.....	157

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Adj r^2	: Her model için düzeltilmiş r^2 değeri
AFV	: Katkı Fonksiyon Değeri (Additive Function Value)
AFVCN	: Yüzey Akış Eğri Katkı Fonksiyon Değeri
AIC	: Akaike Ölçütü (Akaike Information Criteria)
bic	: Schwartz's bilgi kriteri
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCA	: Kanonik Korelasyon Analizi (Canonical Correlation Analysis)
CN	: Eğri Numarası (Curve Number)
CORINE	: Çevresel Bilginin Koordinasyonu (Coordination of Information on the Environment)
cp	: Mallow's Cp
DEN	: Dendritik Ekolojik Ağlar (Dendritik Ecological Network)
DO	: Çözünmüş Oksijen (Dissolved Oxygen) Dendritik Ekolojik Ağlar (Dendritik Ecological Network)
ESDA	: Keşifsel mekânsal veri analizi (Exploratory Spatial Data Analysis)
ESRI	: Çevresel Sistemleri Araştırma Enstitüsü (Environmental Systems Research Institute)
GISMOWA	: Dağıtım Sistemlerinde Su Kalitesi İzleme Alanlarının Belirlenmesi için Risk Bazlı Mekânsal Analiz (Geospatial Risk-Based Analysis Identifying Water Quality Monitoring Sites in Distribution Systems)
KSTA	: Kümülatif Su Toplama Alanı
LOOCV	: Çapraz doğrulama (Leave-one-out cross validation)
LSN	: Coğrafi Ağ (Landscape Stream Network)
ML	: Maksimum olabilirlik (Maximum Likelihood)
PBIAS	: Yüzde Yanlılık (Percent Bias)
PCA	: Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis)
PDF	: Olasılık Dağılım Fonksiyonu (Probability Distribution Function)
RCA	: Su Toplama Alanı (Reach Contributing Area)
REML	: Sınırlı maksimum olabilirlik (Restricted Maximum Likelihood)
RMSE	: Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Square Error)

RMSPE	: Tahmin hatası (Root Mean Square Prediction Error)
rsq	: Her model için r^2 değeri
rss	: Her model için bakiye kareler toplamı
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SNTEMP	: Nehir Ağı Sıcaklık Modeli (Stream Network Temperature)
SSN	: Mekânsal Nehir Ağı (Spatial Stream Network)
SSNM	: Mekânsal Nehir Ağı Modeli (Spatial Stream Network Model)
STA	Su Toplama Alanı
STARS	: Nehir Ağlarının Analizi için Mekânsal Araçlar (Spatial Tools for the : Analysis of River Systems)
SWAT	Su ve Toprak Değerlendirme Aracı (Soil and Water Assessment Tool)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli

1. GİRİŞ

İnsanın yaşamını devam ettirmek ve kolaylaştırmak amacıyla gerçekleştirdiği faaliyetler sonucu giderek kirlenmekte olan kullanılabilir su kaynakları; iklim değişikliğinin etkisi, nüfus artışı gibi dış etkenler ile yakın gelecekte ihtiyaçları karşılayamayacak duruma gelecektir. Bu durum gerek devletleri gerekse bilim insanlarını karmaşık çevresel şartları göz önünde bulundurarak mevcut ve potansiyel su kaynaklarının etkin kullanımı ve korunmasına yönelik sürdürülebilir çözümler aramaya ve söz konusu çevresel şartları anlamaya yöneltmektedir.

Su yönetimi; ekosistemlere, insan hayatına ve ekonomik gelişime gelebilecek zararları en alt düzeye indirmek ve sürdürülebilir kullanımı en üst düzeye çıkarmak için su kaynaklarının kontrolü ve hareketidir. Bu açıdan su yönetimi; topoğrafya, doğal kaynaklar, arazi kullanımı, arazi örtüsü, atmosferik koşullar, insan faaliyetleri ve çevresel koşullar gibi mekânla ilişkili bilgilerin iyi anlaşılmasını gerektirir (Hatzopoulos, 2002).

Su kalitesi, doğrudan insan sağlığı ve ekosistem ile bağlantılı olarak suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiklerinin göstergesi olarak tanımlanmaktadır (Mainali, Chang ve Chun, 2019). Son yıllarda küresel çapta hızla artan nüfusun yanı sıra iklim değişikliği, sanayileşme ve tarımsal faaliyetler sonucu su kaynaklarında azalma, kirlenme ve hatta temiz içme suyu ihtiyacını karşılayamayacak hale gelme riski her geçen gün daha da artmaktadır. Su kalitesinin izlenmesi, sağlık ve çevre sorunlarında karar verme mekanizmasına destekleyici kanıt sunmaktadır. Endüstriyel ve ticari faaliyetler sonucu ciddi oranlarda kimyasal maddelerin su kaynaklarına ulaşması ile su kalitesinin izlenmesi, 21. yüzyılın gitgide büyüyen zorluklarından biridir (Myers, 2018).

Su kaynaklarında kalite durumunun değerlendirilmesi oldukça zor bir süreçtir. Özellikle, havza bazlı su yönetimi anlayışında, nehir havzalarında izleme verisinde karşılaşılan sorunlar bu zorlu süreçte büyük bir paya sahiptir. Su kalitesi gösterge ve kirlenme parametrelerine ilişkin arazi çalışmalarından başlayarak laboratuvar analizleri, verinin değerlendirilmesine değin maliyetli bir süreç yaşanmaktadır. Özellikle, arazi şartları ve numune analizi maliyetleri açısından izleme programlarında yer alan izleme noktalarının optimum sayıda tutulması önem taşımaktadır. Bununla birlikte, su kalitesi trend analizinin yapılması gibi su kalitesi değerlendirmelerinde uzun dönem veri ihtiyacı nedeni ile az sayıda veri yeterli olmamaktadır (Lindenschmidt, 2006).

Nehir ve göl ekosistemlerinde; fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin incelenmesi, analizi ve su kalitesi parametre değerlerinin tespit edilmesi matematiksel

modeller ile mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, karmaşık süreçler ve devasa veri ihtiyacından kaynaklı söz konusu matematiksel modellerin büyük alana sahip havzalarda kurulumu, uygulanması ve tatmin edici sonuçlar elde edilmesi oldukça zaman almaktadır. Matematiksel modellerde hesaba katılan pek çok süreç bulunmaktadır. Bunlar; adveksiyon, dispersiyon, difüzyon, çözünme/çökelme (madde taşınımı), kimyasal/fotokimyasal/biyolojik bozunma/dönüşüm, asit-baz tepkimeleri, redoks tepkimeleri (oksidasyon), kompleks oluşturma, adsorpsiyon/absorpsiyon, havalanma ve volatilizasyon (uçuculuk) gibi su kalitesi parametrelerinin su kaynağında nicelik ve hareketini etkilemektedir.

Fiziksel süreçlerin ötesinde, bu süreçlerin farklı ölçeklerde ilişkili olduğu mekânsal koşullara dair ne kadar doğru bilgi elde edilirse su kalitesi ve hidrolojiye dayalı süreçleri anlamak ve modellemek bir o kadar kolay olacaktır. Bu kapsamda, su kaynaklarının modellenmesi ve bilgilerin doğru yönetilmesi amacıyla mekânı kullanan en yaygın araçlardan biri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'dir.

CBS; her türlü coğrafi veriyi yakalamak, saklamak, işlemek, analiz etmek, yönetmek ve sunmak için tasarlanmış bir bilgi sistemidir. CBS aynı zamanda mekânsal verilerin analiz edilmesi çalışması kapsamında topolojiyi ve istatistik bilimini yaygın bir şekilde kullanmaktadır.

Mekânsal istatistik diğer bir açıdan mekânsal veri analizi, konuma dayalı parametrelere ilişkin niceliksel analizleri içermektedir. Mekânsal veri analizi çalışmaları ayrık (discrete) ve sürekli (continuous) olmak üzere iki grupta toplanabilecek veriler ve mekânsal ilişkiler üzerinden yapılmaktadır. Mekânsal verilerin değerlendirilmesi kapsamında gerek konumsal veri üretimi gerekse de çalışma alanlarının karakterizasyonu açısından bilgi edinmek amacıyla kullanılmaktadır. Arazi örtüsü, arazi kullanımı, jeoloji ve toprak yapısı, iklim, topografya ve havza hidrolojisi gibi pek çok mekânsal faktör, su kalitesini belirleyen süreçleri doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir (Lintern A. vd., 2018). Bu faktörlerin değişkenliği sonucu su kalitesi parametrelerine ait nicelikler de zamana ve mekâna bağlı olarak farklılık göstermektedir.

20. yüzyılın başlarında, parametreler üzerinde olasılık çıkarımlarını sağlamak amacıyla geliştirilen geleneksel istatistiksel analiz yöntemlerinde ölçümlerin mekânsal düzenlemeleri önem arz etmemekteydi (Isaak, ve diğerleri, 2014). Son yıllarda, mekânın doğal sistemlerin yapılanmasında önemli bir rol oynadığı keşfedilmiş olup mekânsal istatistik ve mekânsal ekoloji çalışmaları gelişmeler göstermiştir. Bahse konu gelişim,

daha çok karasal sistemler üzerinde gerçekleştirilmiş olup son 20 yıl içerisinde önemli bir ekosistem ve su kaynağı olan nehir ağları üzerinde uygulanmaya başlamıştır.

Bu bağlamda, nehir ağları için geçerli kovaryans yapılarının temelinde mekânsal nehir ağı modelleri (Spatial Stream Network Model - SSNM) geliştirilmiştir. SSNM, nehir ağları üzerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiklerin tahminlerini iyileştirmek için bir dizi yeni analitik araç sağlamaktadır (http-1). Geleneksel jeostatistik yöntemlerde, gözlem konumları arasında oluşan otokorelasyon öklid uzaklığına dayanırken, mekânsal istatistiksel modellerde hem öklid hem de hidrolojik mesafelere dayanabilmektedir. Bununla birlikte, memba-mansap arasında topolojik ilişkileri içeren hidrolojik mesafeler ile mekânsal değişkenlerin modellere dahil edilmesi sonucunda nehir ağlarında su kalitesinin mekânsal karakterizasyonu ve tahminlenmesi yapılabilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, büyük ölçekli havzalarda ölçümlenen su kalitesi gösterge parametrelerinin mekânsal değişkenler üzerinden karakterizasyonu ve modellenmesi amacıyla jeostatistiksel modelleri içeren mekânsal nehir ağı modellerinin CBS yeteneklerinin kullanılarak kurulması ve ölçüm bulunmayan nehir kollarında su kalitesi parametrelerinin tahminlenmesidir. Ayrıca, nehir ağlarında hidrolojik mesafe ve topolojik ilişkiler dahilinde mekânsal otokorelasyonun parametre bazında araştırılması hedeflenmiştir. Tez kapsamında, söz konusu modellerin ve çıktılarının, iki farklı karaktere sahip havzada karşılaştırılması ile Türkiye’de kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, doğal yapıları ve antropojenik etkilere maruziyeti açısından birbirinden farklı iki alan olarak değerlendirilen Türkiye’nin önemli nehir havzalarından olan Çoruh ve Küçük Menderes Nehir Havzaları çalışma alanları olarak belirlenmiştir. Buradan hareketle, su kalitesi parametrelerinin mekânsal analizi açısından havzalar kayda değer bir karşılaştırma imkânı sağlamıştır.

Çalışma kapsamında, modellerin uygulanabilmesi için nehir ağı yapısı, topolojik ve geometrik olarak derlenerek coğrafi bilgileri ve ilişkileri içerecek hale getirilmiştir. CBS ortamına taşınan su kalitesine ilişkin çözünmüş oksijen, su sıcaklığı, pH, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, alkalinite ve klorür parametreleri bazında, nehir ağındaki ölçüm noktalarında akış yönü ilişkili hidrolojik mesafelere göre otokorelasyonun varlığı araştırılmıştır. Modellerde, mekânsal ortak değişkenlerin farklı ölçeklerde su kalitesi parametreleri arasındaki ilişkilerini ortaya koymak üzere dahil edilen mekânsal değişkenler CBS araçlarından faydalanılarak mekânsal veri setlerine dönüştürülmüştür. Geliştirilen kovaryans modelleri ve mekânsal veri setleri kullanılarak oluşturulan karma

modeller, su kalitesi parametreleri bazında ve tahmin sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Multidisipliner bir çalışma olması nedeniyle su kalitesi açısından literatüre yeni bir yaklaşım olarak giren SSNM'ler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar su sıcaklığı parametresini ön plana çıkarmakla beraber belirli su kalitesi parametrelerinin üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bununla beraber, çalışma alanı olarak Türkiye ölçeğinde gerçekleştirilen su kalitesi modelleme çalışmalarında hidrolojik mesafelere dayalı mekânsal kovaryans yapısına odaklanan çalışma bulunmamaktadır. Bu açıdan, ortaya konulan metodolojinin değerlendirilmesi geliştirilmeye açıktır.

Bu tez çalışmasının özgünlüğü, mekânsal nehir ağı modellerinin alkalinite ve klorür su kalitesi parametrelerinde ilk defa uygulanmasıdır. Bununla birlikte, model katkı fonksiyonu bileşeninde yağış akış eğri numarası yönteminin kullanılarak model performansının değerlendirilmesi de bu alandaki ilk çalışma olarak gösterilebilir. Çalışma alanı açısından, Türkiye'de ilk defa ve iki farklı havzada karşılaştırmalı olarak mekânsal nehir ağı modellerinin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

2. TEORİK BAĞLAM VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Su Kalitesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri

CBS, bilgisayar teknolojisinin de gelişimiyle birlikte pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Özellikle, mekânı anlamak için ihtiyaç duyulan verilerin depolanması, düzenlenmesi, analiz edilmesi kapsamında çalışmaların verimini ve sürdürülebilirliğini gün geçtikçe artırmaktadır.

Su kaynaklarının yönetiminde yer alan karmaşık topoloji ve çok sayıda öznel ilişkiyi büyük veri ihtiyacı gerektirmesi, CBS'nin birden çok farklı veriyi kolayca bir araya getirme yeteneğinin anlaşılmasıyla beraber bu konuda çalışan araştırmacı ve mühendislerin yönünü CBS'ye çevirmesine neden olmuştur (Tsihrintsis, Hamid ve Fuentes, 1996).

Özellikle sürdürülebilir su yönetiminde bir araç olarak kullanılan CBS; yerüstü sularında hidrolojik modelleme ve yeraltı suyu modellemesi, su temini ve kanalizasyon hattı tasarımı, kentsel ve tarımsal alanlar için noktasal ve yayılı kaynak kirliliğinin modellenmesi, taşkın ve kuraklık analizi, iklim değişikliği etkilerinin incelenmesi dahil olmak üzere çok sayıda alanda uygulanmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, su kalitesinde CBS'nin oynadığı rol ve katma değerinin anlaşılabilmesi açısından yapılan literatür incelemesinde değerlendirilen araştırmaların büyük bir kısmını, göl su kaynaklarında uzaktan algılama yöntemleriyle su kalitesi parametrelerinin tahmini ve su kaynaklarında izlenen su kalitesi parametrelerinde tematik haritalandırma analizleri oluşturmaktadır. Ayrıca, literatürde makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak su kalitesi analizleri ve CBS tabanlı analiz paket programları kullanılarak (Örn: SWAT vb.) gerçekleştirilen modelleme çalışmaları başlıklı konular da ön plana çıkmaktadır.

Verro vd., (2002) çalışmalarında, yerüstü su kaynaklarında tarımsal kaynaklı kimyasalların oluşturduğu risk değerlendirmesi için CBS tabanlı bir metodoloji açıklamaktadır. Söz konusu metod; ilişkisel ve mekânsal veri tabanlarının entegrasyonu, raster ve vektör veriler içeren kütle denge modelleri ve pestisit risk göstergelerini içermektedir. Söz konusu çalışmada yerüstü suyu kirliliği, taşınım ve yağış-akışı temel alan iki ana süreçle ilgili parametreler modellenmektedir. İtalya'nın kuzeyinde yer alan Lombardia bölgesinde yetiştirilen mısır ürününde tespit edilen bir herbisit olan alaklor parametresi üzerinden bir pilot uygulama yapılmıştır. Çalışma kapsamında, tahminlenen alaklor değerleri ve risk haritaları, en kötü durum senaryosunu içermektedir. Buradan

hareketle, araştırmacılar temel amacın risklerin yönetilmesinde havza bazlı bilgi edinmek olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca modellemede kullanılan süreçler ve mekânsal değişkenler, çalışma alanında hangi bölgelerin daha detaylı çalışma ihtiyacı duyulacağını ortaya koymak açısından öneri sunmaktadır. Metodolojinin uygulanması kapsamında CBS kullanımı, çok sayıda mekânsal değişkeni dikkate almaya, algoritmayı tekrar etmeye, verileri güncellemeye, düşük maliyetle zamanı etkin şekilde kullanarak yeni sonuçlar elde etmeye olanak sağladığı ortaya koyulmaktadır.

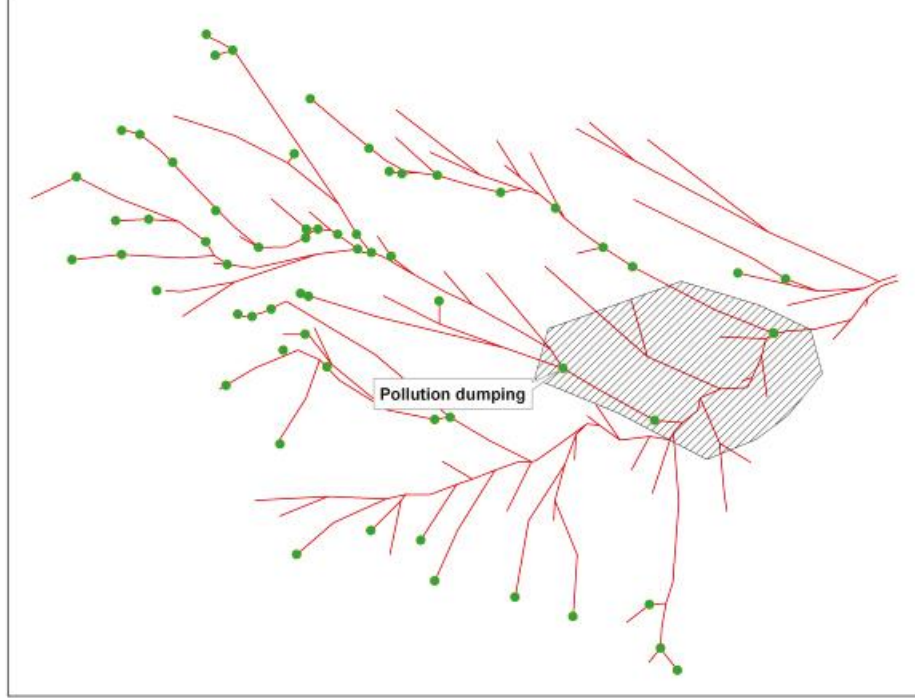
Alparslan vd., (2007), İstanbul şehri için önemli bir su kaynağı olan Ömerli Barajı'nda 6 farklı noktada gerçekleştirilen su kalitesi ölçümlerinin Landsat-7 uydu görüntüleri işlenerek değerlendirilmesi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada; klorofil-a, askıda katı madde, seki disk ve toplam fosfat ölçümleri kullanılarak uydu görüntülerinde piksel değerleri arasında korelasyonlar üzerinden bahse konu su kalitesi parametrelerine ilişkin CBS ortamında tematik haritalar oluşturulmuştur.

Ma vd., tarafından 2009 yılında gerçekleştirilen çalışmada Çin'in büyük kentlerinde yerüstü su kalitesi problemlerinin yaşandığından bahisle CBS tabanlı kentsel bilgi sistemlerinin altında bir su kalitesi yönetim alt sistemini ortaya koymaktadır. Bu çalışmayla yerüstü sularında, mekânsal veriler ve ölçümü yapılan su kalitesi parametreleri ile özniteliksel ve konumsal analizlerle simüle edilebilen bir platform ortaya koyulmaktadır.

Yang ve Jin (2010), tarafından Amerika Birleşik Devletleri Iowa'daki Cedar nehir havzasına ilişkin karakteristiklerin, yayılı kirliliğin su kalitesindeki önemli parametrelerinden nitrat ve nitrit azotu ($\text{NO}_3\text{NO}_2\text{-N}$) konsantrasyonu üzerindeki etkilerini değerlendirmek için CBS temelli mekânsal regresyon metodunun kullanımını araştırmıştır. 78 gözlem noktasından elde edilen izleme sonuçları, nehir ağı verileri, havzaya dair mekânsal özellikler CBS ortamında bir araya getirilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar, havzadaki nitrat ve nitrit azotu gözlemlerinin mekânsal olarak ilişkili olduğunu ve mekânsal korelasyonun daha doğru sonuç verdiğini göstermiştir.

Jiang (2011), Çin'deki Huaihe nehir havzası su kaynaklarında planlama ve kirlilik kontrolüne ilişkin su kirliliği yönetim modeli oluşturan bir CBS aracı ortaya koymaktadır. Bu çalışmayla CBS ortamında nehir ağı analiz platformu tasarlanmış olup en kısa yol analizi, bağlantı bileşen analizi ve tampon analizi gibi CBS platformunda sağlanan

algoritmalar kullanılarak su kirliliğinin mansap – memba ilişkileri (Şekil 2.1) içinde izlenebilmesi için yeni algoritmalar geliştirilmiştir.

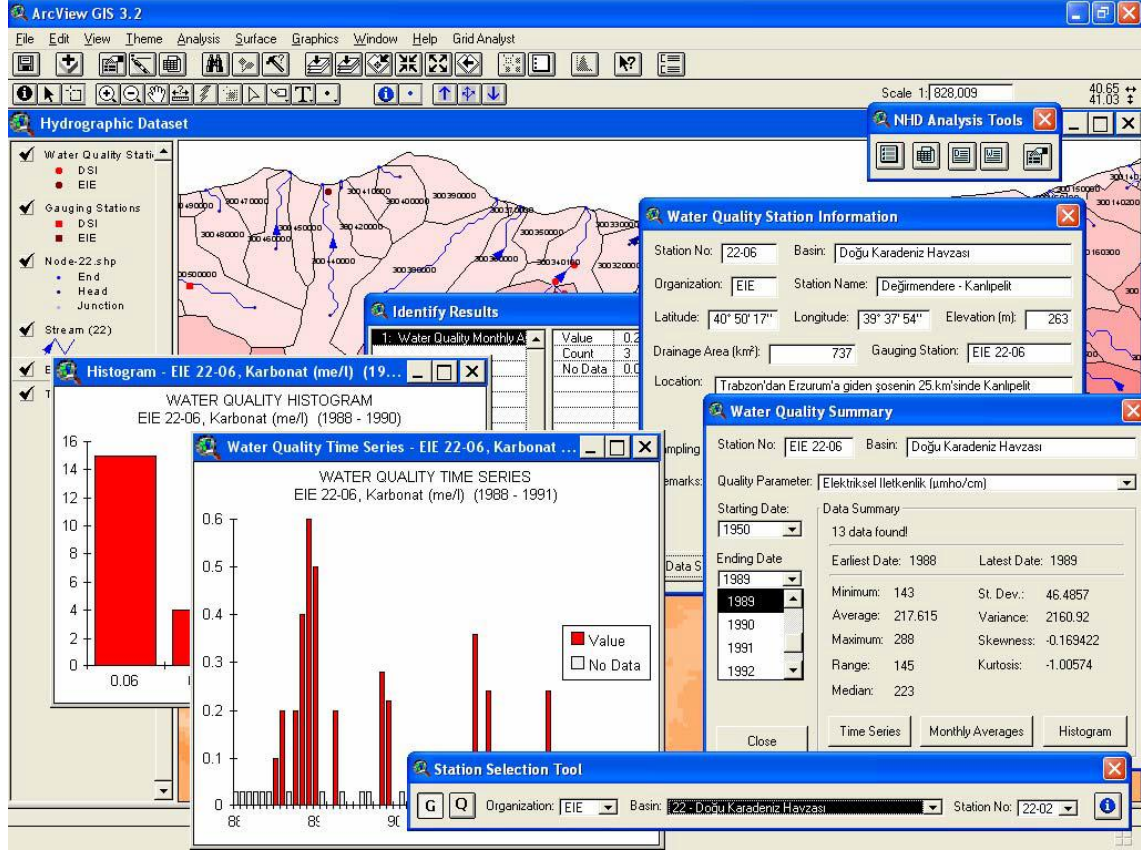


Şekil 2.1. Geometrik nehir ağı modeli kirlilik izlemesi (Jiang, 2011)

Bahrani (2014) gerçekleştirdiği çalışmada, Irak'ta Fırat Nehri'nin sulama amaçlı su kalitesi parametrelerini sınıflandırmak için uydu görüntüsü ve ölçüm verilerini CBS ortamında analiz ederek sınıflandırma modeli geliştirmiştir. Söz konusu çalışmada kullanılan su kalitesi parametreleri; toplam çözünmüş katı madde, klorür, elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorpsiyon oranını içermektedir. Su kalitesinin mekânsal tahmininde kullanılan regresyon modelleri ile çalışma alanında Fırat Nehri'nin sulama suyu amaçlı kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Türkiye için Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Su Kalitesi Veri Analiz Sistemi Geliştirilmesi adlı çalışma, Türkiye'de su kalitesine yönelik eksikliği bulunan veri setlerine CBS ortamında ulaşılabilmesi ve veriler üzerinde istatistiksel analizler yapabilmesine imkân vermesine yönelik uygulama yazılımını sunmaktadır. Girgin, Akyürek ve Usul (2014) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, Çevresel Sistemleri Araştırma Enstitüsü (ESRI - Environmental Systems Research Institute) ArcView 3.2 CBS yazılımı kullanılarak su kalitesi gözlem istasyonlarını ve izleme parametre

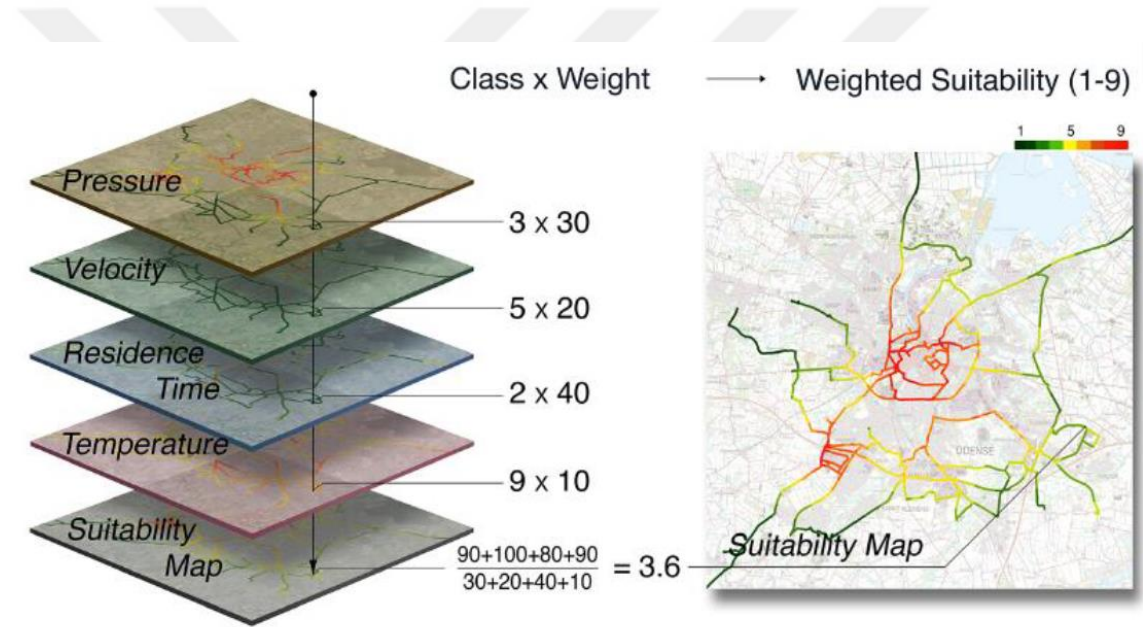
verilerinin tematik haritalama, istatistiksel analiz ve yeni veri girişi özelliklerini içermektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Su kalitesi veri analiz sistemi CBS arayüzü (Girgin, Akyürek ve Usul, 2014)

Ramadas ve Samantaray (2018) tarafından su kalitesinin izlenmesi, yönetimi ve su kaynaklarının iyileştirilmesi için uzaktan algılama ve CBS alanında gerçekleştirilen çalışmalar araştırılmıştır. Bu kapsamda, su kalitesinin uzaktan algılama araçları üzerinden mekânsal ve zamansal olarak takibinin gerçekleştirilmesinin önemli olduğu vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, su kalitesi parametrelerinin mekânsal analizi için ters mesafe ağırlıklandırma, sıradan kriging ve evrensel kriging gibi çeşitli jeostatistik yöntemleri içeren CBS çalışmalarının önemine işaret edilmektedir. Su toplama alanları bazında gerçekleştirilen analizlerde, yerüstü sularında kirletici konsantrasyonlarının arazi kullanım haritaları ile örtüşmesinin mümkün olduğu ifade edilmektedir. Bu açıdan yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntülerinin işlenmesinin ve ayrıca mekânsal işlemleri destekleyen karmaşık ancak kullanıcı dostu bir CBS platformunun gerekliliği öne çıkarılmaktadır.

CBS ve su kalitesinin bulunduğu bir başka çalışmada ise Larsen vd., (2017) tarafından, Dağıtım Sistemlerinde Su Kalitesi İzleme Alanlarının Belirlenmesi için Risk Bazlı Mekânsal Analiz (GISMOWA - Geospatial Risk-Based Analysis Identifying Water Quality Monitoring Sites in Distribution Systems) adında CBS tabanlı analiz aracı oluşturulmuştur. Bu araç ile içme suyu dağıtım ağlarında numune alma tebliğlerine uygun su kalitesinin izlenmesi için boru segmentlerini belirlemek, önceliklendirmek ve izlemek amaçlanmaktadır. CBS ortamında gerçekleştirilen çoklu kriterli karar verme analizi ile izleme çalışmalarının önceliklendirilmesi için kullanılan parametrelerin görselleştirilmesi mümkün hale gelmiştir. Elde edilen haritalarla riskli alanlar ortaya koyulmuş olup ilgili parametrelere ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 2.3).



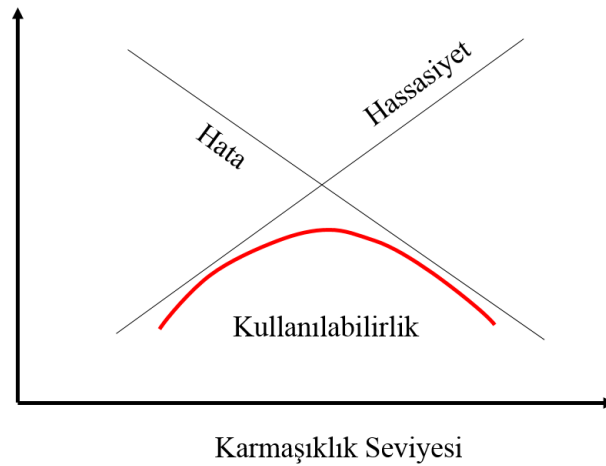
Şekil 2.3. CBS ortamında içme suyu dağıtım sistemlerinde çoklu kriterli karar verme analizi (Larsen, 2017)

Nawar ve Fatima (2018) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Dicle Nehri'nde bulanıklık, alkalinite, pH, toplam sertlik, magnezyum, kalsiyum, klorür, demir, iletkenlik, sülfat, amonyak, nitrat, ortofosfat ve toplam katı madde su kalitesi parametre ölçümlerinin gerçekleştirildiği dokuz gözlem istasyonu seçilerek CBS ve yapay sinir ağları kullanılarak indeks sınıfları üzerinden tahminleme yapılmıştır. 2011-2017 yılları arasındaki su kalitesi indeks sonuçları mekânsal dağılım haritaları olarak tematik hale getirilerek su kalitesindeki değişimler incelenmiştir.

Lu, Zhang ve Liu (2020) tarafından son yıllarda yoğunlukla kullanılmakta olan yöntemlerden CBS tabanlı yapay sinir ağlarının kullanımı ile su kalitesi tahmin sisteminin geliştirilmesi ve pilot uygulanma çalışması gerçekleştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada arasındaki sınır hattında yer alan 1.269 km² yüzey alanına ve 21.326 km² su toplama alanına sahip Champlain Gölü'nde geliştirilen sistem kullanılarak toplam fosfor konsantrasyonlarının tahmini için uygulama gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları göl suyu kalitesi izleme verileri ile doğrulanarak geliştirilen sistemdeki tahmin modelinin tatmin edici sonuçlar verdiği ortaya koyulmuştur.

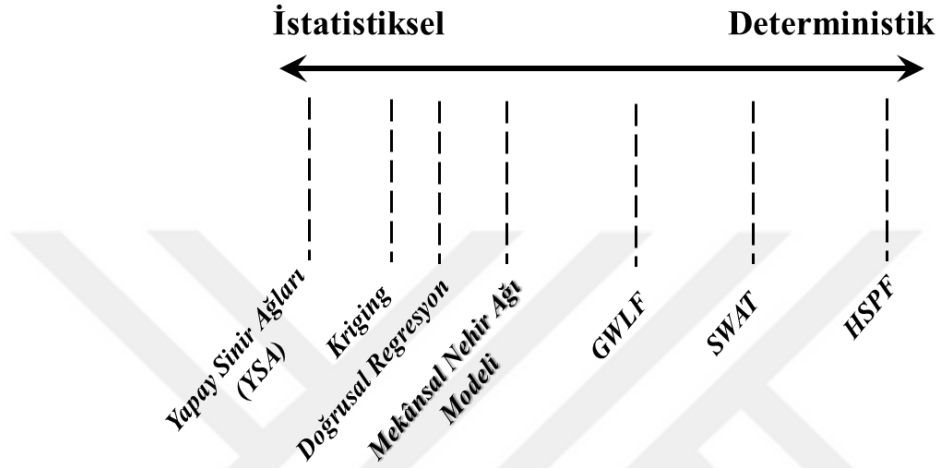
2.2. Su Kalitesinde Modelleme

Su havzalarında ve yerüstü sularında kirletici kaynakları ve taşınmayı tanımlamak için çeşitli hidrolojik ve su kalitesi modelleri kullanılmaktadır. “Su kalitesi modelleri, su kirliliği kontrolü, su ekosistemlerinin sağlıklarının araştırılması ve noktasal ve yayılı kirlenmenin etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılabilen önemli karar destek sistemi araçlarıdır” (Ertürk, 2010, s.61). Bununla beraber söz konusu modeller; amaç fonksiyonları, zamansal ve mekânsal ölçekleri, veri mevcudiyeti çerçevesinde mühendislik anlayışı içerisinde fayda/maliyet temelinde değerlendirilmesi gereken karar destek sistemleridir. Bu modeller, süreç karmaşıklıkları ve modellerde kullanılan zamansal ve mekânsal ölçekler temelinde karakterize edilebilir. Bu açıdan, Snowling ve Kramer (2001) tarafından ortaya konulan model seçimlerinde hata, hassasiyet, veri ihtiyacı ve karmaşıklık değerlendirilmesi de önem taşımaktadır.



Şekil 2.4. Model seçimi kriterleri (Snowling ve Kramer, 2001)

Hidrolojik ve biyojeokimyasal süreçlerin karmaşıklık düzeyi ve ayrıntı seviyesi, bu süreçlerin karakterize edilmesi ve tahminler için deterministik ve istatistiksel yöntemlerin ne ölçüde kullanıldığına göre değişmektedir (Alexander vd., 2002). Tüm modeller, bu yöntemlerin birini veya karma yapıda yaklaşımları içermekte olup söz konusu süreçlerin belirli özelliklerine büyüteç tutmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Su kalitesi modellerinin istatistiksel ve deterministik tanımlarına dayalı örneklendirmesi

Su kalitesinde modellerin sınıflandırılması çerçevesinde iki genel yaklaşım olan deterministik/fiziksel modeller ile istatistiksel/stokastik modeller çalışmalarda çoğunlukla kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar; modellerin hata, hassasiyet, veri karmaşıklığı ihtiyaçları göz önüne alındığında kesin bir ayrıma gidilmeksizin tercih sebebi olmaktadır. Örnek bir modelleme çalışması üzerinden yaklaşımlar değerlendirildiğinde; deterministik modeller su sıcaklığı parametresi için, meteorolojik girdileri, nehir jeomorfolojisi ve hidroliği hakkındaki verileri kullanarak bir veya daha fazla noktada bir ısı bütçesi hesaplanmaktadır; ancak söz konusu değişkenlere ilişkin verilerin toplanması uzun ve pahalı süreçler gerektirmektedir. Bu yönden istatistiksel yaklaşımlar, genellikle daha az girdi değişkeni ile çözüm sunabilmektedir. Stokastik modeller bağlamında su sıcaklığı parametresi için hava sıcaklığı, rakım gibi ilişkili bağımsız değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkiler kullanılmaktadır. Özetle, iki farklı model yaklaşımında ölçüm bulunmayan noktaların tahminlenmesinde stokastik modellerin çıktıları olasılık dağılımları, deterministik modellerin çıktıları ise nokta tahminleri olarak ortaya koyulmaktadır (World bank group, 1998).

2.2.1. Su kalitesinde istatistiksel modelleme çalışmaları

Su kalitesinde modelleme çalışmalarında; tanımlayıcı istatistikler, korelasyon analizi, kümeleme analizi, faktör analizi, diskriminant analizi ve temel bileşen analizi gibi çeşitli istatistiksel analiz yöntemleri yoğunlukla kullanılmaktadır. Bunların yanında; yapay sinir ağları, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizi, çok değişkenli analiz, varyans analizi, bayes modeli, kemometri yaklaşımları da su kalitesi çalışmalarında değerlendirilmektedir (Sravya ve Sreejani, 2016).

Su sıcaklığının modellenmesi kapsamında Guillemette vd., (2009), temel bileşen analizi (PCA) ve kanonik korelasyon analizi (CCA) ile jeoistatistiğin birleştirildiği bir yaklaşımı çalışmalarında kullanmıştır. Bu yaklaşımın avantajı, deterministik modellere göre sıcaklık zaman serilerinin simülasyonu önemsenmeyerek termal indekslerin doğrudan modellenmesidir. 12 istasyondan elde edilen verilerin istatistiksel analizler sonucu oluşan fizyografik uzayda jeoistatistiksel bir yöntem olan kriging kullanılarak su sıcaklığı değerleri interpolate edilmiştir. CCA fizyografik alanında uygulanan kriging yönteminin, fizyografik bilgilerin spesifik su sıcaklığı ile ilişkilendirmek için daha uygun olduğu görüldüğünde daha iyi sonuçlara yol açtığı ortaya koyulmuştur.

Xue vd., (2010) çalışmalarında, hidrolojik süreçlerin periyodiklik ve rastgelelik özellikleri değerlendirilerek rastgele değişken olarak; nehir hidroliği, hidrolojisi ve su kalitesini etkilediği düşünülen üç parametre dikkate alınarak, aylık yüzey akışı seçilmiş ve stokastik bir su kalitesi modeli oluşturulmuştur. Çin'in Huainan bölgesinde, Huai Nehri'nin su kalitesi simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Gauss dağılım modeli kullanılarak gerçekleştirilen model çalışmasında, biyolojik oksijen ihtiyacı ve çözünmüş oksijen parametreleri kullanılarak konsantrasyonlar tahminlenmiştir.

Alp, Özcan ve Yücel (2014) tarafından Türkiye, Ankara'da yer alan önemli korunan alanlardan Mogan ve Eymir Gölü'nde, 2006-2012 yılları arasında toplanan su kalitesi parametrelerinin doğrusal regresyon kullanılarak tahminleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, çözünmüş oksijen, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH, yağış ve bağımlı değişkenler, toplam azot, toplam fosfor, kimyasal oksijen ihtiyacı, klorofil-a, toplam askıda katı madde ve toplam koliform parametreleri arasındaki korelasyon incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, söz konusu parametreler kullanılarak ölçüm yapılmayan durumlarda bile göllerin su kalitesinin tahmin edilebileceği, bununla birlikte, regresyon denklemlerinden elde edilen çıktıların su kalitesi modelleri için girdi olarak kullanılabileceği ifade edilmektedir.

Başka bir çalışmada Herrel vd., (2018) tarafından Kanada'nın kuzeybatısında bulunan Ekati elmas madeninde yeni bir açık ocak geliştirme projesi olan Jay Projesi için çevresel değerlendirme ve su lisans izni başvurularında kullanılmak üzere stokastik bir model yaklaşımı geliştirilmiştir. Monte Carlo yöntemi kullanılarak seçilen Olasılık Dağılım Fonksiyonu (PDF) oluşturan bir girdi veri kümesi ile çalışma alanında nitrat konsantrasyonlarının tahminlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Avila vd., (2018) tarafından su kaynaklarında tespit edilen insan sağlığı için önemli mikrobiyolojik parametrelerden E.coli açısından su kalitesi tahmininde istatistiksel modeller değerlendirilmiştir. Pilot çalışma alanı olarak, Yeni Zelanda'nın güneyindeki Wallacetown'daki Oreti Nehri üzerinde yer alan rekreasyon alanında 2006-2014 arasındaki yaz aylarında toplanan haftalık veriler kullanılmıştır. Çalışmada, naive tahmin modeli, çoklu doğrusal regresyon, dinamik regresyon, regresyon ağacı, Markov zinciri, sınıflandırma ağacı, rassal orman makine öğrenmesi (random forests), multinomial lojistik regresyon, diskriminant analizi ve Bayes modeli yaklaşımları kullanılarak su kalitesi tahmininde bulunulmuştur. Sonuçlar, Bayes ağının çapraz doğrulama hataları açısından diğer yaklaşımlardan daha üstün olduğunu göstermektedir.

Beauprè vd., (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile, barajların yaz mevsiminde nehirlerde termal rejim üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda, barajların mansabındaki su sıcaklığını tahmin etmek için kullanılan iki modelleme aracının göreceli verimliliği değerlendirilmiştir. Söz konusu modellerden biri stokastik bir yaklaşım olan çok değişkenli jeostatistiksel model, diğeri ise Nehir Ağı Sıcaklığı (Stream Network Temperature – SNTMP) isimli deterministik bir modeldir. Çalışma; Kanada, Quebec'in doğusunda yer alan 261 km² su toplama alanına sahip Fourchue Nehri ve Du Loup adlı nehir kolunda gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, deterministik modelin aylık ortalama sıcaklıkların ve kümülatif derece-günlerin tahmini için iyi sonuçlar gösterdiği ancak genel olarak, istatistiksel modelin en çok seçilen termal indekslerin tahmininde daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

2.2.2. Su kalitesi ve jeostatistik

Su kalitesi, tespit edilmesi yoğun maliyet ve emek gerektiren sayısızca fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçten etkilenen bir olgudur. Özellikle, büyük ölçekli çalışma alanlarında deterministik öngörülerin yapılabilmesi için yüksek seviyede veri ihtiyacı oluşmaktadır. Bu açıdan, su kaynaklarında optimum analizlerin gerçekleştirilebilmesi

için araştırmacılar yeni yöntemlere yönelmektedir. Bu noktada, son yıllarda jeostatistiksel modeller, su kalitesi ile ilgili çalışmalarda bulunmaktadır.

Jeoistatistik dalının ortaya çıkışı, literatürde pek çok çalışmada derin kökleri olmasına karşın 1951 yılında Güney Afrikalı Maden Mühendisi Danie Gerhardus Krige tarafından istatistiğin madencilikteki sorunlara yaklaşımı kapsamında ampirik bir çalışmaya dayandırılmaktadır. Bu bağlamda jeostatistik, 50'li yıllarda yer bilimlerindeki sorunlara uygulanan istatistik anlamına geliyordu. 60'ların ve özellikle 70'lerin ortalarından başlayarak, Fransız Jeomatematikçi Georges Matheron'un çalışmaları sonuncunda matematiksel olarak formüle edilen ifade günümüzde hala geçerliliğini korumaktadır. Matheron, 1968 yılında Fransa, Fontainebleau'da bulunan Paris Madencilik Okulu'nda "Matematiksel Morfoloji Araştırma Merkezi"ni kurmuş ve burada çalışmalarını geliştirmiş olduğu D. G. Krige'in onuruna tahminleme yöntemine "Kriging" adını vermiştir. 1979 yılında ise merkezin adı "Jeoistatistik ve Matematiksel Morfoloji Araştırma Merkezi" olarak değiştirilmiştir.

Aynı dönemde, Avrupa'dan çok uzakta Amerika Birleşik Devletleri'nde coğrafya alanında çalışmakta olan Waldo Tobler, 1970 yılında yayınladığı bir makalede, coğrafyanın ilk yasası olarak *"Her şey diğer her şeyle ilgilidir, ama yakın şeyler uzak şeylerden daha fazla ilişkilidir."* kavramsal bakış açısını ortaya atmıştır. İki farklı coğrafyada, dönemin şartları düşünüldüğünde belki birbirinden habersiz olarak jeostatistik kavramı, temelini güçlü bir hipoteze oturtmuş ve epistemolojik açıdan günümüzde bilimsel kuram (teori) olarak tanımlanacak bir noktada yer almıştır.

Yine, Tobler, 1999 yılında daha az bilinen ve coğrafyanın ikinci yasası olmaya yetecek kadar yaygın bir olay olarak tanımladığı: "Bir coğrafi alanın dışındaki fenomen, o alanın içerisinde olanları etkiler." bakış açısı ile aslında ilk yasadaki yakınlık ve uzaklık kavramının belirlenen sınırlar içerisinde değerlendirilmesinin yeterli olmayacağına alan dışı faktörlerin de o alan içindeki süreçleri etkilediğine vurgu yapmıştır.

Bu tez çalışması teorik bağlamda, nehir ekosistemlerinde su kalitesine ilişkin çalışmaları mekânsal ilişkiler çerçevesinde araştırmak üzerine ve söz konusu mekânsal ilişkileri Tobler'in kavramsal olarak coğrafyanın ilk iki yasasında belirttiği tanımlar, Matheron'un ortaya koyduğu matematiksel formüller üzerinde gelişen jeostatistiğin ve CBS'nin aktif kullanımı ile yeni bilgilerin üretimine dayanmaktadır.

Literatürde su kalitesi ve jeostatistiğin bir arada yer aldığı çalışmalarda yapılan incelemede, pek çok çalışmanın yeraltı sularında su kalitesinin değerlendirilmesine ilişkin

jeoistatistiksel yöntemlerin tematik haritalar oluşturmak için yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunların yanında; göl, baraj, lagün, kıyı suları gibi yerüstü su kaynaklarında da su kalitesine yönelik gerek haritalama gerekse mekânsal analiz çalışmalarının gerçekleştirildiği araştırmalar bulunmaktadır.

Nehirlerde ise mekânsal analiz çalışmaları olarak su kalitesi tahminlemesi için çalışmalar 2003 yılından itibaren ortaya koyulan yöntemler çerçevesinde jeoistatistiksel modellerin kullanımı geliştirilmeye başlanmıştır (Peterson ve Urquhart, 2006).

Jeoistatistik, rastgele değişken teorisine dayanan geleneksel istatistiğin ötesinde örneklerin konumunu hesaba katarak mekânsal ilişkileri tanımlamayan ve *"Bölgesel Değişkenler"* teorisine dayanan nispeten yeni bir metodolojidir. Bir değişken, uzay ve/veya zaman içinde dağılıma sahip ve değişkenin bulunduğu konumlar arasında belirli bir ilişki bulunuyorsa *"Bölgeselleştirilmiş"* olarak kabul edilebilmektedir. Değişkene ait gözlem değerleri arasındaki korelasyonun mesafeye bağlı olarak derecesini gösteren mekânsal otokorelasyon terimi geleneksel istatistikte kabul gören *"Bağımsız Örneklem"* kavramının aksine *"Mekânsal Bağımlılık"* kavramının kanıtı olmaktadır. Doğada birçok oluşum bulunduğu konuma göre bölgeselleştirilmiş değişken olarak tanımlanabilmektedir.

Chiles ve Delfiner'e (1999) göre, jeoistatistikte nicel olarak tanımlanabilecek doğadaki değişkenlere ilişkin örnekler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Bir maden yatağındaki cevher tenörü
- Jeolojik tabakanın derinliği ve kalınlığı
- Gözenekli bir ortamda gözeneklilik ve geçirgenlik
- Bir ormandaki belirli bir türe ait ağaçların yoğunluğu
- Bir bölgedeki toprak özellikleri
- Bir su toplama alanında yağış
- Atmosferdeki basınç, sıcaklık ve rüzgâr hızı
- Kirlenmiş bir sahadaki kirletici konsantrasyonları

Bölgesel değişkenler, düzensiz bir şekilde dağılım gösterdikleri için determinist fonksiyonlarla modellenememektedir. Bu nedenle, olasılıksal (stokastik) bir yaklaşım seçilerek değişken, rassal oluşum parametrelerine sahipmiş gibi gösterilmektedir (Uyguçgil, 2007).

Rassal fonksiyon, birbirine bağımlılığı olasılık mekanizmalarıyla belirlenen rastgele değişkenler kümesi olarak tanımlanmakta olup rassal ve yapısal eğilimleri aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

- Yerel olarak, nokta değeri $z(x)$ rassal bir değişken olarak kabul edilmektedir.
- Bu nokta değeri $z(x)$ aynı zamanda, her bir x_i ve $x_i + h$ nokta çifti için karşılık gelen rassal değişkenler $Z(x_i)$ ve $Z(x_i + h)$ bağımsız olmayıp mekânsal otokorelasyon göstermektedir.

Matheron, bölgeselleştirilmiş değişkenler kullanılarak tahmin yapılmasının mümkün kılınması için rassal fonksiyonla ilgili belirli “durağanlık” varsayımları yapılması gerekliliğinden bahsetmektedir.

Rassal fonksiyon $Z(x)$, her bir $x_1, \dots, x_i$ noktaları kümesi, her olası değerler kümesi için $w_1, \dots, w_i$ ve her h vektörü için ise durağandır.

$$P(Z(x_1) < w_1, \dots, Z(x_i) < w_i) = P(Z(x_{1+h}) < w_1, \dots, Z(x_i + h) < w_i) \quad (2.1)$$

Bu denklem (2.1), rassal fonksiyonun dağılımının noktaların konumlarına değil konfigürasyonuna bağlı olduğu anlamına gelir. Başka bir deyişle bu, "doğa"nın aynı konfigürasyon için benzer şekilde kendini tekrarladığı formüle edilebilir. Durağanlık hipotezleri, mekânsal homojenliğin çeşitli dereceleriyle ilgilidir. Varsayılan durağanlık türü, olasılık modellerinde ne tür istatistiksel çıkarımlara izin verildiğini gösterecektir.

Doğrusal jeostatistikte, rassal fonksiyonda ortalama ve varyans momentleri kullanılır. Bu nedenle, aynı birinci ve ikinci derece momentlere sahip iki rastgele fonksiyon arasında hiçbir ayırım yapılmamaktadır.

Birinci derece moment ortalama için denklem 2.2'deki şekilde yazılmaktadır. Burada m konuma bağlı olmayan değişkenin sabit ortalamasını göstermektedir.

$$E\{Z(x)\} = m \quad (2.2)$$

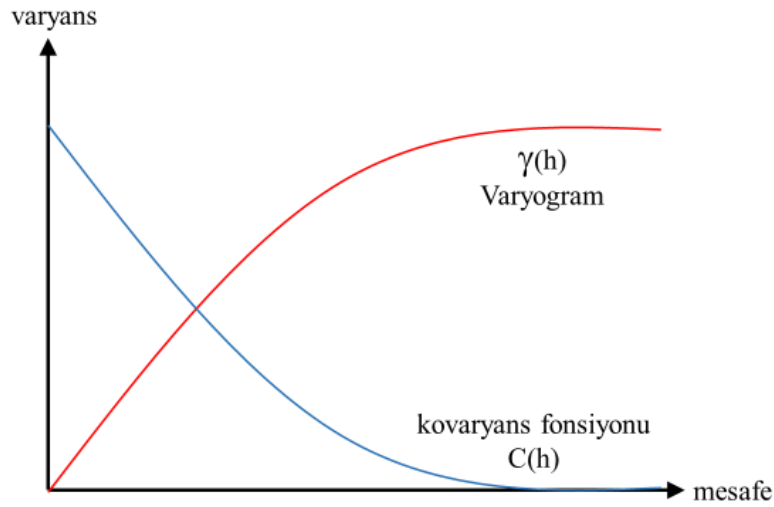
Durağanlık varsayımı ile sınırlanarak kullanılan ikinci derece momentler ise varyans, kovaryans ve varyogram/semivaryogram olarak denklem 2.3, 2.4, 2.5'deki şekilde yazılmaktadır.

$$\text{Var}\{Z(x)\} = E\{[Z(x) - m]^2\} = C(0) \quad (2.3)$$

$$C(h) = E\{Z(x)\} \cdot E\{Z(x+h)\} - m^2 \quad (2.4)$$

$$\gamma(h) = E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} = C(0) - C(h) \quad (2.5)$$

Elde edilen kovaryans denklemi (2.4) konuma değil mesafeye bağlı olarak h mesafesi üzerinden denkleme dönüşmektedir. Kovaryans, mesafeler göz önüne alındığında, bir mekânsal bağlam içindeki gözlem çiftleri arasındaki mekânsal otokorelasyonun gücünü karakterize etmektedir. Gözlem çiftlerindeki değerler arasında mesafeye bağlı mekânsal değişkenliği gösteren fonksiyon ise semivaryogram/ varyogram olarak bilinmektedir. Kovaryansın mesafeye bağlılığı varyogram/semivaryogramın da mesafeye bağlılığını gerektirmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Varyogram- kovaryans ilişkisi

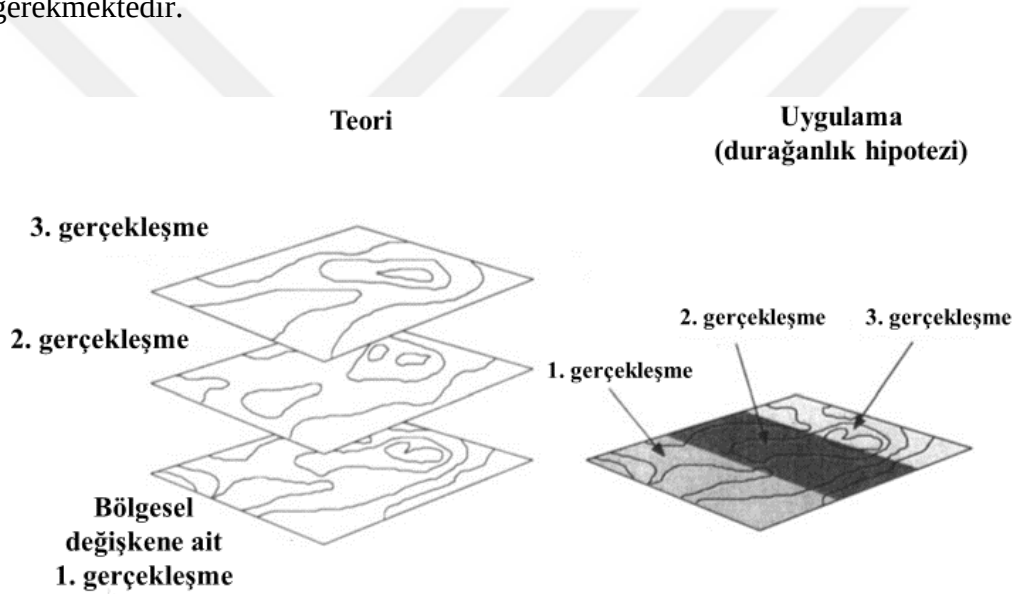
İkinci dereceden durağanlık hipotezi, bir kovaryansın ve dolayısıyla sonlu (a priori) varyansın $\text{Var}\{Z(x)\} = C(0)$ mevcudiyetini varsaymaktadır. Bu koşul altında, korelogram, $\rho(h)$ ve standartlaştırılmış varyogram, $\gamma_s(h)$, kovaryans ve varyograma benzer şekilde tanımlanarak kullanılabilir.

Doğada brownian hareketi gibi sonsuz bir dağılma davranışı olan süreçlerin varyansı veya kovaryansı yoktur. Bununla birlikte, değişkenlerin bakiyelerinin varyansı veya variogramları tanımlanabilir. Bu durum, içsel hipotez tanımlanırken ikinci derece durağanlığın Rassal Fonksiyon $Z(x)$ bakiyeleri ile sınırlandırılması olarak da kabul edilebilir (Pannatier, 1996).

Matheron'un işaret ettiği üzere durağanlık hipotezi, gerekli tekrarı elde etmek için ortaya koyulan mekânsal veri için uygun bir varsayımdır. Durağanlık varsayımları momentlere göre ortalama ve kovaryans/semivaryogramı temel alan iki farklı açıdan ele alınmaktadır. Ortalama durağanlık, örneklerin ortalamasını konumdan bağımsız sabit

kabul etmektedir. Kovaryans için kullanılan ikinci derece durağanlık “Bir değişkenin eşit mesafede bulunan herhangi iki gözlem değeri arasındaki kovaryans birbirine eşittir” varsayımına dayanmaktadır. Semivaryogram için içsel durağanlık ise “Bir değişkenin eşit mesafede bulunan herhangi iki gözlem değeri arasındaki farkların varyansı birbirine eşittir” varsayımına dayanmaktadır (Uyguçgil, 2007).

Jeoistatistikte, tahmin edilecek değerler, bilinen rassal değişkenlerin doğrusal bir kombinasyonu olan rassal bir değişkenin “gerçekleşme”si (realization) olarak kabul edilir (Şekil 2.7). Uygulamada $Z(x)$ rassal fonksiyonunu x noktasından yalnızca bir defa $z(x)$ değeri örneklenebilir. Benzersiz gerçeklik nedeniyle x konumunda sadece bir gözlem vardır. Model parametrelerinin de bu benzersiz “gerçekleşme”den çıkarılması gerekmektedir.



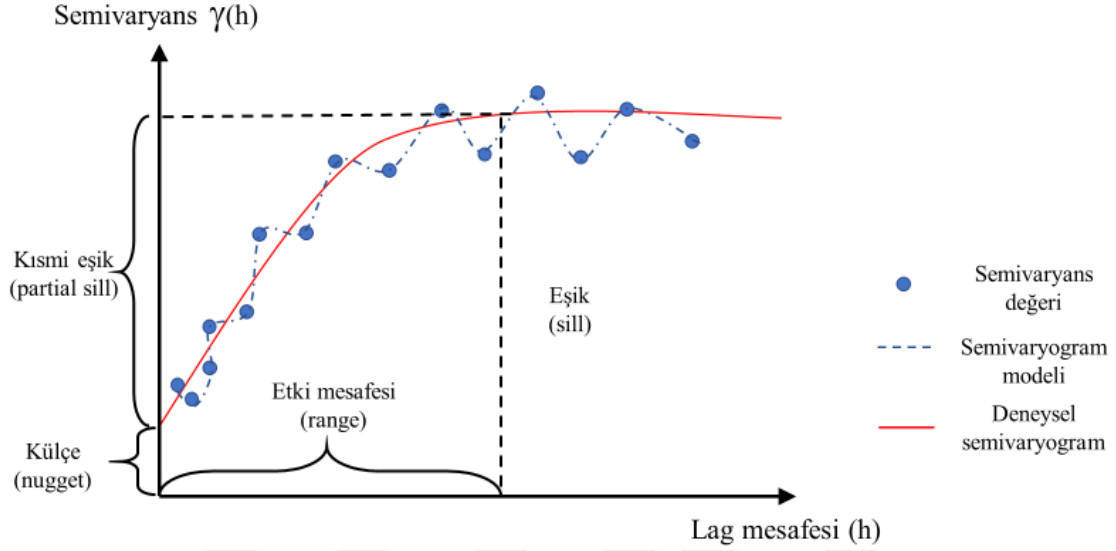
Şekil 2.7. Bölgeselleşmiş bir değişkenin çoklu gerçekleştirmeleri ve durağanlık hipotezi (Pannatier, 1996)

Sonuç olarak, deneysel bir varyogram içsel hipotez ile uyumsuzdur. Bu uyumsuzluk, çoğunlukla bir sapmanın (drift), yani incelenen süreçle ilişkili rassal fonksiyonun durağan olmayan matematiksel beklentisinin varlığını göstermektedir. Aynı zamanda, bir platoya ulaşmayan deneysel bir varyogram, altta yatan rassal fonksiyonun ikinci dereceden sabit olmadığına işaret etmektedir.

Söz konusu sapma, genellikle bir eğilim yüzeyi veya hareketli pencere haritası kullanılarak veri değerlerinden çıkarılabilir. Sapmanın giderilmesi, bakiyelerin mekânsal veri analizi üzerinden gerçekleştirilmelidir. Tüm jeoistatistiksel tahminler ve simülasyonlar daha sonra kalıntılar üzerinde gerçekleştirilir ve daha sonra sapma geri

eklenir. Rassal fonksiyonun mekânsal sürekliliğinin bir modeli, varyograma karşı yerleştirilebilir.

Bağımsız değişkenin çeşitli özellikleri yansıtan bir deneysel semivaryogram Şekil 2.8’deki gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Semivaryogram ve özellikleri

Deneysel semivaryogram hesaplamalarında kullanılan matematiksel denklem 2.6’da verilmektedir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2.6)$$

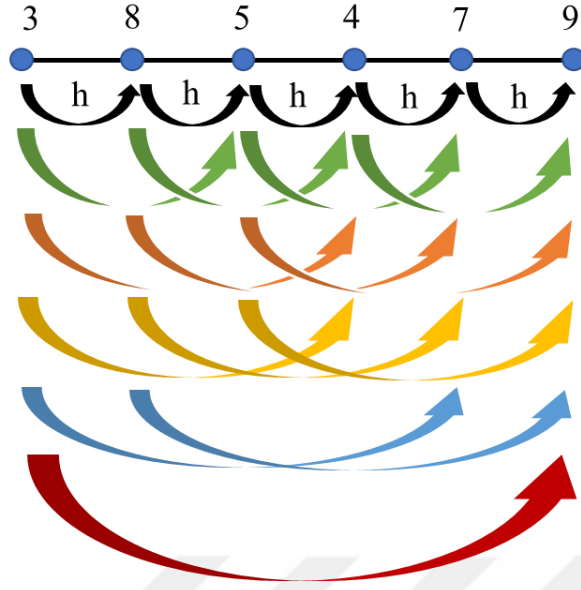
Burada yer alan eşitlikte:

Z(x_i) : x_i noktasındaki Z değişkeninin değerini,

Z(x_i + h): x_i + h noktasındaki Z değişkeninin değerini,

N(h) : birbirinden **h** uzaklığı ile ayrılan gözlem çifti sayısını ifade etmektedir.

Bir örnek üzerinden; h=10 metre için 10, 20, 30, 40 ve 50 m mesafedeki örnek çiftleri Şekil 2.9’da görülmektedir. Ayrıca, 10 ve 20 m uzaklığındaki deneysel semivaryogramın hesabına ilişkin matematiksel formülasyon ve sonuçlar aşağıda verilmektedir. Burada diğer mesafelerdeki çiftlerin hesapları yapıp mesafeye karşı değerler grafiğe çizildiğinde deneysel semivaryogram elde edilecektir.



Şekil 2.9. h uzaklığında farklı laglar için gözlem değerleri çiftleri

$$\gamma(10) = \frac{1}{2.5} \sum_{i=1}^5 [(3 - 8)^2 + (8 - 5)^2 + (5 - 4)^2 + (4 - 7)^2 + (7 - 9)^2]$$

$$\gamma(10) = 4,8$$

$$\gamma(20) = \frac{1}{2.4} \sum_{i=1}^4 [(3 - 5)^2 + (8 - 4)^2 + (5 - 7)^2 + (4 - 9)^2]$$

$$\gamma(20) = 6,125$$

Semivaryogram grafikleri değişkene ait bazı özellikleri içermektedir. Şekil 2.9'da yer alan grafikten de görüleceği üzere söz konusu özellikler aşağıda yer almaktadır.

Süreklilik (C): Süreklilik, sürekli artan " h " değerleri için $\gamma(h)$ büyüme oranıyla yansıtılmaktadır.

Külçe Etkisi (C_0): $h(0)$ 'daki $\gamma(h)$ semivaryogram değerini ifade etmektedir. Değişkenin yerel homojenliğini (veya eksikliğini) ifade etmektedir. Külçe etkisi, örneklemede karşılaşılan herhangi bir hata ile birlikte değerlerin mekânsal dağılımından kaynaklanabilen bir veri setinin doğal değişkenliğini temsil etmektedir.

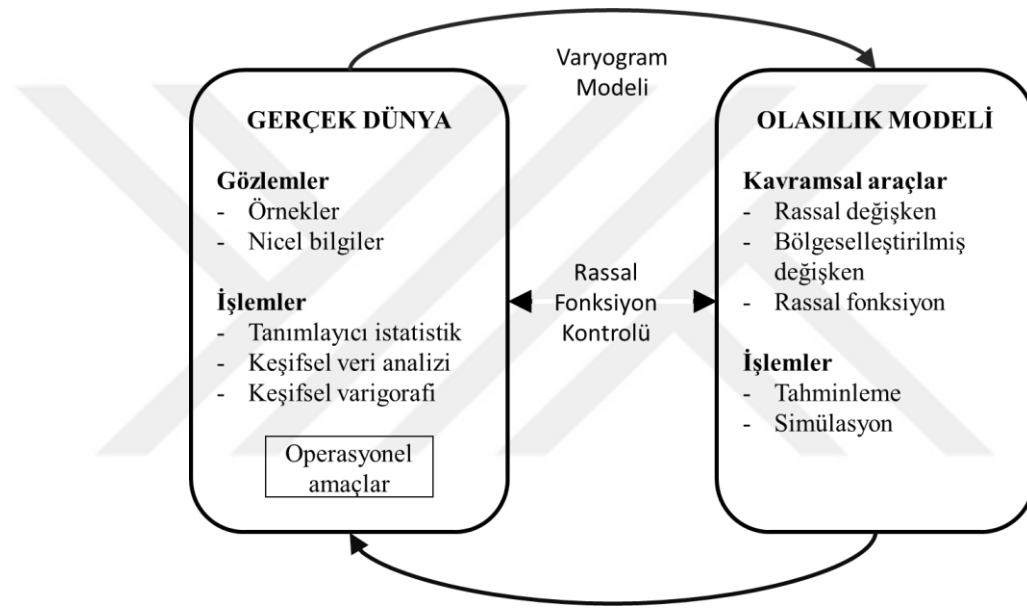
Eşik (C_0+C): Semivaryans fonksiyonunun $\gamma(h)$ plato olarak kabul edildiği değeri göstermektedir.

Etki mesafesi: Bir semivaryogramın, plato değerine eriştiği mesafeye, semivaryogramın etki mesafesi (range) denmektedir. Bu mesafesinin ötesinde, değişken

çiftlerinin değerleri birbiriyle korelasyon göstermez ve birbirinden bağımsız hale gelmektedir.

Yönlü Anizotropi: Belirli bir yönde diğer yönlerle kıyasla daha büyük sürekliliğe sahip olup olmadığını göstermektedir. Bu özellik, farklı yönlerde hesaplanan ilgili semivaryogram aralıkları karşılaştırılarak analiz edilir. Farklı yönlerdeki semivaryogramların çok benzer olduğu yerlerde, izotropik olduğu söylenir.

Özetle, jeostatistiksel yaklaşımı gösteren kavramsal çerçeve Şekil 2.10'da yer almaktadır.



Şekil 2.10. Jeostatistiksel yaklaşıma dair kavramsal çerçeve

2.2.3. Mekânsal nehir ağı modelleri

CBS'nin kullanımının yaygınlaşmasının etkisinde mekânsal veri ve analizlerinin havza ölçeğinde doğal kaynak yönetiminde giderek daha önemli bir rol oynadığı aşîkardır. Bu bağlamda, su kalitesinin ekosistem sağlığı üzerindeki etkilerin belirlenmesi, nehir ekosistemlerinin korunmasına/restorasyonuna öncelik verilmesi ve iklim değişikliğinin potansiyel etkilerinin tahmin edilmesi için istatistiksel su kalitesi modelleri mekânsal ilişkileri içerisinde gelişmeye başlamıştır (Scown vd., 2018).

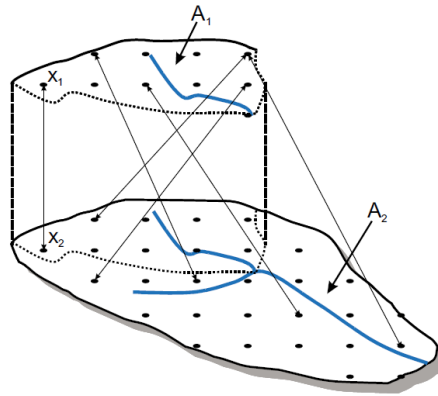
Mekânsal veri ve CBS, nehir ağı su kalitesi modellerinde genellikle 2 farklı amaçla kullanılmaktadır: Örneklenmiş bir bağımsız değişken (response variable) ile nehir segmentlerine ait su toplama alanları içerisinde çevresel abiyotik ortak değişkenleri

(covariate) arasındaki ilişkilerin araştırılması ve nehir ağı boyunca örneklenmemiş noktalarda bir bağımsız değişkenin mekânsal tahminlenmesidir.

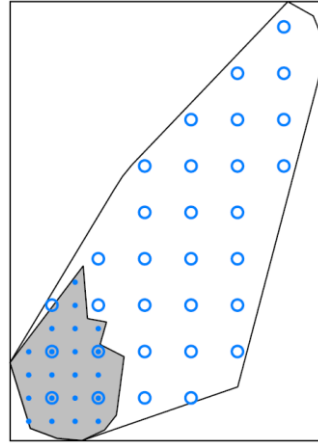
Nehir ağlarında örneklenmemiş noktaların doğru tahminleri, bu ağların özellikle büyük ölçekli alanların karakterize edilmesi ve yönetilmesi için değerli bilgiler sağlamaktadır. Memba-mansap arasındaki ayrım mesafelerinin tanımlanması kolay olmadığından, nehir ağlarında mekânsal interpolasyon nadiren uygulanmaya çalışılmıştır (Yuan vd., 2004). Bu anlamda, kriging'in nehir ağlarına uygulanması, noktalar arasındaki mesafe için uygun ölçümün açık olmaması nedeniyle karmaşıktır. Geleneksel kriging uygulamalarında, mekânsal otokorelasyon, komşu noktalar arasındaki öklid mesafesine dayalı olarak tahmin edilmektedir. Burada nehir ağlarında mesafe hesaplamaları için yeni bir yaklaşım getirilmesi gerekliliği doğmuştur. Ayrıca, iki nehir segmenti arasında çok kısa mesafeler bulunsa dahi nehir ağları bağlamında ancak bu mesafe bir su toplama alanı ayrımını aşabilmekte ve iki nehrin özellikleri çok farklı olabilmektedir. Bununla birlikte, nehir mekânsal otokorelasyon hesaplamasında yönlülük (memba-mansap) kısıtlamalarının hesaba katılması da önemli bir husustur. Bu sorunlar nedeniyle, geleneksel mekânsal interpolasyon nehir ağlarına uygulandığında etkisiz olmaktadır.

Bu kapsamda, özellikle 2000'li yılların ortalarından itibaren araştırmacılar mekânsal nehir ağı modelleme çalışmalarında yeni yöntemler sunmaya başlamışlardır. Bu çalışmalardan en önemli iki tanesi topolojik kriging (top-kriging) (Skøien, Merz ve Bloschl, 2006) ve mekânsal nehir ağı (SSN) (Ver Hoef, Peterson ve Theobald, 2006) yaklaşımlarıdır.

Top-kriging, özellikle hidrolojik açıdan akışı ve ilgili değişkenleri tahmin etmek için bir yöntem olarak sunulmaktadır. Nehir havzalarının hem alanı hem de iç içe geçmiş (nested) doğası hesaba katılmaktadır.

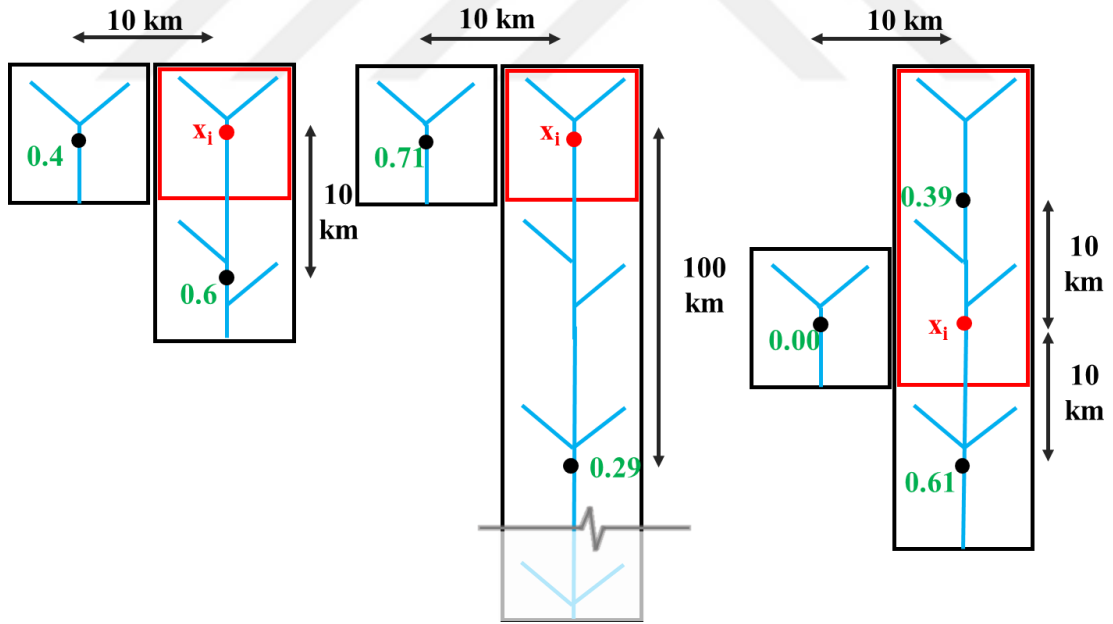


Şekil 2.11. Şematik akış ağı su toplama alan sınırları ve nokta çiftleri (Skøien, Merz ve Bloschl, 2006)



Şekil 2.12. Su toplama alanlarının ayrıklaştırılması (Skøien, Merz ve Bloschl, 2006)

Şekil 2.11. ve 2.12’de görüldüğü üzere top-kriging; gözlem ve tahmin noktalarını besleyen su toplama alanları üzerinden mesafe ölçümü gerçekleştirerek “Ghosh” mesafesi adı verilen mesafeyi kullanarak varyogram ve kovaryans matrisini oluşturmaktadır (Skøien vd., 2014).



Şekil 2.13. Top-kriging ağırlıklarında nehir ağı topolojisinin etkisi

Top-kriging, nehir ağlarında su toplama alanına dayalı bir modelleme yaklaşımı olduğundan, model sonuçlarında topolojik ilişkiler üzerinden kriging ağırlıkları etkili olmaktadır. Temel olarak, iç içe olan havzalar arasındaki ilişkilerde (Şekil 2.12) kriging ağırlıkları hem mesafeye hem de nehir ağ topolojisine bağlı olarak doğal bir şekilde

dağıtılmaktadır. Aynı nehir sisteminde yakın bir gözlem noktası mevcut olduğunda, bitişik nehir sistemine daha az ağırlık verilmektedir. Bununla birlikte, aynı nehir sistemindeki bir sonraki gözlem noktası çok daha uzakta olduğunda, bitişik bir nehir sistemindeki yakın bir alana daha fazla ağırlık verilmektedir. Aynı nehir sisteminde, iki gözlem noktası arasında kalan bir nokta, aynı yakınlıkta olan farklı bir nehir ağındaki noktadan etkilenmemekte olup bu noktada ağırlık 0 olmaktadır (Şekil 2.13).

Ortaya çıkışı açısından top-kriging, akım ölçümlerinin bulunmadığı su toplama alanlarında belirsizliği dahil bir değişkenin tahminine izin veren bir yöntem olarak kullanılmıştır. Her ne kadar Laaha vd., (2013) tarafından nehir su sıcaklıklarının modellenmesi açısından bir çalışma yapılsa da top-kriging su kalitesi parametreleri açısından hali hazırda kullanılmayan bir modeldir.

Mekânsal nehir ağı modelleri başlığı kapsamında yer alan diğer model olan SSN, bu bölümün başlığına da ismini vermektedir. Literatür çalışmalarında, bir kategori altına alınmayan bu model yaklaşımları bu tez kapsamında mekânsal nehir ağı modelleri başlığı altında değerlendirilmiştir. SSN modeli, nehir ağlarındaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişkenleri modelleyerek tahminlemek için kullanılabilecek bir dizi analitik araç sağlamaktadır. Bu modeller, hem geleneksel jeostatistikte kullanılan öklid mesafesi hem de hidrolojik mesafelere dayanan konumlar arasındaki mekânsal otokorelasyonu kullandıklarından benzersizdirler. Bu açıdan, nehir ağlarında izleme stratejilerinin tasarımı ve sürekli izleme istasyonu olan veri tabanlarından bilgi türetilmesi için pratik uygulamalara sahiptirler. SSN mekânsal nehir ağı verisi üzerinden modelleme yapabilen bir dizi fonksiyonu içeren R yazılımını kullanan mekânsal istatistik paketidir.

Mekânsal nehir ağı modellerinin oluşturulması, sucul ekosistemlerin ekolojisi/kimyası/biyolojisi, hidrografi ve mekânsal istatistik alanlarında çok disiplinli bir konu olmakla beraber, nehir ağlarına ilişkin ihtiyaç duyulan verileri üretmek için özelleştirilmiş CBS araçlarına ve ileri seviyede uzmanlığa ihtiyaç bulunmaktadır. Bu kapsamda, söz konusu mekânsal verilerin üretimine yardımcı olmak için ArcGIS yazılımı üzerinde Nehir Ağlarının Analizi için Mekânsal Araçlar (STARS - Spatial Tools for the Analysis of River Systems) özel araç seti araştırmacıların kullanımına sunulmuştur (Peterson ve Ver Hoef, 2013).

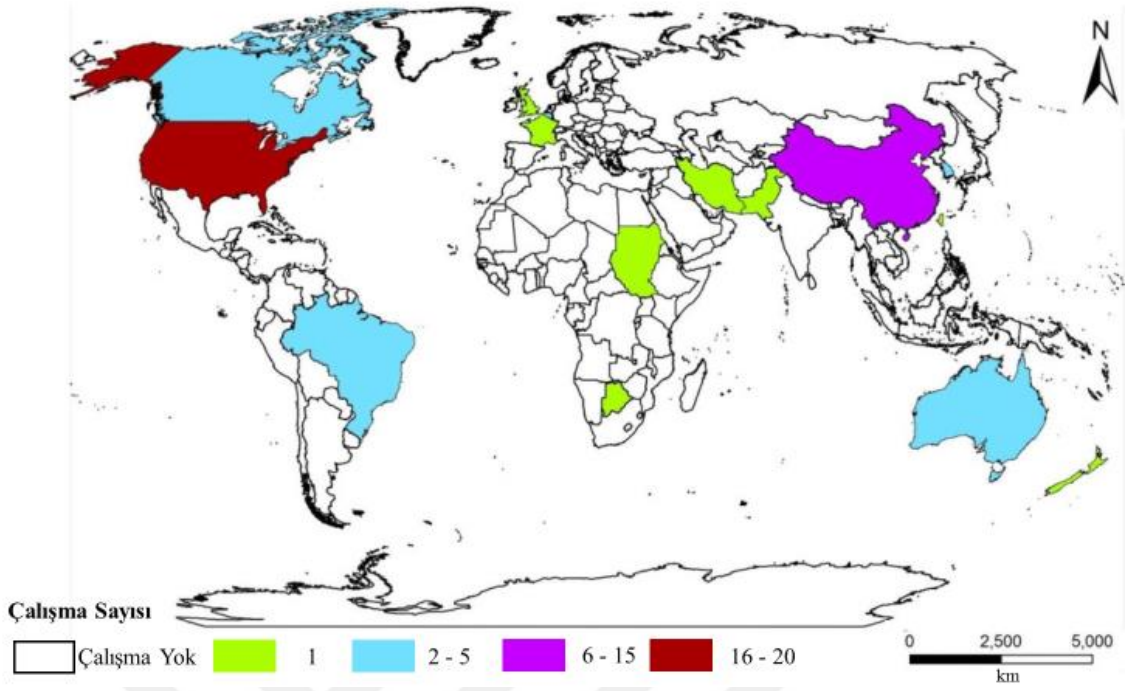
SSN modelinin en özgün özelliği, nehir ağı içerisinde hidrolojik mesafeleri ve akış yönlerini temel alan tail-up ve tail-down kovaryans modellerini ortaya koymasıdır. Bu özellikleriyle nehir ağlarında gerçekleştirilen su kalitesi modelleme çalışmalarında

çoğunlukla su sıcaklığı parametresi (Guillemette vd., 2009; Falke vd., 2015; Steel vd., 2016; Turschwell vd., 2016; Marsha vd., 2018; Isaak vd., 2018; Detenbeck vd., 2018; Beauprè vd., 2018; Figary, Detenbeck ve O'donnell, 2020; Gendaszek vd., 2020) olmak üzere, çözülmüş oksijen (Post vd., 2018), çözülmüş organik karbon (French vd., 2020), nitrat (French vd., 2020), toplam fosfor (Scown vd., 2017; French vd., 2020), tuzluluk, biyolojik su kalitesi bileşenleri (makroomurgasız ve balık türleri) (Frieden vd., 2014), mikrobiyolojik parametreler (E.coli vb.) (Neill vd., 2018; Holcomb vd., 2018), hidrolojik akış durumu (Gendaszek vd., 2020), çevresel akış (Segura vd., 2009) değişkenleri için kullanılmıştır.

Mainali vd., 2019 yılında gerçekleştirdikleri incelemede, su kalitesiyle ilgili farklı regresyon modellerini ve bu modellerin mekânsal ilişkilerini araştırmıştır. Literatür, su kalitesi ile ilgili araştırmacılara mekânsal istatistiğin temel kavramını anlamaları için bir yol sunmakla beraber, uygun bir modelleme yaklaşımı seçmelerine yardımcı olan su kalitesi modellemesinin mekânsal yönleriyle ilgili kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. Bu açıdan, mekânsal mesafe ve hata, mekânsal özvektör tabanlı modeller, coğrafi ağırlıklı regresyon ve mekânsal nehir ağı tabanlı modelleri içeren farklı çalışmaları değerlendirmektedir. Araştırma, su kalitesine dayalı regresyon modelleme yaklaşımlarının, öklid mesafesine dayalı mekânsal ilişkilerden memba-mansap ilişkilerine doğru kaydığını ortaya koymaktadır.

Gerçekleştirilen inceleme kapsamında yer alan pek çok çalışmada, ağırlık matrislerinin yazılımların yönlendirdiği şekilde kullanıldığı ve değiştirilmediği tespit edilmiştir. Çalışmaların çoğunda, nehir segmentlerinden havza boyutuna kadar farklı ölçeklerde süreçlerin ayrı ayrı ele alındığı görülmüştür. Genel olarak, tahminleyici değişkenlerin tepki değişkenini tahmin etme kapasitesinin, mekânsal regresyonlar kullanıldığında önemli ölçüde iyileştiği ortaya koyulmuştur.

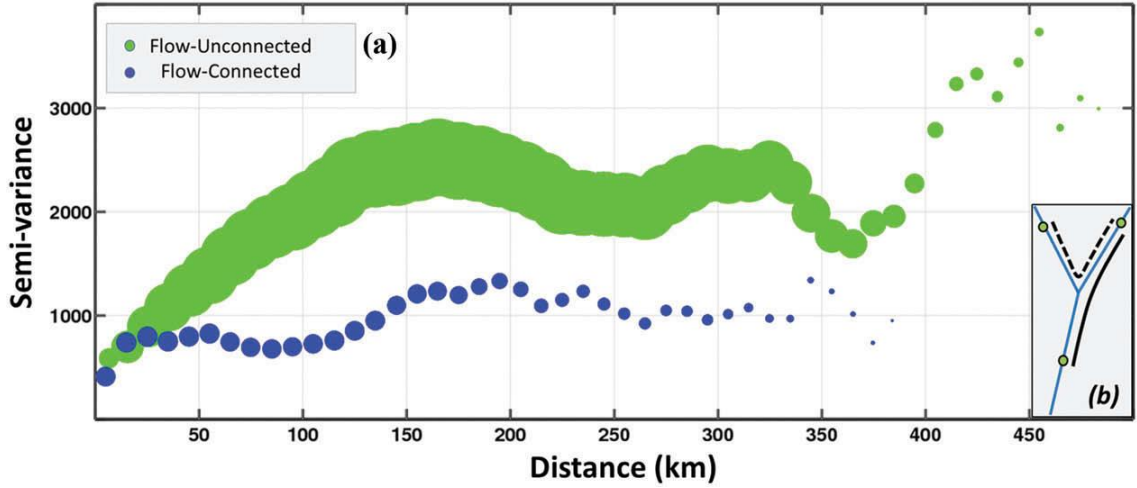
Mekânsal hata ve mesafe, coğrafi ağırlıklı regresyon, mekânsal özvektör tabanlı modeller ve mekânsal nehir ağı modelleri olmak üzere 4 farklı mekânsal yaklaşıma ilişkin model, 2000-2018 yılları arasında yayınlanan toplam 54 çalışmada Mainali ve ark. (2019) tarafından incelenmiştir.



Şekil 2.14. 2000-2018 yılları arasında ülkeler bazında yayımlanan mekânsal nehir ağı modelleme çalışmaları

Mevcut yayınlara ilişkin çalışmaların gerçekleştirildiği ülkeler (Şekil 2.14) üzerinden yapılan değerlendirmede, gelişmekte olan ülkelerin yerüstü su kaynakları kalitesinin kötüleşmesine karşı en savunmasız olmalarına rağmen aynı zamanda en az araştırma yapılan ülkeler olduğu ifade edilmiştir. Aynı incelemede araştırmacıların su kalitesi ile havza karakteristikleri arasında en iyi temsiliyeti sağlayacak veri ölçeğini belirlemek için çalışmalar gerçekleştirdikleri ancak modelin farklı ölçekler karşısında verdiği etkiyi karşılaştırmadıkları, nadiren farklı ölçekteki verileri aynı regresyon modelinde kullandıkları ortaya konmuştur.

El Saadani, Zimmerman ve Krajewski'nin 2018 yılında gerçekleştirdiği çalışmadaki temel amaç, hidrolojik modelleme uygulamalarında havza boyutunun ve nehir ağı konfigürasyonunun uydu yağış ürünü IMERG (Multisatellite Retrievals for GPM) ile yersel yağış ürünü MRMS (Multi-Radar/Multi-Sensor) arasındaki tutarsız sonuçların karşılaştırılmasını sağlayacak bir çerçeve sunmaktır. Bu çalışmada, tahmin olarak yağış miktarı, akış yukarı mesafe ve drenaj alanı karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. Elde edilen Torgegram (Şekil 2.15) mekânsal otokorelasyonun akış ilişkili modelde 20 km, akış ilişkili olmayan modelde ise 150 km menzile sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.15. Yağış miktarına ait Torgegram (El Saadani, Zimmerman ve Krajewski, 2018)

Neill vd., (2018) tarafından, Kuzeydoğu İskoçya'da farklı sınıflarda arazi kullanımı bulunan 52 km² büyüklüğe sahip bir su toplama alanında yer alan 10 adet izleme istasyonundan 11 yıla ait toplanan E. coli konsantrasyonlarının, SSN modeli kullanılarak akış ve mevsimle açıkça ilişkili olmadığı ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte, yan kollardan gelen kirlilik yükünün daha az ancak yüksek debiye sahip olabileceği yorumlanmıştır. Mekânsal farklılığın tahmininde, noktasal kirletici kaynakları kullanılarak üretilen antropojenik baskı indeksi verilerinin önemli bir ortak değişken olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında, mekânsal nehir ağı modellerinin su yönetimi çerçevesinde hedef olarak “sıcak noktaları” belirlemek ve fekal kontaminasyonu ile ilgili tahminleri kullanarak daha fazla noktada izlemenin yapılacağı alanları sınırlandırmayı vurgulamak için kullanışlı araçlar olduğu belirtilmiştir.

Marsha vd., (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada, Washington'da yer alan 2.400 km² su toplama alanına sahip Snoqualmie Nehir Havzası'nda, 20 izleme noktasından elde edilen su sıcaklığı veri kümesine SSN modeli uygulamıştır. Elde edilen sonuçlar, örnek sayısı, yeni noktaların konumu ve modelleme yaklaşımının seçimi ile ilgili değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu çerçevede, izleme istasyonlarının sayısının artırılmasını tahmin hassasiyetini arttırdığı ve nispeten az sayıda izleme noktasının (20) mekânsal olarak uygun dağıldığında dahi modellerin yeterli sonuçları verdiği ortaya konulmuştur. Yeni istasyonların eklenmesi avantajlı olsa da model performansında büyük farklılıklar gözlemlenmediği tespit edilmiştir. Ekstrem termal rejimlere sahip nehir ağının bölümlerine yeni istasyonlar eklemenin yakın noktalardaki tahminleri iyileştirdiği ancak nehir ağının geri kalanında yapılan tahminlerin hassasiyetini azalttığı gözlemlenmiştir.

İzlenen istasyonlar arasında mekânsal yapının modellere dahil edilmesinin kayda değer bir fark yaratmadığı ancak tahmin konumlarındaki belirsizliğin daha doğru olarak ortaya koyulması açısından önemli olduğu görülmüştür.

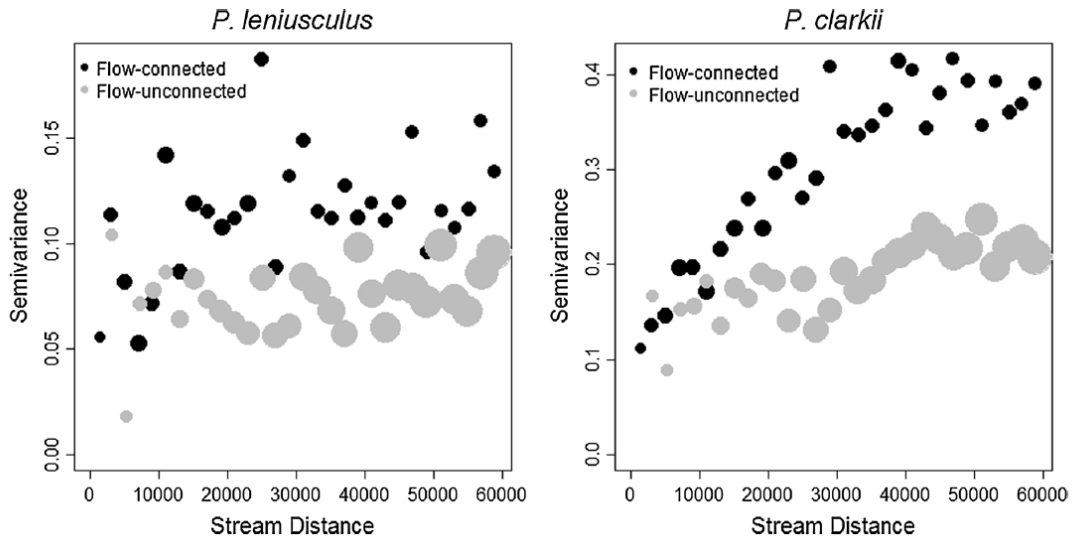
Holcomb vd., (2018), Kuzey Karolina’da Jordan Gölü’nü besleyen nehir ağı üzerinde 19 istasyondan elde edilen 676 fekal koliformu (FC) bakteri konsantrasyon ölçümünü mikrobiyal su kalitesi için mekânsal-zamansal otokorelasyonu ampirik olarak modelleyen jeostatistiksel tahmin modelleri geliştirmiştir. Burada 5 farklı model, meteorolojik ve arazi kullanım ortak değişkenleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Hidrolojik mesafelerin (akış ağırlıklı ve akış ağırlıksız) öklid mesafelere göre tahmin modeli geliştirilmesinde başarı oranı düşük olsa da zamansal otokorelasyonu dahil edilen modellerin sadece mekânsal modellere göre tahminlemeyi önemli ölçüde geliştirdiği görülmüştür. Bu açıdan, mekânsal-zamansal tahmin modellerinin uygulanması, su kalitesini yeterince değerlendirmek için gereken eşzamanlı örnekleme konumlarının sayısını azaltmak için jeostatistik modellerin faydalı araçlar olduğunu ortaya koymuştur.

Isaak vd., (2017) Amerika Birleşik Devletleri’nde Ulusal Hidrografi Veri Seti tarafından sağlanan çerçeveyi kullanarak 22.700’den fazla nehir konumunda ve onlarca farklı kurumdan elde edilen 220.000.000 su sıcaklığı kaydını içeren NorWeST veri tabanında yer alan 22.751 izleme istasyonundan 63.641 adet Ağustos ayı uzun yıllar ortalama su sıcaklığı verisi, mekânsal nehir ağı modelleri kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan model kapsamında, ortak değişken olarak rakım, eğim, hava sıcaklığı riparyan bölge yüzde (%) gölge değerleri belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, model performansı %90’dan fazla olarak hesaplanmıştır.

Scown vd., (2017) Ohio’daki East Fork’ta yer alan 1.290 km²’lik bir havzada gerçekleştirdiği çalışmayla, ulusal olarak üretilmiş olan mevcut mekânsal veriler kullanılarak geliştirilen toplam fosfor konsantrasyon modellerinin uyumunu ve tahmin doğruluğunun iyileştirilmesini araştırmaktadır. Bununla beraber, çoklu doğrusal regresyon (mekânsal olmayan) modeller üzerinden SSN modelleme yaklaşımının geliştirilmesi de araştırılmıştır. Söz konusu çalışmada, 105 istasyonda toplam fosfor konsantrasyonları modellenmiştir. Bu kapsamda, model uyumu ve tahmin doğruluğu açısından yerel ortak değişkenleri içeren SSN modelinin en yüksek, ulusal veriler kullanılarak geliştirilen mekânsal olmayan modellerin en düşük değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Mekânsal modellerde, septik sistemler ve noktasal toplam fosfor yüklerinin önemli ortak değişkenler olduğu tespit edilmiştir. Bu değişkenlerin modellerin

doğruluğunu iyileştirmenin yanında, toplam fosfor konsantrasyonlarını etkileyen süreçlerin daha açık bir şekilde yorumlanmasını sağladığı ortaya koyulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, SSN modellemesinin tahminlemeyi büyük ölçüde iyileştirdiğini ve ulusal değişkenler kullanılırken uygulanması gerektiğini göstermektedir.

Filipe vd., 2017’de gerçekleştirdiği çalışmada, tür istilalarını anlamak ve tahmin etmek için çevresel ve mekânsal bileşenleri birleştiren tür dağılım modellerini kullanmaktadır. Bu kapsamda, nehir ağlarında yaşayan istilacı türlerin modelleme dağılımları ve kolonizasyon yollarını güçlü bir şekilde kısıtlayabilen dendritik mekânsal yapıları dikkate almak üzere SSN modelini, Akdeniz havzasında görülen iki istilacı kerevit (*Procambarus clarkii* ve *Pacifastacus leniusculus*) üzerinde uygulayarak değerlendirmektedir. Gerçekleştirilen uygulama kapsamında, strahler nehir derecelendirmesinin *P. clarkii* türü üzerinde pozitif yönlü bir etkisi tespit edilmiştir. *P. Leniusculus* türü, daha yüksek rakımlardaki büyük dereceli nehirlerle ilişki göstermektedir. Ayrıca, her iki tür için de çevresel değişkenler ile tail-up ve öklid mekânsal bileşenleri içeren modellerin daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Söz konusu türlere ilişkin, torgegramlar (Şekil 2.16) üzerinden *P. Clarkii* türünün daha kuvvetli bir mekânsal otokorelasyon gösterdiği yorumlanmaktadır.



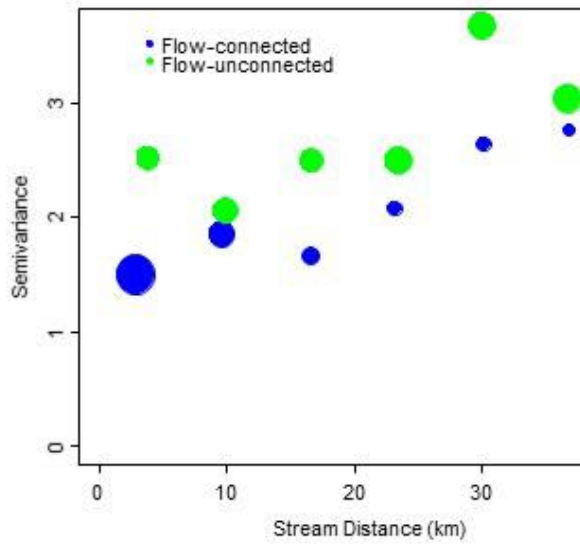
Şekil 2.16. İstilacı iki türe ait Torgegramlar (Filipe vd., 2017)

Steel vd., (2016), ABD'deki 2.400 km² su toplama alanına sahip Snoqualmie Nehri üzerinde yaptıkları çalışmada, 32 istasyondan elde ettikleri ortalama su sıcaklıklarının

genel olarak rakımla yüksek oranda ilişkili ve yıllık olarak değiştiğini söylemekte olsa da termal rejimin yılın belirli zamanlarında benzersiz mekânsal otokorelasyona sahip olduğunu ifade etmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada, zamansal ve mekânsal farklılıklara sahip 13 farklı sıcaklık metriği kullanılmaktadır. Rakım, yıllık ortalama akış ve ticari alanlar (%) olmak üzere güçlü bir ilişki gösteren ($r^2 > 0,60$) 3 farklı ortak değişken kullanılsa da mevsimsel olarak bu ilişkiler değişiklik göstermektedir.

Turschwell vd., (2016) su kalitesi modellerinde; günlük su sıcaklıklarını veya termal rejiminin toplu bir metriğinin kullanılması kapsamında bir belirsizlik olduğunu belirtmektedir. Bu kapsamda, 29.150 km² su toplama alanına sahip Avustralya, Queensland Yukarı Condamine Nehri'nde temin edilen 60 istasyondaki su sıcaklığı verileri üzerinde mekânsal istatistiksel nehir ağı modelleri (SSNM'ler), random forest ve mekânsal olmayan lineer modelleri uygulanmış olup bu modelleri; termal rejimi mekân ve zaman üzerinden büyüklük, süre ve sıklık metrikleri ile yarı sürekli olarak tahmin etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar itibarıyla, SSNM'lerin random forest modellerden daha hassas tahmin kabiliyetine sahip olduğu, lineer olmayan modellerden ise çok daha iyi modeller oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma ile, su sıcaklığının yerine ekolojik yaşam açısından termal rejimi gösteren bir metrik paketinin kullanımının mekânsal ilişkiler açısından modellemeye daha uygun olacağı ortaya koyulmaktadır.

Detenbeck vd., (2016), İngiltere'de yer alan nehirlerde yaklaşık 900 istasyondan elde edilen termal rejim verisini, Mayıs-Eylül bitki büyüme sezonu için (Temmuz veya Ağustos ortalama sıcaklık, günlük değişim oranı ve maksimum büyüme mevsiminin büyüklüğü ve zamanlaması) elde edilen 78 aday metriğin temel bileşen analizi yoluyla indirgenmiş bir metrik setine dayalı olarak öklid ve akış ağı mesafeleri ile otokorelasyon kullanan mekânsal istatistik modeller geliştirilerek uygulamaktadır. Çalışma kapsamında akış ağı mesafesi yerine kullanılan seyahat (tutulma) süresine dayalı mekânsal otokorelasyonlara ait Torgegramın (Şekil 2.17) genel olarak model tahmin doğruluğunu iyileştirmede gözlenmiştir. Model; ortalama hava sıcaklığı, tahmini kentsel ısı adası etkisi, gölgeli güneş radyasyonu, nehir eğimi, havzada depolama (göl ve sulak alan yüzdesi), kaba taneli yüzey çökeltilerinin yüzdesi ve membada yer alan gölün maksimum derinliği verilerinin bir fonksiyonu olarak aylık medyan Temmuz- Ağustos akış sıcaklıklarını sırasıyla 1.4 ve 1.5 °C RMSE ile tahminlemiştir.



Şekil 2.17. Su sıcaklığına ait Torgegram (Detenbeck vd., 2016)

Falke vd., (2016) tarafından biyolojik kriterlerini, tür dağılım modelleri ve nehir sıcaklığının jeostatistiksel modelleriyle entegre eden bir yaklaşıma dayalı olarak, soğuk su balıkları için nehir suyu sıcaklığının mekânsal açıdan modelleme çalışması ortaya koyulmaktadır. Nevada'nın kuzeyindeki Büyük Havza'da bulunan, Reese Nehri'nin memba kısmında yaşayan Lahontan Cutthroat Alabalık "*Oncorhynchus clarkii henshawi*" türü için termal bozulma olasılığı yüksek nehirlerin tespiti için uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama ile nehir ağı içinde fiziksel ve biyolojik kalitede bozulmanın en muhtemel olduğu, en yüksek yönetim önceliklerini temsil edecek yerler belirlenmiş olup bu yaklaşımın bozulmanın tespiti ile daha büyük heterojen nehir ağlarında ayrıntılı değerlendirmeler için öncelikleri belirlemede yararlı bir araç olacağı öngörülmüştür.

Frieden vd., (2014) tarafından, sucul biyolojik kalite bileşeni olan makroomurgasız verisinde mekânsal istatistiksel nehir ağı modellerinin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Makroomurgasız indekslerinden; kirlilik toleranslı takson yüzdesi, takson zenginliği ve nehir içi takson sayısı modellere uygulanmıştır. Otokorelasyon etkisinin indeksler arasında değiştiği, mekânsal modellerin mekânsal olmayan modellerden daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Nehir ağında kullanılan mekânsal ağırlıklandırma şemasının, nehir içi canlılar için model performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Yüzde akış eğimine dayalı mekânsal ağırlıklarının; dağılım ve habitat heterojenliği üzerindeki potansiyel etkisi nedeniyle kullanılan akış hızı ve diğer mekânsal

ağırlıklandırma şemalarından daha doğru tahminler ürettiği ortaya koyulmuştur. Elde edilen sonuçlarla modelleme yaklaşımının esnekliği ve sucul /karasal ortamlar arasında çok ölçekli yapıları ve süreçleri hesaba katma yeteneğini gösterdiği ortaya koyulmuştur.

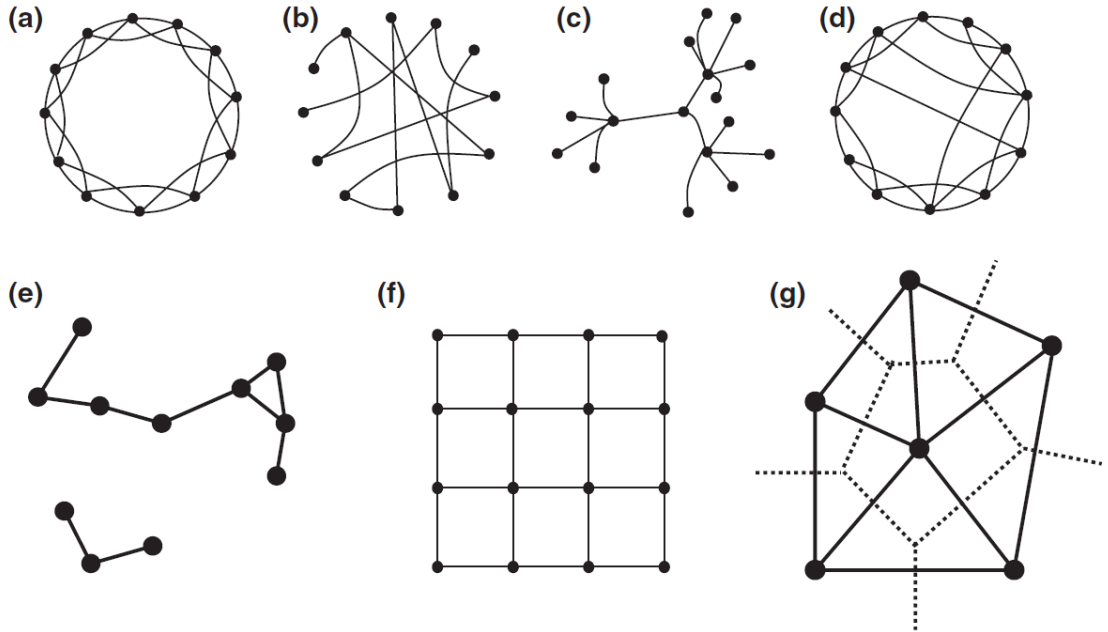
Garreta, Monestiez ve Ver Hoef (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile nehir ağlarında jeostatistiksel modellerin kullanımı tartışılmaktadır. Bu kapsamda, mekânsal karakteristiklerine göre farklılık gösteren iki değişken sıcaklık ve nitrat konsantrasyonu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler, Fransa'nın kuzeydoğusundaki Meuse ve Moselle havzalarını içeren 5000 km'den daha uzun olan bir nehir ağı üzerindeki 187 izleme istasyonundan temin edilmiştir. SSN modelinde, Tail-up ve tail-down kovaryans modelleri tek tek ve karma olarak uygulanarak gözlem yapılmayan noktalarda su sıcaklığı ve nitrat konsantrasyon değerleri kriging ile tahminlenmiştir. Karma modelin, iki parametre için de ortalama kare tahmin hatalarında daha düşük değerler verdiği ortaya koyulmuştur. Tail-up modeli için kullanılan ağırlık fonksiyon değerlerinde (Cressie vd., 2006) yukarı akışta yer alan nehir segmentlerin toplam sayısı kullanılmıştır.

Cressie vd., (2006), Avustralya Güney Doğu Queensland'da bir nehir ağı üzerinde 2002-2003 yılları arasında 134 istasyonda ölçülmüş olan günlük çözünmüş oksijen değişimi verilerini kullanarak mekânsal olarak tahminleme çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada öncelikle nehir ağındaki nehirler; boyut, rakım, eğim ve yağış şiddetine göre sınıflandırılmıştır. Sonrasında, pek çok çalışmaya ilham veren coğrafyanın birinci yasası temel alınarak nehir ağı üzerinde ölçüm noktaları ve memba mansap ilişkileri göz önüne alınarak kovaryans fonksiyonu ile mesafeler arasında ilişkiler araştırılmıştır. Nihai olarak, kriging uygulanarak tahminleme noktalarında değerler elde edilmiş olup kriging standart hataları da haritalanarak sunulmuştur. Bu çalışma, varyans-kovaryans kısıtlamalarının aykırı sayılabilecek ekstrem çevresel durumları tahminlemedeki etkisinin de gösterilebilmesi açısından önem taşımaktadır.

3. METODOLOJİ

Havza ölçeğinde nehir ekosistemlerinde, su kalitesinin mekânsal analizi ve modellenerek tahminler üretilmesi su yönetiminin sürdürülebilirliği açısından önemli çalışmalardır. Bununla birlikte, sucul ekosistemlerin mekânsal olarak daha iyi karakterize edilebilmesi için ağ tabanlı yapıların ve analizlerinin kullanılması son yıllarda çarpıcı biçimde artmıştır (Dale ve Fortin, 2010).

Grafik-teori temelli yaklaşımlar (Urban vd., 2009) kapsamında ağ modelleri, ekolojik bir sistem olarak etkileşime giren bir dizi bileşen arasındaki nicelik ve nitelik olarak ilişkileri kavramsallaştırmak ve tanımlamak için kullanılan gerçekliğin basitleştirmeleridir. Özellikle, büyük ölçüde yakınlığa dayalı işlevsel bağlantılarla habitat ağlarının coğrafyası, ağ modelleri ile teorik grafiklere benzer hale getirilmektedir (Şekil 3.1).

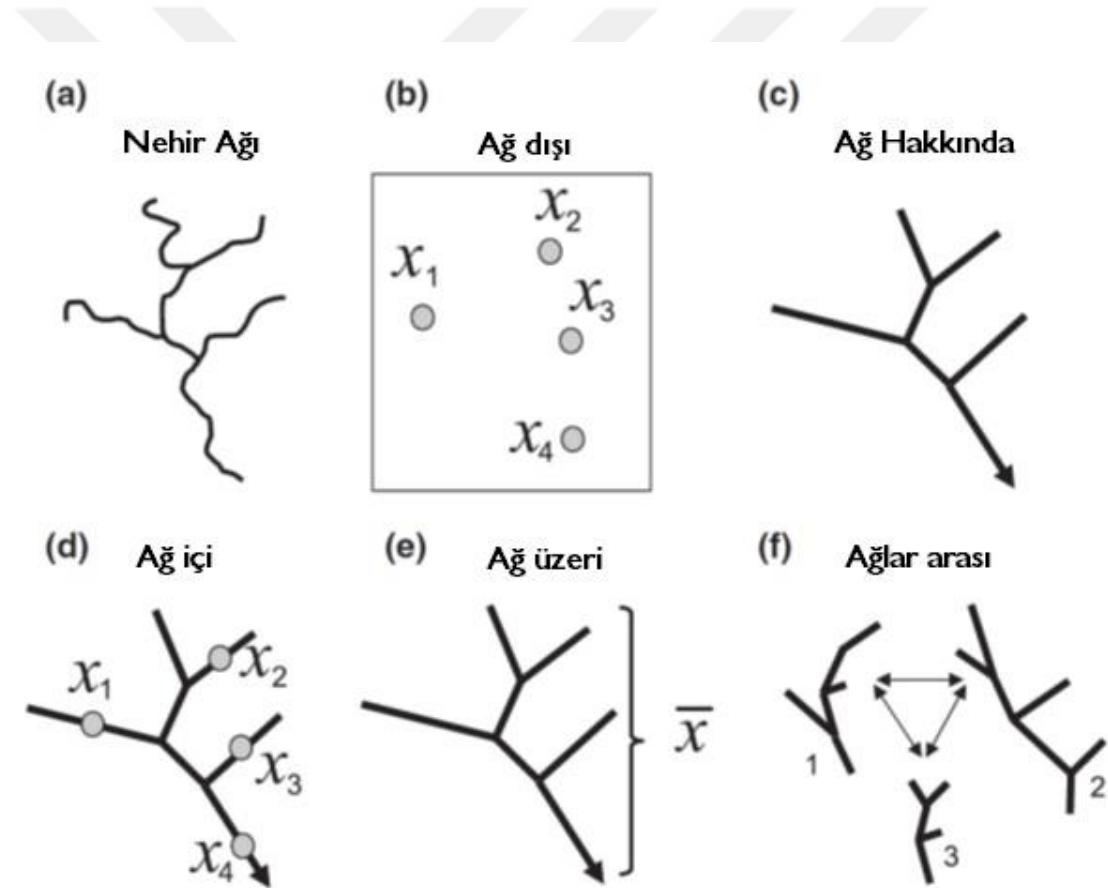


Şekil 3.1. Grafik ağ modelleri örnekleri

Dendritik ekolojik ağlar (DEN) (Grant vd., 2007), doğal olarak fiziksel bir dendritik ağ topolojisi sergileyen ekosistemlerdeki mekânsal ilişkileri tanımlamak için kullanılır. Dendritik ağ içerisinde yukarı doğru ilerlerken boyut olarak küçülen ve hiyerarşik olarak artan bir ana gövde ve dallardan oluşan ağaçsı çatallanmanın geometrik modelini tanımlamaktadır. Biyolojik ve fizikokimyasal süreçler, kenarlar (edges) olarak temsil

edilen düğümler (nodes) arasındaki ilişkilerle DEN'lerde gerçekleşmektedir. Örneğin, nehir habitatının mevcudiyeti ve mekânsal olarak dağılımı bir balık türünün potansiyel dağılımını etkileyebilirken, ağın dallanma yapısı bu habitatlara ve bunun sonucunda türlerin etkileşimlerine dağılmayı etkilemektedir (Angermeier vd., 2002).

Dendritik ağlarda gerçekleştirilecek analizlerde; ağ dışı, ağ içi, ağ üzeri gibi analiz yöntemleri olarak sınıflandırılan çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Şekil 3.2). Ağ analizi yöntemlerindeki bu sınıflandırma, araştırmacıların nehir ağlarında ve diğer DEN'lerde sucul ekoloji ve etkiyen süreçleri analiz etmek için yaygın olarak kullanılan analitik yöntemler arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları (Tablo 1.) anlamalarına yardımcı olmak için pragmatik bir çerçeve görevi görmektedir (Peterson vd., 2013).



Şekil 3.2. Ağ analiz yöntemleri

Tablo 3.1. Ağ analizleri

Veri Türü	Örnekler	Analiz Yöntemleri				
		Ağ dışı	Ağ hk.	Ağ içi	Ağ üzeri	Ağlar arası
Hidrolojik Nehir Ağı yapısı (tüm ağ)	Su toplama alanı yoğunluğu, ağ bağlantısallığı metriği		✓			✓
Hidrolojik Nehir Ağı yapısı (alt ağlar)	Nehir derecesi, nehir kenar (edge) ağırlığı	✓	✓	✓	✓	
Fizikokimyasal ve biyolojik süreçler veya öznitelikleri	Su kalitesi indikatörleri, sucul canlı bolluk ve çeşitliliği	✓		✓	✓	
Hidrolojik Yapı ve Süreçlerin Entegrasyonu	Bir veya çoğul nehir ağlarındaki veya su toplama alanlarında ortalama değerlerin hesaplanması				✓	✓

Parametrik istatistiksel yöntemler, yaygın olarak ya mekânsal ilişkileri tamamen göz ardı eden ya da yakınlık ve bağlanabilirliğin öklid mesafesi kullanılarak yeterince tanımlandığını varsayan DEN verilerini analiz etmek için kullanılır. Bu yöntemler kullanıldığında, varsayım ağ içindeki topolojik ilişkilerin önemsiz olduğu şeklindedir. Bu nedenle, geleneksel analitik yaklaşımlarla DEN'lerin gelişen ekolojik kavramsallaştırması arasında bir uyumsuzluk bulunmaktadır.

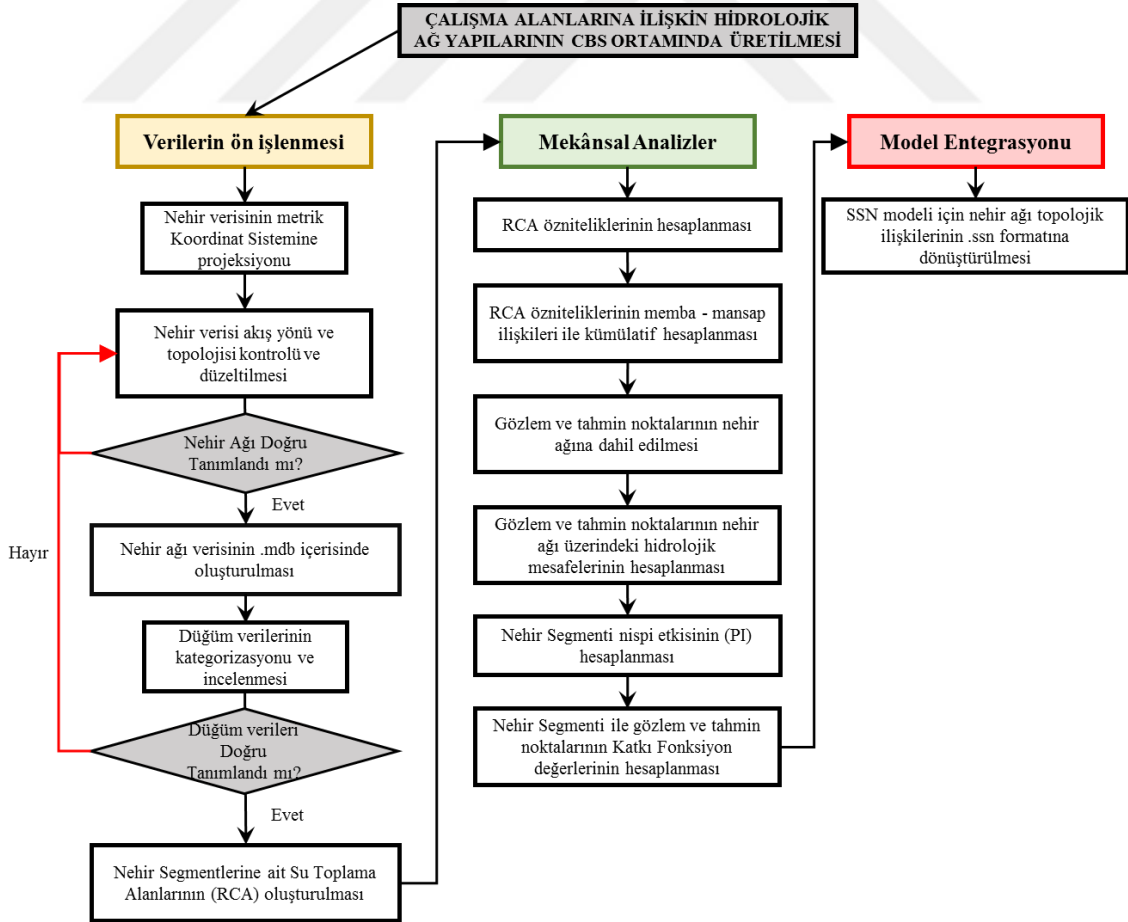
Nehir ekosistemlerinde, ağ topolojisini kullanan birçok çalışma genellikle iki farklı ölçekte gerçekleştirilmiştir (Angermeier vd., 2002; Fausch vd., 2002).

- Ayırık alanlarda türlerin bolluk veya biyotik etkileşimlerine ilişkin yerel çalışmalar (≤ 200 m)
- Tür dağılımları, fizikokimyasal ve biyolojik süreçler ve son yıllarda gerçekleştirilen iklim değişikliğinin etkileri çalışmaları hakkında bilgi sağlamak için genellikle su toplama alanı veya nehir ağ ortalamalarını kullanan makro ölçekli çalışmalar (> 100 km)

DEN verileri modellenirken, anahtar kavramlardan biri gözlemlerin ikili mekânsal temsiline sahip olmasıdır; ağ içindeki noktalar olarak (topoloji) ve 2 boyutlu uzayda koordinatlı nokta olarak. Bu açıdan, standart mekânsal istatistiksel modeller, nehir

ağlarında ve dendritik ekolojik ağlarda (DEN) bulunan benzersiz mekânsal ilişkileri yeterince göstermeyebilir. Aynı zamanda, geleneksel jeoistatistik yöntemler ağ içindeki dallanmış yapının, bağlantı ve yönlülüğün etkisini yansıtmamaktadır. Ek olarak, bir modelin 2 boyutlu uzayda öklid mesafesi için geliştirilen jeoistatistiksel bir modelde hidrolojik mesafe kullanıldığında, istatistiksel olarak geçerli olduğu garanti edilmez (Ver Hoef vd., 2006).

Bu çalışmanın metodolojik olarak ilk aşamasında, mekânsal istatistiksel modellerin kurulması için gerekli çalışma alanlarındaki nehir ağı verilerinin üretimi ve hidrolojik mesafe matrislerinin oluşturulması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Diğer aşamalar olarak, ham su kalitesi verilerinin keşifsel veri analiz ile nehir ağlarında mekânsal otokorelasyonun araştırılması, mekânsal modellerin uygulanması için seçilen su kalitesi parametresinin mekânsal olarak en ilişkili ortak değişkenlerinin araştırılması çalışmaları yürütülmüştür. Son aşamada ise, mekânsal otokorelasyon üzerinde ortak değişkenler ile en uygun modeller seçilerek kriging ile tahminleme yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 3.3. Nehir ağı üretim metodolojisi

3.1. CBS Ortamında Mekânsal Nehir Ağı Veri Seti Üretilmesi

Nehir ağı veri setleri, büyük ölçeklerde temsil edildiğinde küçük ölçekli yan kolları bulundurmaması, sayısallaştırma kaynaklı konumsal hataları ve genellemeleri içerebilmektedir. Topolojik açıdan farklı türde hataların bulunması nehir ağlarında süreksizliğe ve döngülere neden olabilmektedir. Bununla birlikte, nehirlerde mendereslenme gibi morfolojik yapılanmalar nehirlerde hidrolojik mesafe değerlerini etkilemektedir.

Gözlem noktalarının, nehir ağlarına entegrasyonu açısından temin edilen nokta koordinatlarının çizgi detayındaki nehir segmentlerine düşmesinde de problemler yaşanabilmektedir. Bu problemler, özellikle iki yan kolun birleşim noktasına yakın kısımlarında gerçekleşmesi halinde nehir ağının karakterizasyonunda hatalara sebep olmaktadır.

SSN modelinin kurulmasının temelinde doğru, hassas, standart ve güvenilir bir veri setinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bununla beraber, detaylı mekânsal analizleri gerektiren çalışmaların yapılması multidisipliner bir uzmanlık gerektirmektedir.

Peterson ve Ver Hoef (2014) tarafından, SSN modeline uygun veri setinin oluşturulabilmesi amacıyla STARS araç kutusu geliştirilmiştir. Bu araç kutusu; vektör verilerin geometrisini, öznitelik verilerini ve topolojik ilişkilerini oluşturmak ve biçimlendirmek için bir dizi yöntem ve araç sağlamaktadır.

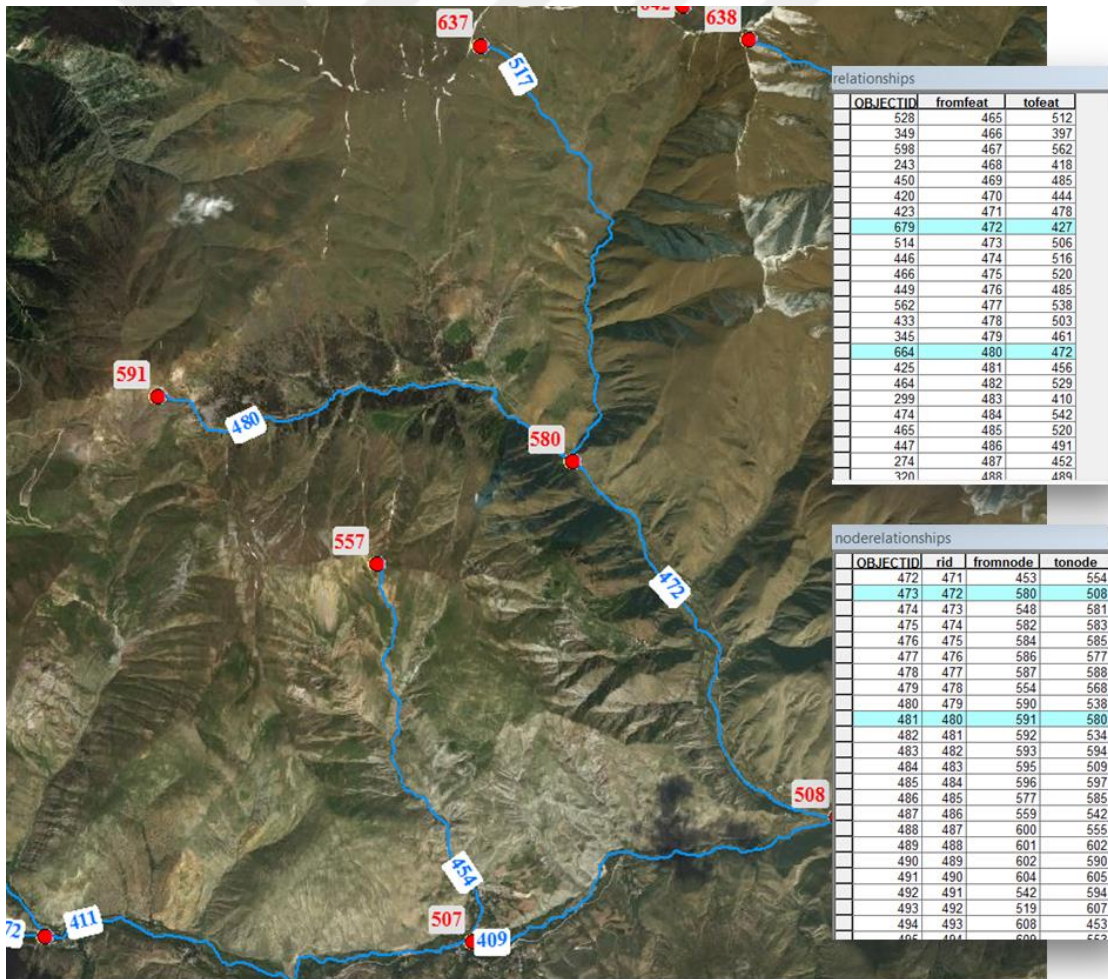
3.1.1.1. Numerik çerçeve ve indisleme

Nehir ağlarında dendritik bir yapı oluşturan her nehir segmenti, düğümlerle (nodes) sınırlanmış bir kenar (edges) olarak temsil edilmektedir. Her bir kenar verisi, hidrolojik açıdan membadan mansaba olacak akış yönü içermektedir. Bir ağ içerisindeki tüm kenarlar mansap yönünde birleşerek tek bir noktada sonlanmaktadır. Bu nokta, ağ mansabı (outlet) olarak ifade edilmektedir. Nehir ağı üzerindeki herhangi bir konum ağ mansabına kadar ilerlemektedir. Ağ mansabı ile söz konusu konum arasındaki mesafe konum açısından değerlendirildiği için memba mesafesi (upstream distance) adını almaktadır.

Dendritik bir nehir ağında, aynı memba mesafesine sahip farklı noktalar olabilmektedir. Bu nedenle, her bir konumu benzersiz bir şekilde incelemek ve memba mesafesini takip etmek için indisleme yöntemi kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntem,

bir örnek üzerinden Şekil 3.4'te yer almaktadır. Bir kenarın mansaplandığı diğer kenar arasında indisler üzerinden ilişki kurulmaktadır. Aynı şekilde düğümler arasında yer alan bir kenar da kullanılarak indisleme üzerinden ilişkiler oluşturulmaktadır. Örneğin; 591 numaralı düğüm 480 numaralı kenar üzerinden 580 numaralı düğüme mansaplanmaktadır. 480 numaralı kenar da 472 numaralı kenara mansaplanmaktadır.

Topoloji kuralları uygulanmış ve akış yönüne göre sayısallaştırılmış .shp formatında nehir verisi metrik koordinat sisteminde projekte edilerek nehir ağı oluşturulmaktadır. Bu işlem STARS'da yer alan LSN (coğrafi ağ) oluşturma aracı ile gerçekleştirilmekte olup çıktı olarak .mdb uzantılı veritabanı içerisinde kenarlar ve düğümler olmak üzere iki adet veri tipi oluşmaktadır. Ayrıca, bu verilere ait Şekil 3.4'te örnek olarak yer alan numerik ilişkilerin tutulduğu tablolar da LSN'de oluşturulmaktadır.

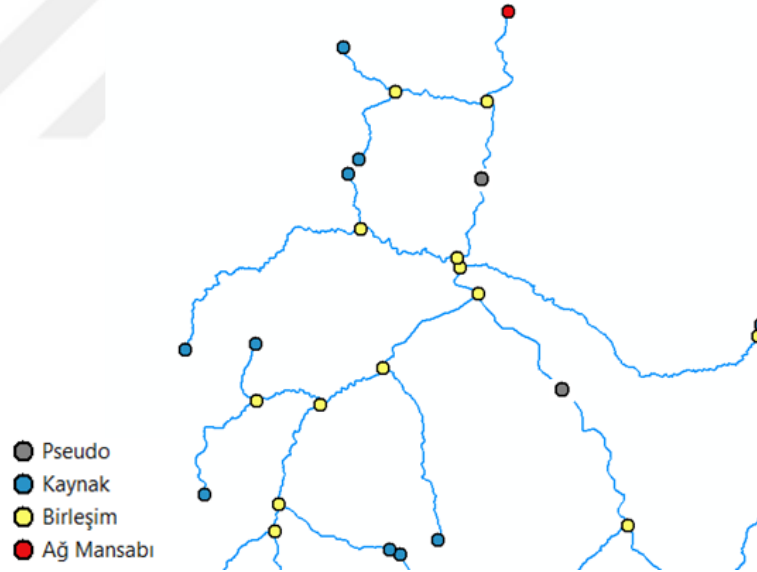


Şekil 3.4. Kenar ve düğümlerde indisleme

3.1.2. Ağ topolojisinin kontrolü

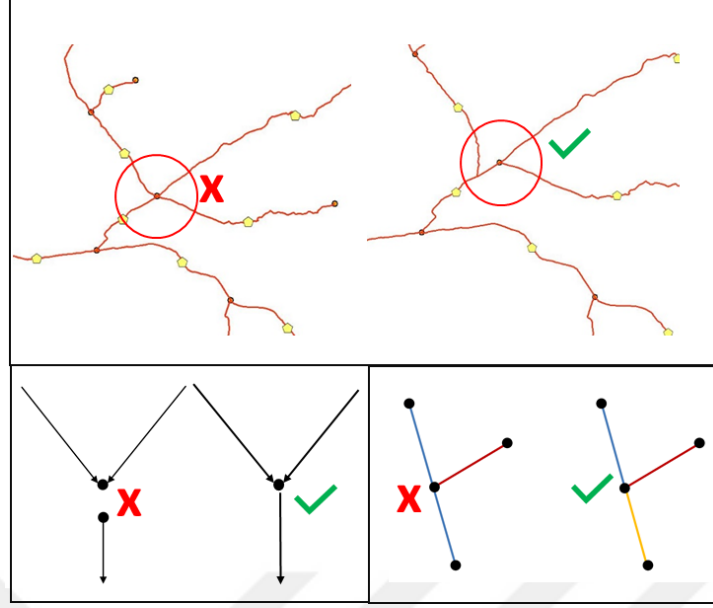
Farklı ölçeklerde, nehir ağları verisinde gerçek dünyada var olan fakat dendritik ağ yapısında problem teşkil edebilecek topolojik hatalar bulunabilmektedir. STARS, 2 farklı araç ile bu hataların tespit edilmesine yarayacak veriler üretmekte ve bu hataların manuel olarak düzeltilmesine imkân sağlamaktadır.

Topolojik kontrol kapsamında kullanılan ilk analiz ile düğümler katmanında bir öznitelik sütunu oluşturularak düğümlerin kaynak (source), ağ mansabı, birleşim (confluence), yakınsak (converging), ıraksak (divergence) ve sahte (pseudo) düğüm kategorileri oluşturulmaktadır (Şekil 3.5). Burada, dikkat edilmesi gereken husus ıraksak düğümlerin ağ içerisinde kesinlikle kabul edilemeyeceği, yakınsak düğümlerin ise düzeltilmesi gerekmektedir. Ayrıca sahte düğümlerin de çok miktarda olması, veritabanının depolama kapasitesinde gereksiz yer kaplamasından dolayı istenmemektedir.



Şekil 3.5. Düğüm kategorileri

Diğer bir analiz olarak kompleks birleşimlerin tanımlanması işlemi ile üç ve daha fazla kenarın tek bir düğümde biraraya gelmesi ile oluşan hatalar ortaya çıkarılmakta ve çıktı olarak bir tabloya yazdırılmaktadır. Burda ortaya çıkan hatalar veriler üzerinde el yordamıyla tek tek düzeltilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Topolojik hata örnekleri

3.1.3. Su toplama alanlarının oluşturulması

Su toplama alanları (STA - RCA Reach Contributing Areas) her bir kenara ait topografyanın belirlediği sınırlar içerisinde suyun toplandığı alanları ifade etmektedir. Bu verinin üretimi sıralı analizler sonucu gerçekleştirilmektedir. Öncelikle, kenarlar vektör verisinin raster veriye dönüşümü gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan veri yeniden sınıflandırılma işlemine tabi tutularak değerlerin bulunduğu katmana 5 değeri verilerek farklı bir katman olarak üretilmektedir.

Çalışma alanına ait havza içerisinde kalan göllerin yer aldığı vektör veri katmanını da raster veriye dönüştürülmektedir. Kenarlar verisinin, Sayısal Yüksek Modeli (SYM) kullanılmadan sayısallaştırılmış bir katman olarak üretilmesi halinde SYM'ye manipülasyon işlemi uygulanması gerekmektedir. Bu kapsamda, raster hesaplama aracı kullanılarak manipüle edilmiş SYM verisi üretilmektedir. Son bir işlem olarak SYM, doldurma (fill) analizi ile pikseller arasında muhtemel boşlukların doldurulması gerçekleştirilmekte ve farklı bir isim altında nihai kullanıma yönelik raster formatında SYM verisi üretilmektedir. Üretilen SYM, raster kenar verisi ve göl raster veri katmanını kullanılarak RCA'lar oluşturulmaktadır.



Şekil 3.7. Su toplama alanlarının oluşturulması

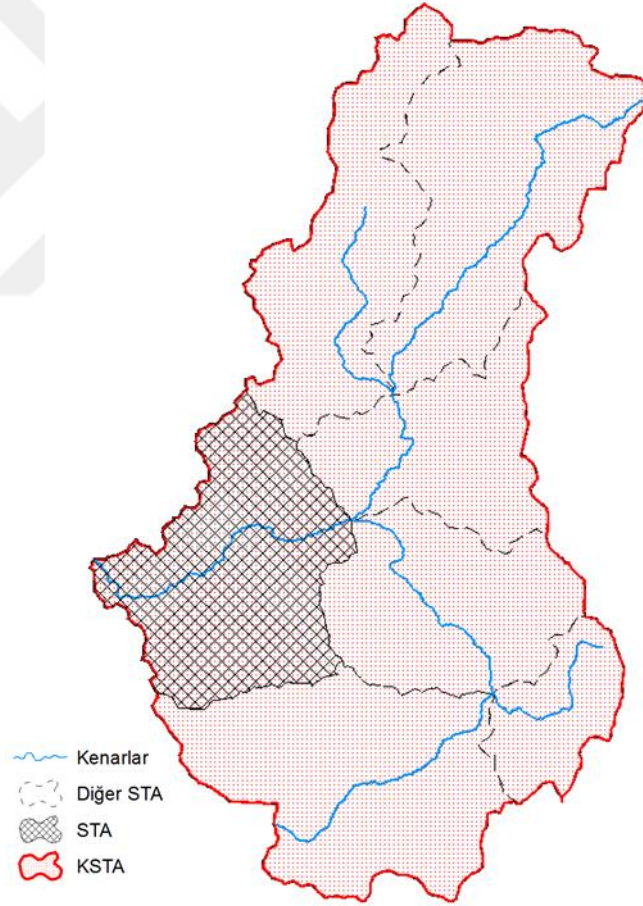
3.1.4. Su toplama alanları katmanı özniteliklerinin hesaplanması

STA'lar ile kenarlar arasındaki birebir ilişki, nehir ağındaki segmentlerin mekânsal ilişkileri hakkında bilgi sağlamak için kullanılmaktadır. Örneğin, arazi kullanım alanı, ortalama yükseklik veya STA'daki noktasal kirletici kaynak sayısı.

STA özniteliklerin hesaplanması kapsamında, kenarlar ile STA'lar indis bilgileri üzerinden eşlenmektedir. Böylece, STA'lar için hesaplanan öznitelikler kenarlar üzerinde kullanılabilir. Kenarlar veri katmanında yeni bir öznitelik sütunu eklenerek, hesaplanacak özniteliğe ilişkin alansal istatistik aracı (zonal statistics) kullanılarak oluşturulan tablo ile “value” özniteliği eşlenmektedir. Eşlenen veriler kullanılarak istenilen sütuna oluşturulan tablodaki alan, toplam, maksimum, minimum gibi betimleyici veri değerleri yazdırılmaktadır. Göllerin altında kalan bazı kenarlar herhangi bir RCA ile ilişkili olmadığından bu kenarlara ait alan bilgisi bulunmamaktadır. Bu alan için yazılan Null değerleri seçilerek 0 olarak tekrardan yazdırılmaktadır.

3.1.5. Kümülatif su toplama alanları özniteliklerinin hesaplanması

Kümülatif su toplama alanları (KSTA), bir kenarın membasında bağlantılı olduğu tüm kenarlara ait su toplama alanlarının tümünü kapsamaktadır (Şekil 3.8). STA öznitelikleri, topolojik ilişkiler kullanılarak kümülatif olarak hesaplanabilmektedir. STARS üzerinde yer alan bu analiz için geliştirilmiş araç (Accumulate Values Downstream), her kenarın aşağı akış düğümü için kenarlar özelliği sınıfına bir nitelik olarak atanan havza nitelikleri üretmektedir. Burada; rakım, hava sıcaklığı, yağış gibi değişkenlerin kümülatif olarak hesaplanması kapsamında kümülatif alan içerisinde ortalama almak gerektiğinden bu aracın kullanımı konusunda değişkenler dikkatle göz önünde bulundurulmalıdır.



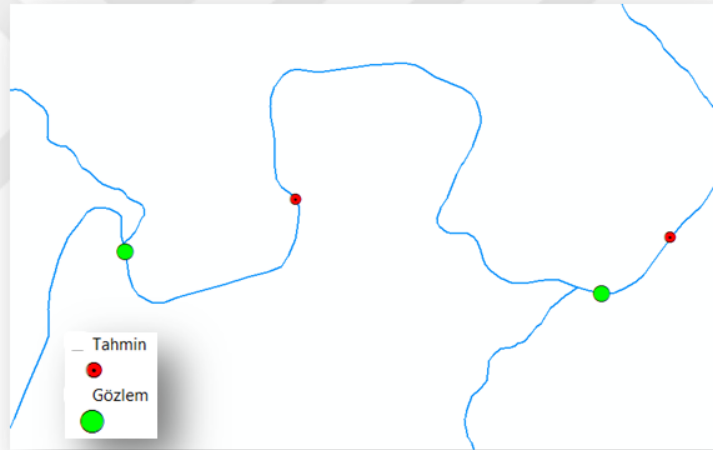
Şekil 3.8. STA ve KSTA örneği

3.1.6. Gözlem ve tahmin noktalarının nehir ağına entegrasyonu

Nehir ağında mekânsal istatistiksel analizlerin sorunsuzca gerçekleştirilmesi için gözlem ve tahmin noktalarının nehir ağına dahil edilmesi “snap” işlemi uygulanması gerekmektedir. STARS’da yer alan “Snap points to landscape network” aracı ile gözlem ve tahmin noktaları kenar verilerinin üstüne yapıştırılmaktadır (Şekil 3.9). Bununla birlikte, gözlem ve tahmin noktalarına ilişkin oluşturulan söz konusu veri, LSN veritabanına aktarılmaktadır.

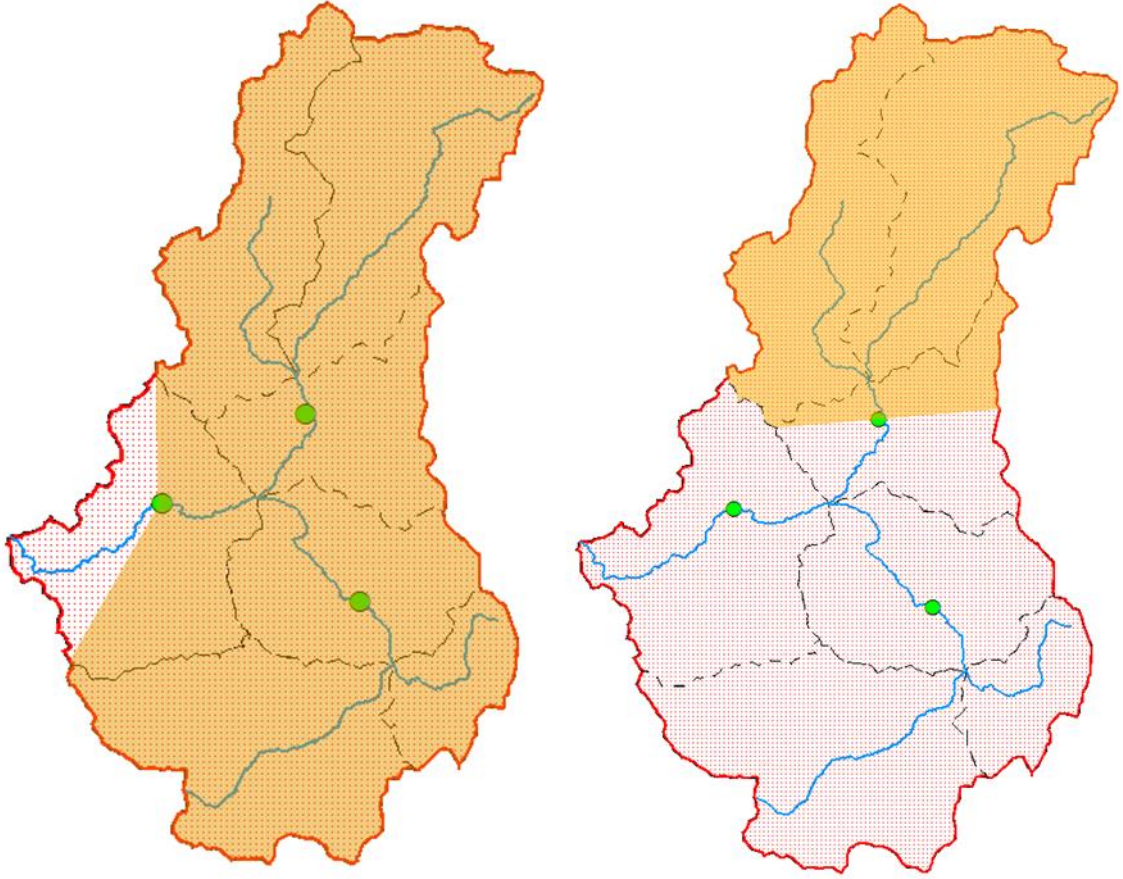
Gözlem ve tahmin noktalarının entegrasyonu kapsamında nokta katmanlarında iki yeni öznitelik oluşturulmaktadır. Bunlar, bir noktanın hangi kenara düştüğünü gösteren indis ile kenar üzerindeki hidrolojik mesafedeki oranı (3.1) bilgileridir.

$$r_i = \frac{d(l_j, s_i)}{L_j} \quad (3.1)$$



Şekil 3.9. Gözlem ve tahmin noktalarının nehir ağına entegrasyonu

Denklem 3.1’de verilen; $d(l_j, s_i)$, j kenarına ait mansap düğümü, l_j ile j kenarındaki nokta konumunu s_i arasındaki hidrolojik mesafeyi ve L_j , j kenarına ait toplam hidrolojik mesafeyi ifade etmektedir (Şekil 3.10). Bu öznitelik bilgisi, kenarlar boyunca gözlem noktalarına özgü konumların STA’lar içerisindeki temsiliyeti için önemli bir değerdir. Söz konusu oran değeri 0 ile 1 ($0 \leq \text{oran} \leq 1$) arasında değişmektedir.



Şekil 3.11. Gözlem noktalarına STA özniteliklerinin entegrasyonu

Özetle, STA’lardaki öznitelikleri birebir olarak gözlem noktalarına entegrasyonu mekânsal açıdan kaba bir ölçekte kalmaktadır. Bu açıdan, noktaların hidrolojik mesafedeki oranları kullanılarak STA’lar ölçeklendirilmekte ve öznitelikler bu oran bazında hesaplanmaktadır (Şekil 3.11).

3.1.8. Hidrolojik mesafelerin hesaplanması

Otokorelasyonun tespiti ve modellemede kullanılacak hidrolojik mesafelerin hesaplanması analizi kapsamında STARS araç setinde iki araç bulunmaktadır. Bunlardan biri kenarlar, diğeri gözlem ve tahmin noktaları için kullanılmaktadır.

Tüm kenarlar için söz konusu kenarın memba düğümü ile ağ mansap düğümü arasındaki mesafe, hidrolojik mesafe olarak hesaplanmaktadır. Gözlem ve tahmin noktaları içinse kenar üzerine düşen konum ile ağ mansap düğümü arasındaki mesafe hidrolojik mesafe olarak hesaplanmaktadır. Bu değerler bir öznitelik sütunu içerisinde ilgili katmanlara yazdırılmaktadır.

3.1.9. Nehir segmenti kısmi etkisinin (PI) hesaplanması

Nehir verisinin jeoistatistik bir modelde uygulanması için gereken mekânsal ağırlıkları hesaplamak üç aşamalı bir çalışmadır:

- 1) Segment nispi etkisinin (PI) hesaplanması,
- 2) Katkı fonksiyon değerlerinin hesaplanması ve
- 3) Mekânsal ağırlıkların hesaplanması (Peterson ve Ver Hoef, 2010).

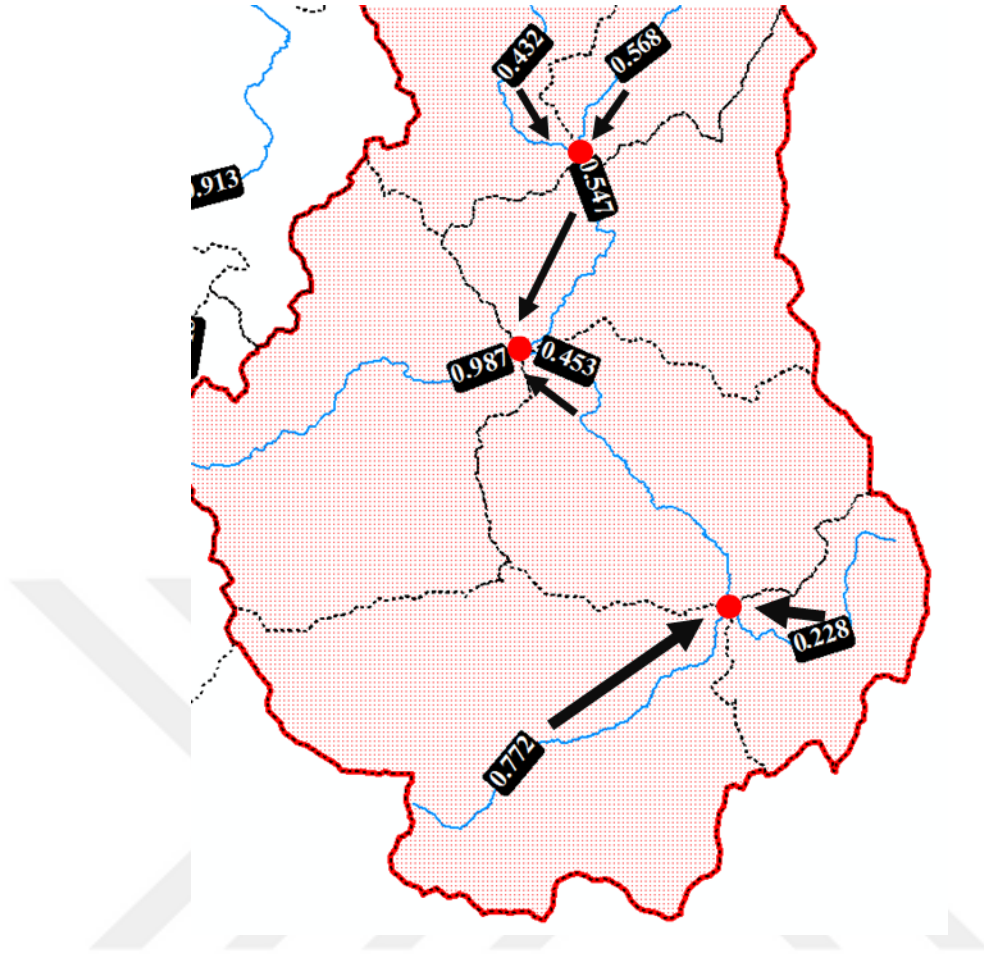
Adım 1 ve 2, STARS araç seti kullanılarak gerçekleştirilirken adım 3, SSN modeli kapsamında gerçekleştirilmektedir.

Segment nispi etki (PI) değeri, bir kenarın mansap yönündeki kenarlar üzerinde sahip olduğu nispi etki olarak tanımlanır. PI, bir oran değeri olduğundan her zaman 0 ile 1 arasında olmaktadır. PI değerleri, çalışmalar kapsamında ilgilenilen ağırlıklara göre hesaplanabilmektedir. STA alanı değerleri üzerinden akışa geçecek su miktarının varsayımı kabul görmektedir ancak eğim veya Shreve derecelendirmesi gibi farklı bilgilerin kullanılabilmesi de mümkündür.

Su toplama alan değerleri, nehir ağındaki her kenar bölümünün memba düğümü (W_j) için hesaplanmaktadır. Her bir birleşim, pseudo veya mansap düğümünde kümülatif su toplama alanı, $\sum_{k=1}^n w_k$, içine akan $n \leq 2$ kenar için havza alanı dahil edilerek hesaplanır (3.3). Düğüme, w_j , bağlanan her kenar için PI,

$$w_j = \frac{W_j}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (3.3)$$

Bir birleşme noktasında, nehir ağlarının dendritik yapısından dolayı membaya doğru 2 kenar birleşebilmektedir. Bu açıdan, söz konusu birleşim noktalarında PI değerinin toplamı her zaman 1'e eşit olmaktadır. Bu durum, kenar PI değerlerinin hidrolojik açıdan değerlendirilmesi söz konusu olduğunda; düşük PI değeri olan kenarların yüksek PI değerine sahip kenarlara bağlanması değerler oranında ve birleşim noktaları bazında hidrolojik açıdan etkiyi göstermektedir. PI değeri özellikle varyanslardaki durağanlığın korunmasını sağladığı için önemlidir (Ver Hoef vd., 2006).

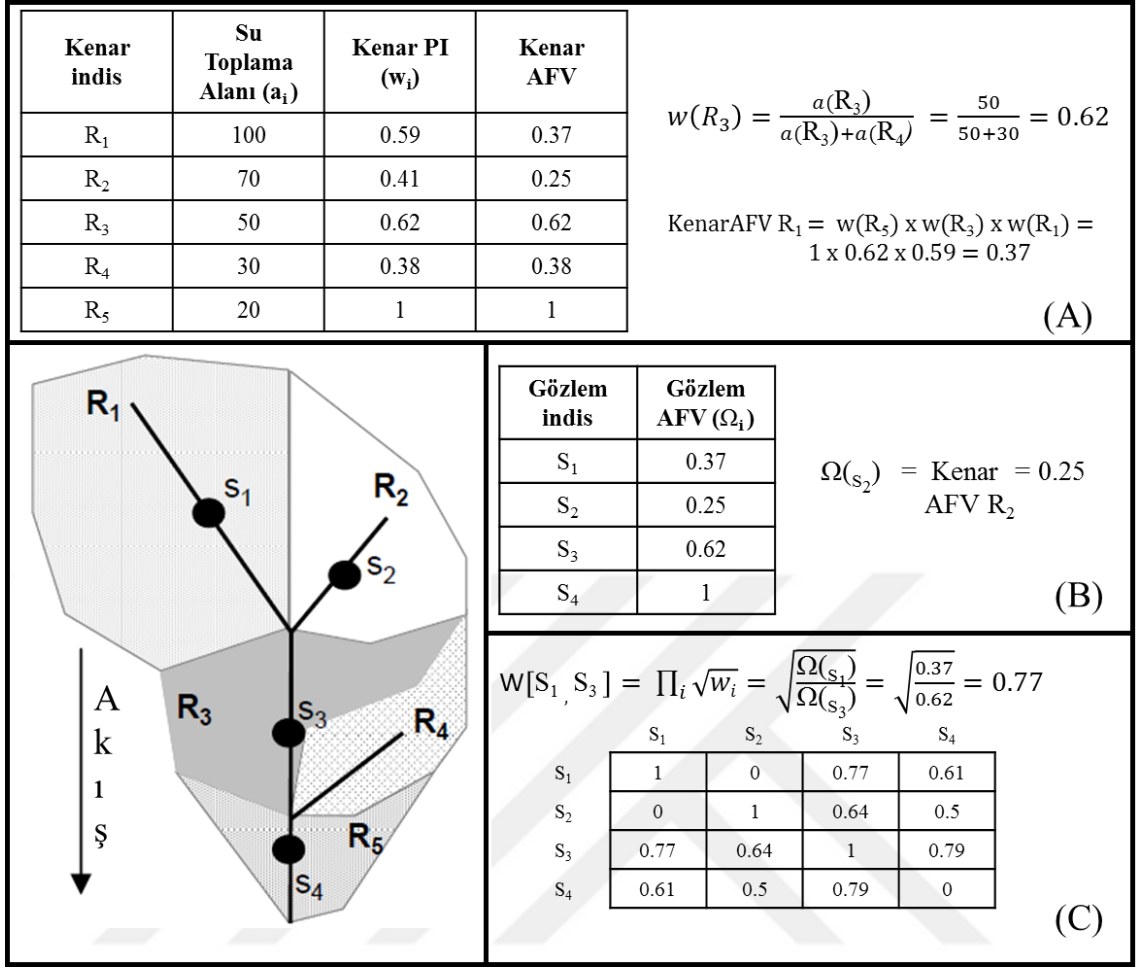


Şekil 3.12. *PI değerlerinin hesaplanması*

3.1.10. Katkı fonksiyonu değerlerinin hesaplanması

LSN'deki her kenar ile gözlem ve tahmin noktasında katkı fonksiyonu değerinin (AFV) hesaplanması için iki araç bulunmaktadır. Belirli bir kenar için AFV, j , mansap düğüme doğru bulunan kenarın PI değerine eşittir (3.4).

$$AFV_j = \prod_{m=1}^n \hat{w}_{D_{j,m}} \quad (3.4)$$



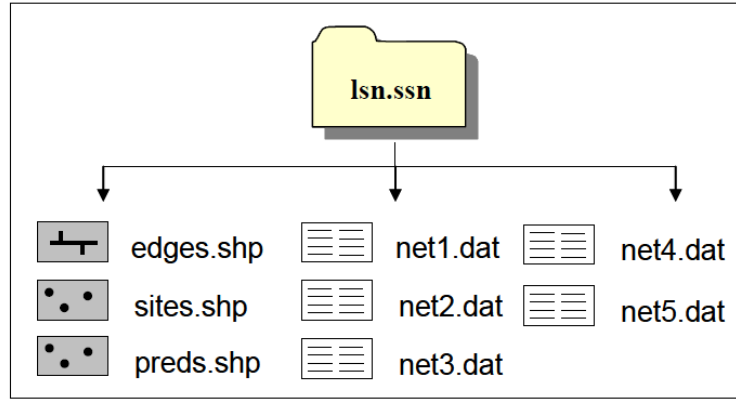
Şekil 3.13. Katkı fonksiyon değeri hesaplanması

Jeoistatistiksel modelleme için mekânsal ağırlıkların hesaplanması kapsamında ikinci adım, her kenar için katkı fonksiyon değerini (AFV) hesaplamaktır. Burada, ilk olarak, ağ mansap düğümüne bağlı kenar 1'e eşit bir AFV değeri olarak kabul edilir. Ağ mansap düğümüne bağlı kenardan memba yönünde kenarlar sırayla geçilerek, o kenarlara ait PI değerleri alınır ve her bir kenarın katkısı dahil edilecek şekilde PI değerleri çarpılarak her bir kenar içinde sabit olan AFV değerleri hesaplanır (Şekil 3.13.B).

Üçüncü ve son adım, gözlem noktalarına AFV değerlerini atayarak mekânsal ağırlıkları hesaplamaktır. Şekil 3.13.C'de gösterildiği şekilde gözlem AFV değerleri (Ω_i) akış bağlantılı kenarlarda mansap ve memba arasındaki değerlerin oranının karekökü olarak alınmaktadır. Akış bağlantılı olmayan gözlem noktaları arasında bu değer 0 olmaktadır. Her bir gözlem AFV değeri üzerinde bulunduğu kenarın AFV değerine eşittir.

3.1.11. SSN modeli için üretilen verilerin formata uygun hale getirilmesi

Jeoistatistiksel modellemenin yapılabilmesi için nehir ağına ilişkin ve LSN veritabanından .ssn objesine dönüştürülmesi gerekmektedir. “.ssn” nesnesi, SSN paketi kullanılarak R istatistik yazılımında kolayca erişilebilen, verimli bir şekilde depolanabilen ve analiz edilebilen bir formatta mekânsal veriler ile nehir ağı topolojisini temsil etmektedir. Söz konusu obje içerisinde; kenarlar, gözlem ve tahmin noktaları ile nehir ağı bazında topolojik ilişkilerin tutulduğu .dat dosyaları yer almaktadır (Şekil. 3.14).



Şekil 3.14. .ssn objesi

3.2. Nehir Ağlarında Mekânsal İstatistiksel Modeller

Cressie vd., (2006) ve Ver Hoef vd., (2006) tarafından nehir ağlarında gözlemlenen verilere ilişkin hareketli ortalama yapılarına dayanan yeni bir mekânsal istatistiksel model yaklaşımı geliştirilmiştir. Modeller, dendritik bir dallanma yapısında matematiksel bir topolojiye sahip olarak CBS ortamında üretilen nehir ağlarında hidrolojik mesafeleri ve memba-mansap ilişkilerini kullanmaktadır.

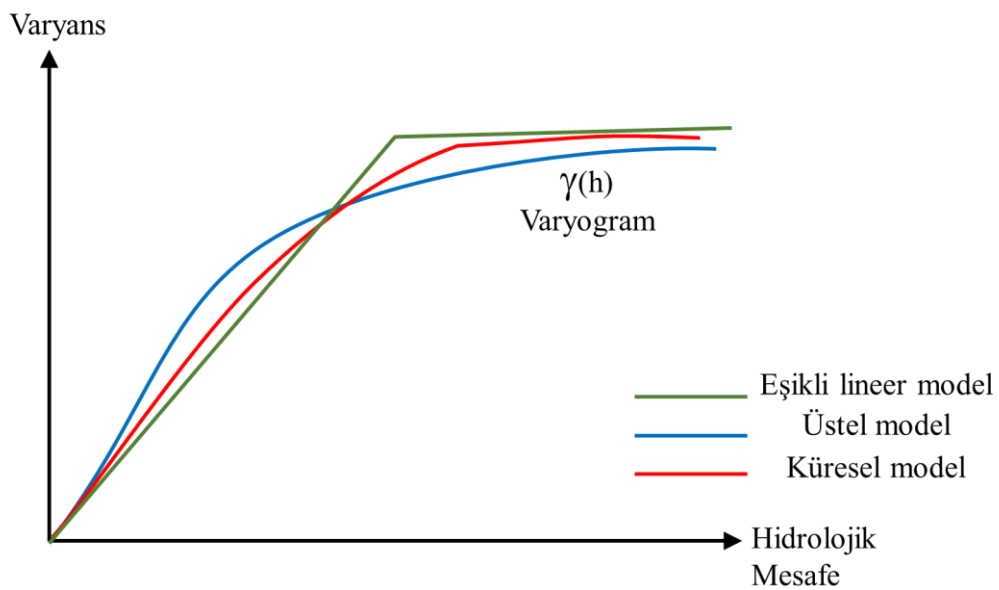
2000’li yılların ortalarına kadar gerçekleştirilen çalışmalarda jeoistatistiksel otokorelasyon fonksiyonlarını kullanan öklid mesafesine dayalı mekânsal istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Ancak hidrolojik mesafeye dayalı herhangi bir model bulunmamaktadır. Ver Hoef vd., (2010) tarafından hidrolojik mesafeyi temel alan kovaryans matrisleri üretebilen modeller, istatistiksel hesaplama ve grafikler için açık kaynak bir yazılım olan R ortamında sunulmuştur. Bu modeller, nehir ağlarını, akış yönlerini ve hidrolojik mesafeyi kullandıklarından benzersizdir ve segmentler birleştğinde kovaryans ağırlıklandırmasına izin verirler. Bu kapsamda, tail-up ve tail-

down modelleri olarak adlandırılan hareketli ortalama yapılara dayanan iki sınıf kovaryans modeli geliştirilmiştir.

Bu modeller, öklid mesafesine dayalı modelleri içeren karma bir model stratejisinde de birleştirilebilir. Bu tür karma jeostatistiksel modeller önemlidir çünkü nehir ağlarında, akış üzerindeki otokorelasyon ve karasal ortam nedeniyle öklid mesafelerinden kaynaklanan otokorelasyon dahil olmak üzere, birden fazla mekânsal otokorelasyon sürecini açıklayabilirler (Ver Hoef ve Peterson, 2010).

Bir hareketli ortalama fonksiyonu başladığı konumun akış yukarısında (membasında) sıfırdan farklıysa, tail-up modeli olarak adlandırılmaktadır. Nehir ağlarındaki dendritik dallanma nedeniyle, hareketli ortalama işlevinin memba yönünde bölünmesi gerekebilmektedir. Durağan modeller üretmek için, ağırlıklandırma ihtiyacı duyulmaktadır. Bir hareketli ortalama fonksiyonu başladığı konumun akış aşağısında (mansabında) sıfırdan farklıysa, tail-down modeli olarak adlandırılmaktadır. İki farklı konum için, aynı hidrolojik mesafeye sahip ancak akış bağlantılı ve akış bağlantısız olması durumunda otokorelasyon ilişkisinin de farklı olması beklenecektir.

Söz konusu modeller, nehir ağı üzerinde r_1 ve s_j olarak iki konumu ve aralarındaki hidrolojik mesafeyi h olarak kabul ederek açıklanabilir. Hareketli ortalama otokovaryans varyogram modelleri farklı matematiksel fonksiyonlarla oluşturulabilmektedir. Bunlara örnek olarak Şekil 3.15'te yer alan eşikli lineer, üstel ve küresel modeller gösterilebilmektedir.



Şekil 3.15. Nehir ağlarında hareketli ortalama otokovaryans varyogram modelleri

3.2.1. Tail-up modeli

Ver Hoef vd., (2006) tarafından tanımlanan hareketli ortalama yapısı:

$$C_u(r_i, s_j | \theta_u) = \begin{cases} \pi_{i,j} C_t(h | \theta_u), & r_i \text{ ve } s_j \text{ akış bağlantılı} \\ 0, & r_i \text{ ve } s_j \text{ akış bağlantısız} \end{cases} \quad (3.5)$$

$\pi_{i,j}$ akışı modelleyen dallanma özelliklerini dahil eden ağırlıklardır ve $C_t(h | \theta_u)$ fonksiyonu farklı formlarda olabilmektedir. Denklem 3.6 - 3.10'da verilen hareketli ortalama otokovaryans modelleri hidrolojik mesafelere uygulanmaktadır.

Tail-up Eşikli lineer model;

$$C_t(h | \theta_u) = \sigma_u^2 \left(1 - \frac{h}{\alpha_u}\right) I\left(\frac{h}{\alpha_u} \leq 1\right) \quad (3.6)$$

Tail-up Küresel model;

$$C_t(h | \theta_u) = \sigma_u^2 \left(1 - \frac{3}{2} \frac{h}{\alpha_u} + \frac{1}{2} \frac{h^3}{\alpha_u^3}\right) I\left(\frac{h}{\alpha_u} \leq 1\right) \quad (3.7)$$

Tail-up Üstel model;

$$C_t(h | \theta_u) = \sigma_u^2 \exp\left(-\frac{3h}{\alpha_u}\right) \quad (3.8)$$

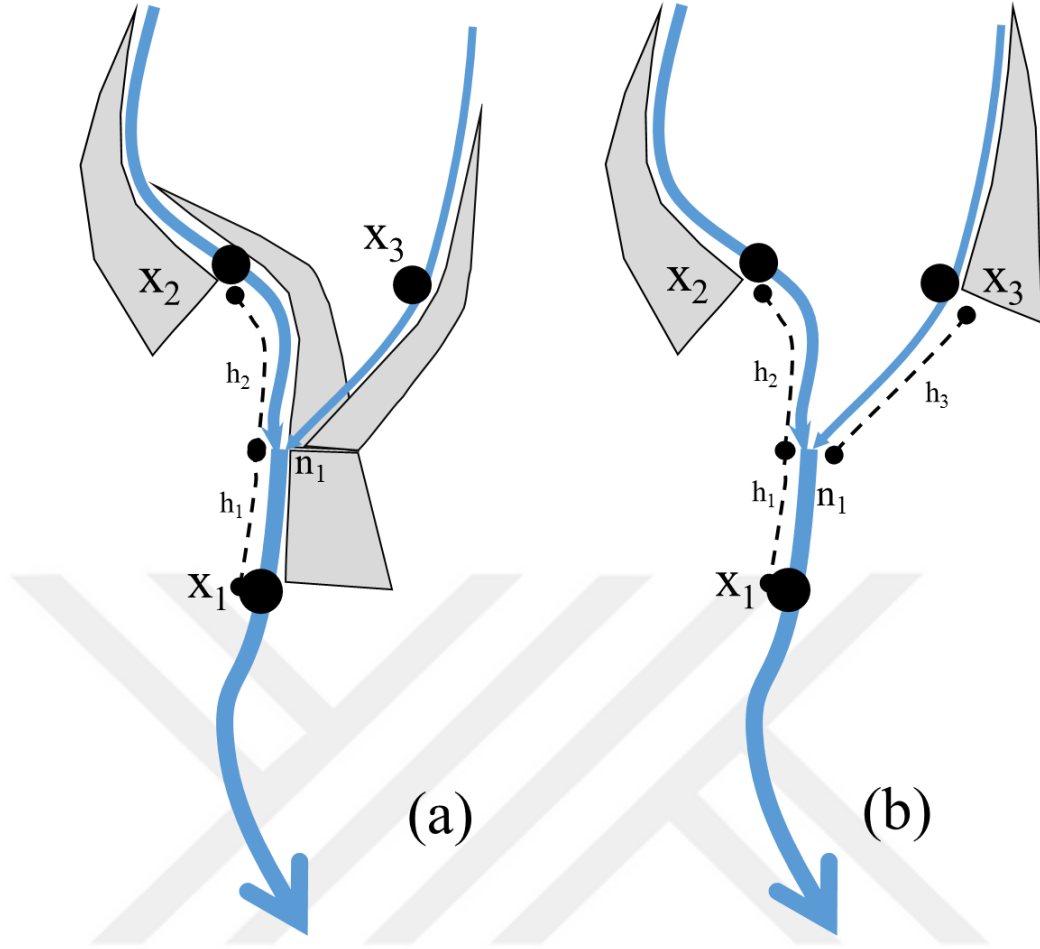
Tail-up Mariah model;

$$C_t(h | \theta_u) = \begin{cases} \sigma_u^2 \left(\frac{\log\left(\frac{90h}{\alpha_u} + 1\right)}{\frac{90h}{\alpha_u}}\right), & h > 0, \\ \sigma_u^2, & h = 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

Tail-up Epanechnikov model (Garetta, Monestiez ve Ver Hoef 2009);

$$C_t(h | \theta_u) = \frac{\sigma_u^2 (h - \alpha_u)^2 (16\alpha_u^2 + 17\alpha_u^2 h - 2\alpha_u h^2 - h^3)}{16\alpha_u^5} I\left(\frac{h}{\alpha_u} \leq 1\right) \quad (3.10)$$

Tail-up modellerinde, hareketli ortalama fonksiyon değerleri, bir konumdan sadece memba yönünde pozitif ve yalnızca akış bağlantılı konumlar arasında oluşmaktadır. Şekil 3.16 (a) 'da, hareketli ortalama fonksiyonu x_1 'den memba yönünde n_1 düğümüne ulaştığında, fonksiyon her iki kenar üzerinden x_2 ve x_3 konumlarına memba yönüne devam etmektedir ancak bu konumlar arasında fonksiyonu ağırlıklandırılmaktadır. x_1 konumu ile x_2 onumu arasında $h_1 + h_2$ mesafesinde fonksiyonlar üst üste geldiğinde otokorelasyon oluşmaktadır.



Şekil 3.16. Tail-up modeli akış bağlantılı (a) ve akış bağlantısız (b) gösterimi

Şekil 3.16 (b)'da ise x_2 ve x_3 konumlarında memba yönünde fonksiyonların oluştuğu ancak bu konumların akış bağlantılı olmamakla beraber otokorelasyon oluşturmadağı görülmektedir.

3.2.1.1. Tail-up modelinde mekânsal ağırlıklandırma

Nehir ağı modellerindeki benzersiz bir özellik olan ağırlıklandırma, hareketli ortalama fonksiyonu olan $g(x | \theta)$ 'nin memba yönünde bölünmesidir (Şekil 3.16).

Bölünmenin hesaba katılması için her bir kenar üzerinde bir ağırlıklandırma niteliği atanarak hareketli ortalama fonksiyonu bir nehir ağında mekânsal bir süreç oluşturmak için Cressie vd., (2006) tarafından değiştirilmiştir.

$$Z(s_i|\theta) = \int_{V_{s_i}} g(x - s_i|\theta) \sqrt{\frac{\Omega(x)}{\Omega(s_i)}} dW(x) \quad (3.11)$$

$\Omega(x)$ varyansta durağanlık sağlamak için ek bir fonksiyondur; yani, $\Omega(x)$ bir kenar içinde sabittir, ancak daha sonra $\Omega(x)$, iki segment bir bağlantı noktasında birleştiğinde

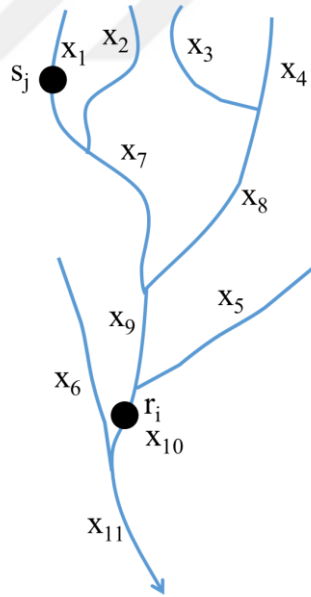
her kenar değerinin toplamı olmaktadır. Bu tanım, Ver Hoef vd., (2006) tarafından nehir ağında mekânsal bir süreç olarak ortaya konulan formülasyona götürmektedir.

$$Z(s_i|\theta) = \int_{s_i}^{u_i} g(x - s_i|\theta) dW(x_i) + \sum_{j \in U_i} \left(\prod_{k \in B_{i,j}} \sqrt{\omega_k} \right) \int_{l_j}^{u_j} g(x_j - s_i|\theta) dW(x_j) \quad (3.12)$$

$B_{i,j} = D_j \setminus D_i$ i'nci ve j'nci (j'nci dahil, ancak i'nci hariç) arasındaki kenarlar kümesidir. i'nci kenarın memba yönündeki her kenar j ve k olarak gösterilmektedir. Değişkenler arasında sabit varyanslar sağlaması açısından $0 \leq \omega_j, \omega_k \leq 1$ ve $\omega_j + \omega_k = 1$ olmasını gerektirmektedir.

Cressie vd., (2006), nehirlerde derecelendirme yöntemlerinden akış miktarını temsiliyet açısından daha yakın bir yaklaşım olan Shreve metodolojisini kullanmaktadır. Burada, başlangıç kenarları 1 değerini alarak her bir bileşimde kümülatif değerler olarak çıkış kenarında maksimum değere ulaşmaktadır.

Şekil 3.17'de örnek olarak verilen ağ yapısı üzerinden anlatmak gerekirse, $x_1 - x_6$ kenarları 1 değerini almaktadır. Birleşimlerinde iki değerın kümülatif toplamı x_7 ve x_8 için 2 değerlerini almaktadır. $x_9 = 4$, $x_{10} = 5$ ve $x_{11} = 6$ değerini almaktadır.



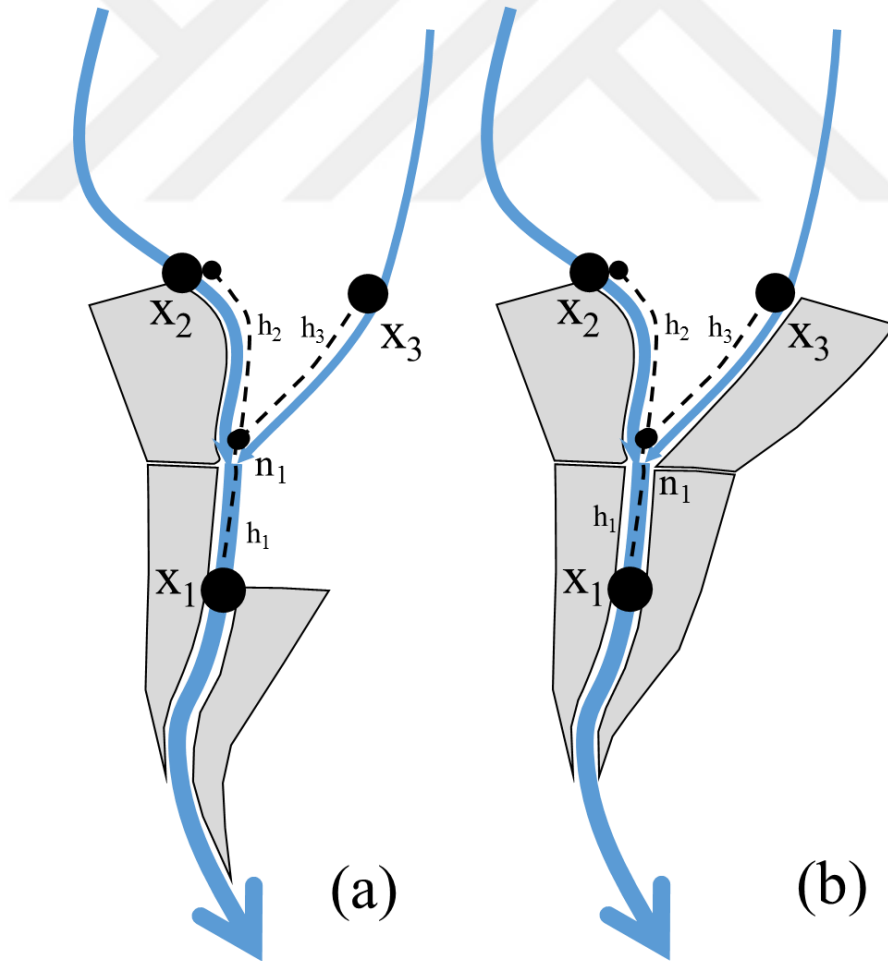
Şekil 3.17. Tail-up modeli için ağırlıklandırma örneği: Shreve metodu

Ver Hoef vd., (2006) tarafından, her bir kenara (x_i) ait havza alanını temel alan değerler kullanmıştır. $i = 1, 2, \dots, 11$ değerlerindeki her kenar daha sonra $\omega_1 = x_1 / (x_1 + x_2)$, $\omega_2 = x_2 / (x_1 + x_2)$, $\omega_7 = x_7 / (x_7 + x_8)$ toplamı 1 olan ağırlıkları oluşturmaktadır. Bunların neticesinde, yoğun sıralı mekânsal işlemler gerektiren konum çiftleri arasındaki

ağırlıklandırmaları hesaplamak için 3.1.10 başlığı altında verilen katkı fonksiyonu değerlerinin CBS ortamında elde edilmesine ilişkin bir araç sunulmakta ve örneklendirilmektedir.

3.2.2. Tail-down modeli

Tail-down modellerinde, konumların akışla bağlantılı olduğu (Şekil 3.18 (a)) ve akışla bağlantılı olmadığı (Şekil 3.18 (b)) şeklinde iki durum gerçekleşmektedir. Hareketli ortalama fonksiyonu akış bağlantılı durumlarda, x_1 ve x_2 konumları için memba yönünde h_2+h_1 mesafesinde üst üste binerek otokorelasyon oluşturmaktadır. Akış bağlantısız durumlarda ise x_2 ve x_3 konumları h_2+h_3 mesafesi üzerinde üst üste binerek otokorelasyon oluşturmaktadır. Hidrolojik ağlar, topolojik açıdan akış yönü ve mansap memba ilişkileri içinde x_2 ve x_3 konumlarında öklid mesafesinde ne kadar yakın olsa da bağlantılı olmayan noktalardır.



Şekil 3.18. Tail-down modeli akış bağlantılı (a) ve akış bağlantısız (b) gösterimi

Akış bağlantılı tail-down modelleri x_1 ve x_2 konumları için mansap yönünde; $h = h_2 + h_1 > 0$ için;

$$C_c(h|\theta) = \int_{-\infty}^{-h} g(-x|\theta)g(-x-h|\theta) dx \quad (3.13)$$

Akış bağlantısız tail-down modelleri x_2 ve x_3 konumları için mansap yönünde; $h_3 \geq h_2$ için;

$$C_c(h_2, h_3|\theta) = \int_{-\infty}^{-h_3} g(-x|\theta)g(-x-(h_3-h_2)|\theta) dx \quad (3.14)$$

formülasyonları ile tanımlanmaktadır.

Denklem 3.13 ve Şekil 3.14'te yer alan hareketli ortalama fonksiyonlarını kullanarak, nehir ağları için farklı parametrisasyonlar kullanılarak tail-down modelleri geliştirilebilmektedir.

Tail-down Eşikli lineer model $h_3 \geq h_2 \geq 0$ ve $h = h_1 + h_2$ için;

$$C_d(h_2, h_3, h|\theta_u) = \begin{cases} \theta_v \left(1 - \frac{h}{\theta_r}\right) \left|\left(\frac{h}{\theta_r} \leq 1\right)\right. & \text{akış bağlantılı} \\ \theta_v \left(1 - \frac{h_3}{\theta_r}\right) \left|\left(\frac{h_3}{\theta_r} \leq 1\right)\right. & \text{akış bağlantısız} \end{cases} \quad (3.15)$$

Tail-down Küresel model $h_3 \geq h_2 \geq 0$ ve $h = h_1 + h_2$ için;

$$C_d(h_2, h_3, h|\theta_u) = \begin{cases} \theta_v \left(1 - \frac{3}{2} \frac{h}{\theta_r} + \frac{1}{2} \frac{h^3}{\theta_r^3}\right) \left|\left(\frac{h}{\theta_r} \leq 1\right)\right. & \text{akış bağlantılı} \\ \theta_v \left(1 - \frac{3}{2} \frac{h_2}{\theta_r} + \frac{1}{2} \frac{h_3}{\theta_r}\right) \left(1 - \frac{h_3}{\theta_r}\right)^2 \left|\left(\frac{h_3}{\theta_r} \leq 1\right)\right. & \text{akış bağlantısız} \end{cases} \quad (3.16)$$

Tail-down Üstel model için;

$$C_d(h_2, h_3, h|\theta_u) = \begin{cases} \theta_v \exp\left(-\frac{h}{\theta_r}\right) & \text{akış bağlantılı} \\ \theta_v \exp\left(-\frac{(h_2+h_3)}{\theta_r}\right) & \text{akış bağlantısız} \end{cases} \quad (3.15)$$

Tail-down Mariah model $\Theta_v > 0$ ve $\Theta_r > 0$ için;

$$C_d(h_2, h_3, h|\theta_u) = \begin{cases} \theta_v \left(\frac{\log\left(\frac{h}{\theta_r}+1\right)}{\frac{h}{\theta_r}}\right) & h > 0 \text{ akış bağlantılı} \\ \theta_v & h = 0 \text{ akış bağlantılı} \\ \theta_v \left(\frac{\log\left(\frac{h_2}{\theta_r}+1\right) - \log\left(\frac{h_3}{\theta_r}+1\right)}{\frac{h_2-h_3}{\theta_r}}\right) & h_3 \neq h_2 \text{ akış bağlantısız} \\ \theta_v \left(\frac{1}{\frac{h_2}{\theta_r}+1}\right) & h_3 = h_2 \text{ akış bağlantısız} \end{cases} \quad (3.18)$$

Tail-down Epanechnikov model $h_3 \geq h_2 \geq 0$; $h = h_1 + h_2$; $f_{er}(h_2, h_3; \theta_r) = 16\theta_r^3 + 17\theta_r^2 h_3 - 15\theta_r^2 h_2 - 20\theta_r h_2^2 - 2\theta_r^2 h_3 + 10\theta_r^2 h_2 h_3 + 5h_2 h_3^2 - h_3^3 - 10h_3 h_2^2$ için;

$$C_d(h_2, h_3, h | \theta_u) = \begin{cases} \frac{\theta_r^2 (h - \theta_r)^2 f_{eu}(h; \theta_r)}{16\theta_r^5} \left| \left(\frac{h}{\theta_r} \leq 1 \right) \right. & \text{akış bağlantılı} \\ \frac{\theta_r^2 (h_3 - \theta_r)^2 f_{er}(h_2, h_3; \theta_r)}{16\theta_r^5} \left| \left(\frac{h_3}{\theta_r} \leq 1 \right) \right. & \text{akış bağlantısız} \end{cases} \quad (3.19)$$

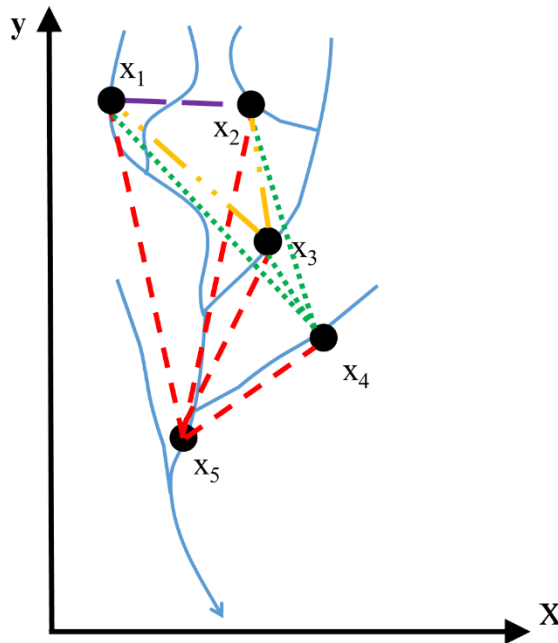
Şekil 3.16 (a) ve 3.18 (a)'da yer alan akış bağlantılı konumlardan anlaşılacağı üzere, söz konusu konumlar arasındaki kovaryansı tail-up ve tail-down modelleri için aynıdır. Tail-down modelleri, akış bağlantılı ve bağlantısız konumlar arasında otokorelasyon oluşturması açısından memba ve mansap yönünde hareket edebilen sucul canlılar (balık vb.) gibi değişkenleri modellemek için kullanışlı olmaktadır.

3.2.3. Öklid mesafe modeli

Öklid mesafe modellerini geliştirmek için 2 boyutlu koordinat sistemleri kullanılmaktadır. SSN modelinde dört farklı parametrisasyon ile öklid modelleri kurulabilmektedir. Örneğin; x_1 konumu için x_{11} , y_{11} ve x_2 konumu için x_{22} , y_{22} koordinatlarında öklid mesafesi;

$$h = \sqrt{(x_{11} - x_{22})^2 + (y_{11} - y_{22})^2} \quad (3.20)$$

olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.19. Nehir ağlarında 2 boyutlu koordinat sisteminde öklid mesafesi

Öklid mesafe Cauchy Modeli;

$$C_e(d|\theta_e) = \sigma_e^2 \left(1 + 4.4 \left(\frac{d}{\alpha_e}\right)^2\right)^{-1} \quad (3.21)$$

Öklid mesafe Küresel Modeli;

$$C_e(d|\theta_e) = \sigma_e^2 \left(1 - \frac{3}{2} \frac{d}{\alpha_e} + \frac{1}{2} \frac{d^3}{\alpha_e^3}\right) \left|\left(\frac{d}{\alpha_e} \leq 1\right)\right. \quad (3.22)$$

Öklid mesafe Üstel Modeli;

$$C_e(d|\theta_e) = \sigma_e^2 \exp\left(-\frac{3d}{\alpha_e}\right) \quad (3.23)$$

Öklid mesafe Gauss Modeli;

$$C_e(d|\theta_e) = \sigma_e^2 \exp\left(-3\left(\frac{d}{\alpha_e}\right)^2\right) \quad (3.24)$$

3.2.4. Rassal etkiler modeli

Varyans bileşenleri modeli olarak da adlandırılan Rassal etkiler modeli, modelin sistematik bileşenlerini tanımlayan bazı parametrelerin (etkilerin) bir tür rassal varyasyon sergilediği istatistiksel modellerdir. Mekânsal nehir ağı modellerinde, faktör değişkenleriyle ilişkili rassal etki modeli uygulanmaktadır. Örneğin; $\gamma_k(x)$, x konumundaki faktör seviyesini göstermektedir. Her γ_k seviyesinin, ortalama değeri 0 ve varyansı σ_k^2 olan rassal bir miktar olduğu varsayılmakta olup bunlar bağımsız ve benzer şekilde dağıtılır. Bu nedenle, aynı γ_k seviyesine sahip gözlemler korelasyon göstermekte, farklı γ_k seviyelerine sahip gözlemler ise korelasyon göstermemektedir.

$$C_k(r_i, s_j) = \begin{cases} \sigma_i^2 & \gamma_k(r_i) = \gamma_k(s_j) \\ 0 & \gamma_k(r_i) \neq \gamma_k(s_j) \end{cases} \quad (3.25)$$

3.2.5. Mekânsal doğrusal karma model

Nehir ağlarında kullanılan en genel doğrusal model 3.26'daki gibidir:

$$Y = X\beta + z_u + z_d + z_e + W_1\gamma_1 + \dots + W_p\gamma_p + \varepsilon \quad (3.26)$$

burada X , sabit etkilerden oluşan bir matristir. β parametreleri tarif etmektedir. z_u , mekânsal olarak otokorelasyonlu tail-up otokovaryansı; $\text{var}(z_u) = \sigma_u^2 R(\alpha_u)$ ve $R(\alpha_u)$ menzil parametresine bağlı olan bir korelasyon matrisi; içeren rassal değişkenler vektörüdür. z_d , mekânsal olarak otokorelasyonlu tail-down otokovaryansı; $\text{var}(z_d) = \sigma_d^2 R(\alpha_d)$ içeren rassal değişkenler vektörüdür. z_e , mekânsal olarak otokorelasyonlu Öklid

mesafe otokovaryansı; $\text{var}(z_e) = \sigma_e^2 R(\alpha_e)$ içeren rassal değişkenler vektörüdür; W_k , rassal etkileri; $\gamma_k; k=1, \dots, p$ için $\text{var}(\gamma_k) = \sigma_k^2 I$; içeren bir matristir. ε , bağımsız rassal değişkenleri; $\text{var}(\varepsilon) = \sigma_0^2 I$; içermektedir.

Mekânsal bu model; tahmin için kullanıldığında X matrisinin birler sütunundan oluşan tek bir sütun olduğu özel bir durum olan sıradan kriging yani evrensel kriging olarak adlandırılmaktadır. Bu kapsamda, nehir ağlarında kullanılan en genel kovaryans matrisi 3.27’de verildiği şekilde formülize edilebilmektedir.

$$\text{cov}(Y) = \Sigma = \sigma_u^2 R(\alpha_u) + \sigma_d^2 R(\alpha_d) + \sigma_e^2 R(\alpha_e) + \sigma_1^2 W_1 W_1^T + \dots + \sigma_p^2 W_p W_p^T + \sigma_0^2 I \quad (3.27)$$

Model kullanıcıları tarafından belirlenen muhtemel kovaryans parametrelerinin bazı alt kümelerini, $\Theta = (\Theta_u^T, \Theta_d^T, \Theta_e^T, \dots, \sigma_1^2, \dots, \sigma_p^2, \sigma_0^2)$, ve β parametresini tahmin etmek için maksimum olabilirlik (Maximum Likelihood - ML) veya sınırlı maksimum olabilirlik (Restricted Maximum Likelihood - REML) kullanılmaktadır.

3.3. Nehir Ağlarında Keşifsel Mekânsal Veri Analizi

Keşifsel mekânsal veri analizi (ESDA), çalışma alanına ilişkin mekânsal dağılımları tanımlamaya ve görselleştirmeye, atipik konumları veya mekânsal aykırı değerleri tanımlamaya, mekânsal ilişki modellerini, kümeleri veya sıcak noktaları keşfetmeye olanak tanıyan ve CBS ortamında gerçekleştirilen süreçlerdir.

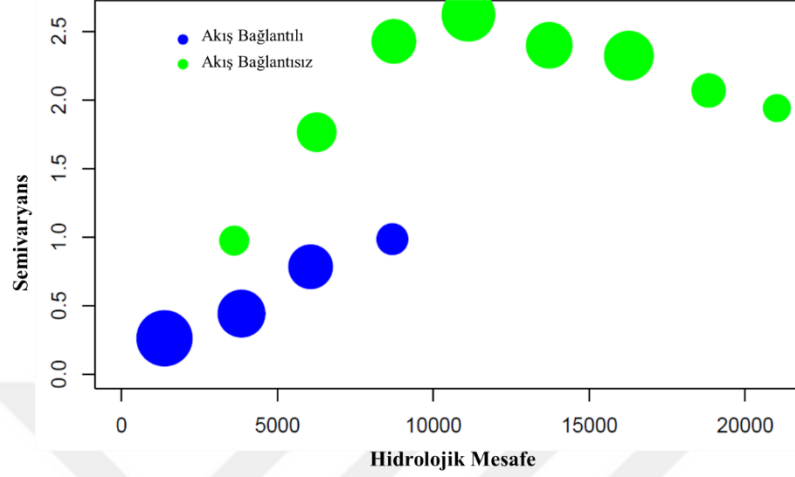
Dendritik ve kompleks nehir ağlarında, ağ çıkışının, kenarların birleşimleri ve bağlantılı kenarların akış özelliklerine göre tespiti CBS ortamında tematik haritalandırmalar ile oldukça anlaşılabilir olmaktadır. Ayrıca, gözlem noktalarının nehir ağlarındaki konumu ve gözlemlenen değişkenlere ait değerlerin sınıflandırılarak görselleştirilmesi nehir ağı üzerinde araştırmayı kolay kılmaktadır.

Mekânsal istatistiğin temelinde yer alan öklid mesafesinin bir fonksiyonu olarak gözlemler arasındaki mekânsal bağımlılığın nasıl değiştiğinin anlaşılması için deneysel semivaryogram grafikleri kullanılmaktadır. Nehir ağlarında ise, Torgegram adı verilen benzer bir grafik, keşifsel mekânsal veri analizinin bir basamağı olarak sunulmaktadır (Peterson ve Ver Hoef, 2010).

3.3.1. Torgegram

Torgegram, hidrolojik mesafeye dayalı akış bağlantılı ve akış bağlantısız veri çiftleri için ayrı olarak çizilen semivaryogram grafiğidir (Şekil 3.20). Bu grafikte, belirli

hidrolojik mesafelerde grup (bin) olarak oluşturulan nokta çiftlerinin boyutu her grup içerisindeki nokta çift sayısı ile orantılıdır.



Şekil 3.20. Keşifsel mekânsal veri analizi: Torgegram

Torgegram, akış bağlantılı ve akış bağlantılı olmayan konumlara ait otokorelasyonu ayrı olarak değerlendirmek için görsel bir araçtır. Hidrolojik mesafe arttıkça artan semivaryans değerlerinin belli bir uzaklıkta düzensiz bir dağılım veya azalması durumuna kadar olan kısım mekânsal otokorelasyonu göstermektedir. Uygun aday modellerin seçiminde de bilgilendirmeye yardımcı olmaktadır.

3.4. Mekânsal Modellerin Oluşturulması ve Seçimi

Bir nehir ağında yer alan kovaryans yapısı, mekânsal doğrusal bir model ile formülize edilmektedir. Nelder-Mead algoritması (Nelder ve Mead 1965) kullanılarak ML veya REML denklemleri optimize edilmektedir. Kovaryans matrisleri transpoze edilerek n gözlem için hesaplama süresinin n^3 ile orantılı olarak arttığı ve ML veya REML tahmin yönteminin her yinelenmesi için uygulanmaktadır. Bu açıdan, işlem hacmi çok fazla artan bu yöntemde 1000 gözlemden fazla kullanılmaması tavsiye edilmektedir. Nehir ağı modelinde, ortak değişkenler bir bileşen olarak mekânsal kovaryansa dahil edilmektedir. Bu haliyle, gerek hareketli ortalama fonksiyonların gerekse farklı ortak değişken kovaryans yapılarının çeşitli kombinasyonları kullanılarak modeller oluşturulabilmektedir. Ortak değişkenlerin karma model sonuçlarında gösterdiği anlamlılık üzerinden nehir ağı modelleri geliştirilip nihai olarak kullanılmaktadır.

Nehir ağıları için mekânsal bir modelin önemi, araştırmacıların ve karar vericilerin değişkenler arasında ilişkiler kurmasına ve nehir ağı boyunca su kalitesi parametresindeki değişiminin nedenleri hakkında fikir edinmesine izin vermesidir. Nehir ağında su kalitesine etkileyen süreçler gereği, tüm önemli faktörler ölçülememekte ve bilinmemektedir. Fonksiyonların uygulanması sonrasında ortaya çıkan hata değerleri bakiyeler olarak adlandırılmaktadır. Bu açıdan, ölçülemeyen ve bilinmeyen faktörlerden kaynaklı, model bakiyelerinde önemli bir mekânsal varyasyon kalabilmektedir. Söz konusu mekânsal varyasyon, ortak değişkenlerle birlikte kullanılarak nehir ağı boyunca örneklenmemiş konumlarda tahminlere izin vermektedir. Diğer bir deyişle, model bakiyelerinde otokorelasyonun varlığı değişkenlerin model üzerindeki etkisini de ortaya koymaktadır.

3.4.1. Modellerin değerlendirilmesi

Mekânsal modellerin performansını değerlendirmek ve aykırı değerlerin doğrulanması için çapraz doğrulama (LOOCV) iyi bir teşhis sağlamaktadır. Nehir ağıları mekânsal modellerinde de tahminler için kullanılan her bir gözlem çıkartılarak kalan kısmı ayrılmaktadır. Burada, ayrılacak gözlemlerin seçimi çapraz doğrulamanın amacını ortaya koymaktadır. Kalan gözlemler için geliştirilen model üzerinden yapılan tahminler ve standart hataları gözlem değerleriyle bir grafik içerisinde karşılaştırılarak determinasyon katsayısı (r^2) ve tahmin hatası (RMSPE) değerleri üzerinden değerlendirilmektedir. RMSPE kriteri, literatürde yer alan Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Square Error – RMSE) olarak da bilinmektedir.

En iyi nehir ağı modelinin seçimi kapsamında, özellikle kovaryans yapıları için önceden bilgi edinecek bir yapı nadiren bulunmaktadır. Bu nedenle gerek performans gerekse kavramsal açıdan değerlendirilerek kurulan modeller çeşitli şekillerde karşılaştırılmaktadır. Birden farklı mekânsal model için AIC ölçütü (Akaike Information Criteria) çıkarılmakta olup her model için çapraz doğrulama istatistiklerine ait sonuçlar değerlendirilmektedir. AIC ölçütü, sabit etkilerin modeller arasında değişmediği REML ile kullanılabilir. Karşılaştırmalarda, düşük AIC ve düşük RMSPE değerleri modellerin daha uygun olabileceğine dair fikir vermektedir.

Uygulamada ortak değişkenler, mekânsal otokorelasyon hatalara göre modellenir; bu nedenle bakiyelerin bir Torgegramı, sabit etkiler uygulandıktan sonra mekânsal modeli görselleştirmektedir. Ancak burada modelin sadece mesafeye bağlı bir fonksiyon

olmaması durumu, diğ er bir deyişle modellerde kullanılan ağırlıklandırma ve hidrolojik mesafelerin memba mansap ilişkilerine göre kurulması bakiyelerin toregramında otokorelasyonun dağılımı modellerin uyumu ve iyiliğı hakkında bilgi verse de nihai değerlendirme için bir araç olmamaktadır.

3.5. Ortak Değişkenlerin Belirlenmesi ve Seçimi

3.5.1. Mekânsal değişkenlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi

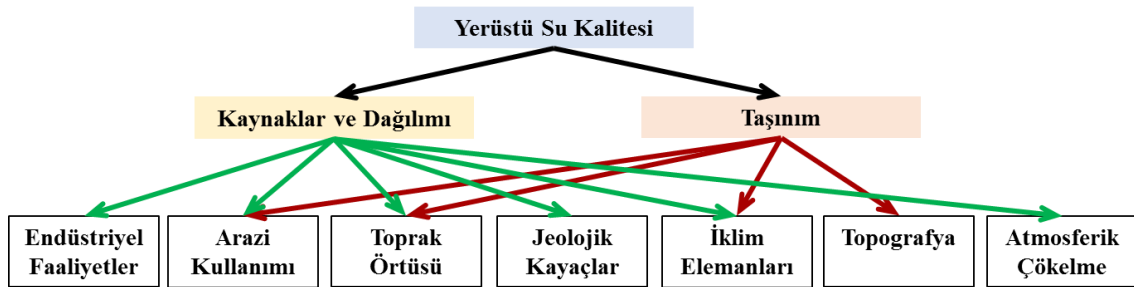
Mekânsal veri setleri, su kalitesi çalışmalarında doğal ve antropojenik faktörleri temel olarak kavramsal ve istatistiksel modellerin geliştirilmesi için altlık sağlamaktadır. Yerüstü su kalitesi gösterge parametrelerine etkiyen mekânsal süreçler 2 ana başlık altında toplanabilir. Bunlardan ilki, kaynakların varlığı ve dağılımıdır. Örneğin; nitrat azotu, azot döngüsünün bir parçası olarak doğada, toprakta organik olarak belirli seviyelerde bulunmaktadır. Bununla birlikte, yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak antropojenik ve tarımsal kaynaklı kirliliğin yerüstü sularında etkili olduğu ortaya koyulmaktadır. Bu açıdan nitrat azotu kaynakları; tarımsal alanda kullanılan azotlu gübreler, hayvansal gübreler, endüstriyel atık su deşarjları, kentsel/evsel kanalizasyon atıkları, septik sistemler, insan atıkları ve atmosferik birikim sayılabilir. İkinci ana süreç; 2 farklı ölçekte detaylandırılabilir taşınım sürecidir. Burada, kirletici kaynaklarının su kaynaklarına taşınımı ve su kaynakları içerisinde kirletici kaynakların mobilizasyonu, mekânsal açıdan taşınımın iki farklı ölçeğini yansıtmaktadır. Kirletici kaynaklarının su kaynaklarına taşınımı, büyük oranda yüzeysel akış ile drenaj yapıları ile gerçekleşmektedir. Su kaynakları içerisinde mobilizasyon; memba-mansap yönünde adveksiyon hareketi ile gerçekleşmekle beraber difüzyon, dispersiyon, çözünme, çökelme, volatilizasyon, adsorpsiyon / absorpsiyon, kimyasal bozunma, kompleks oluşturma gibi birçok süreci içermektedir.

Yerüstü sularına etkiyen süreçlerde anlamlı ayrımlar oluşturabilecek mekânsal sınırlar, topografyanın en yüksek noktalarının birleşerek oluşturduğu su toplama alanlarıdır. Bu alanlar içerisindeki kaynaklar ve taşınım süreçleri o alana ait su kaynağını birinci dereceden etkilemektedir (şekil 3.21).



Şekil 3.21. Mekânsal süreçlerin yerüstü su kalitesi gösterge parametrelerine etkisinin şematik gösterimi

Su kalitesi gösterge parametrelerinin mekânsal abiyotik faktörlerle ilişkileri üzerine literatürde yer alan pek az çalışma bulunmaktadır (Lintern vd., 2017). Yerüstü sularının kalitesi üzerinde mekânsal değişkenlik göz önüne alındığında; endüstriyel faaliyetler, arazi kullanımı, toprak örtüsü, atmosferik çökeltme, jeolojik kayaçlar, iklim elemanları ve topografya gibi faktörlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu faktörlerin, su kalitesine etkileyen süreçler açısından değerlendirilmesi Şekil 3.22’de verilmektedir.



Şekil 3.22. Mekânsal abiyotik faktörlerin su kalitesi süreçleri açısından değerlendirilmesi

Endüstriyel faaliyetler, organik ve inorganik kirleticilerin farklı seviyelerde yer aldığı atıksu üretiminin gerçekleştiği oluşumlardır. Sucul ekosistemlerin sağlığı üzerine

çevresel kalite standartlarının sağlanması için yerüstü sularında kimyasallar, ağır metaller vb. kirletici maddelere belirli seviyelerde bulunulmasına izin verilmektedir. Bu amaçla, alıcı ortam bazlı deşarj standartları kapsamında endüstriyel faaliyet gösteren tesisler yönetmeliklerce belirtilen sınır değerlere uygun bir arıtım yaparak su kaynaklarına deşarjın sağlanması gerekmektedir. Bu çerçevede, kaçak deşarjlar su kaynaklarında kalitenin modellenmesinde büyük belirsizlikler yaratabilmektedir. Arazi kullanımı; orman varlığı, tarımsal alanlar, yapay alanlar, sulak alanlar gibi alt tipler üzerinden değerlendirildiğinde farklı kaynakların muhtevası ve taşınımında önemli rol oynayabilmektedir. Toprak örtüsü sınıfları, içerdikleri organik madde ve tuz açısından kaynak durumunda kabul edilirken toprağın geçirimsizliği, gözenekliliği vb. açısından yüzeysel akışta taşınımına etki eden bir etmen olarak kabul edilmektedir. Jeolojik kayaçlar, oluşumları açısından biriktirdikleri jeokimyasal elementlerin çözünme süreçleri ile yerüstü sularına doğal arka plan olarak girişim yapmaktadır. İklim elemanları, suların fizikokimyasal bazı özelliklerine (su sıcaklığı, çözünmüş oksijen vb.) etki eden güneşlenme, hava sıcaklığı, basınç, rüzgâr, yağış, bulutluluk, buharlaşma parametreleridir. Ayrıca hava sıcaklığı ve yağış, yüzeysel akışın en önemli etkenleri olarak taşınım süreçlerinde önemli rol oynamaktadır. Topografya, yerüstü sularını sınırlayan su toplama alanlarının en temel bileşeni olarak taşınımı önemli derecede etkilemektedir. Su toplama alanları; rakım, eğim, drenaj yoğunluğu vb. jeomorfolojik özellikleri açısından hidrolojik hareket ve dolayısıyla taşınım ile yakından ilişkilidir. Atmosferik çökeltme, hava yoluyla taşınan kaynakların kuru/ıslak olarak gerçekleşen süreçler ile su kaynaklarına ulaşması ile gerçekleşmektedir. Örneğin, yoğun fosil yakıt sonucu ortaya çıkan önemli miktarda karbon içeren aerosoller sularda kirlilik kaynağı olarak kendini göstermektedir.

Nehir ağı mekânsal modellerinde karma kovaryans yapılarında yer alacak ortak değişken veya değişkenler, bahsi geçen mekânsal abiyotik faktörler üzerinden belirlenebilmektedir. Burada; doğru, güncel ve detaylı mekânsal veri setlerinin varlığı modellerin hassasiyeti üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca, mekânsal veri setlerinin yerüstü su kaynakları özelinde bölgeselleştirilme yöntemleri de model sonuçlarında etkili olmaktadır. Mekânsal sınırlar; modellenecek değişkenlerin su kalitesi kinetiklerinin parametreler üzerinde etkilerine göre farklı ölçeklerde değerlendirilebilmektedir.

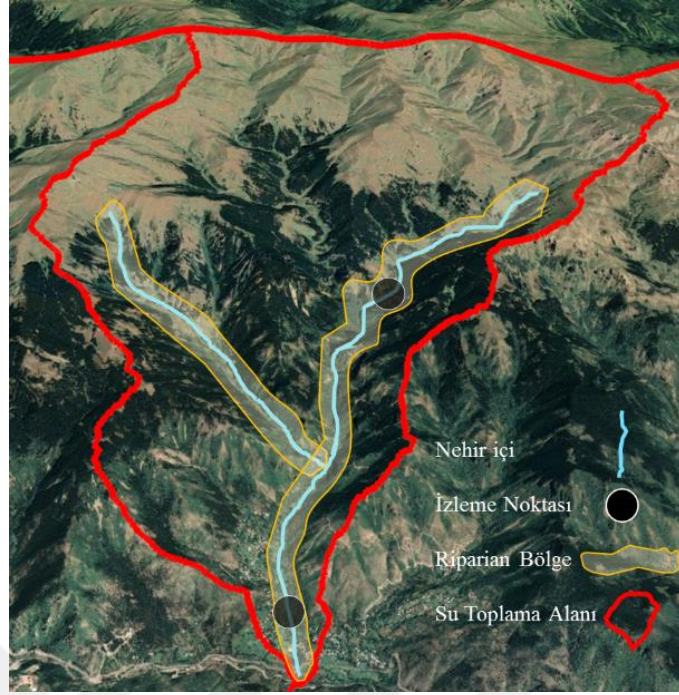
Havza bazında ortak mekânsal değişkenlerin araştırılacağı ölçekler, CBS'nin sunduğu nokta, çizgi ve alan veri tipleri açısından sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada en geniş ölçek olarak ilk sırada, su toplama alanları gelmektedir.

Bir su toplama alanı, o alana ait su kaynağını besleyen akışları oluşturduğundan dolayı söz konusu kaynağa ait su kalitesi parametrelerini etkilediği aşıkardır. Su kaynağındaki taşınım ile mansap yönünde bu parametre değerleri su içerisindeki süreçlerden etkilenebilmektedir. Örneğin, jeolojik açıdan karstik yapıların bulunduğu bir drenaj alanında su kaynaklarında tuzluluğun yüksek olması beklenen bir durum olacaktır.

Ölçek sınıflandırmasında ikinci olarak yerüstü su kaynağının kıyı şeridi boyunca tampon bir bölge olan karasal ekosistemi içeren üst riparyan bölge yer almaktadır. Ekolojik yaşam, flora ve fauna açısından su toplama alanının yerüstü sularına bir koridoru olan riparyan bölge, abiyotik ve antropojenik etkilere mekânsal olarak en savunmasız alanlardan biridir.

İzleme noktaları, modellenecek su kalitesi gösterge parametrelerine ait numunelerin alındığı noktalar olarak ayrı bir değerlendirme sınıfı olarak ortaya koyulabilir. Bu noktalar, mekânsal veri setlerinde bulundukları konumu temsil etmektedirler. Konumlardaki değişkenler, genel yapıdan ziyade veri setlerinde o konuma düşen bilgileri içermektedir. Örneğin, vadi içerisinde akmakta olan nehrin bir konumundan alından yükseklik bilgisi nehrin tamamını temsiliyet açısından yetersiz kalabilmektedir.

Mekânsal verilerin, nehir içi olarak çizgi detayı üzerinden değerlendirilebilmesi de başka bir sınıf olarak ortaya koyulmaktadır. Burada, akışın gerçekleştiği nehir kolunun genel temsiliyeti sadece çizgi ölçeğindeki konumlarda geçerli olmaktadır. Bir bakış açısıyla, izleme noktalarından daha temsili ancak riparyan bölge ve su toplama alanlarının mekânsal varyasyonu açısından daha az temsil kabiliyeti olabilen nehir içi sınıfı veri setlerinin değerlendirilmesi açısından kullanılabilir. Alansal ve çizgi sınıflarında ortalama, maksimum, minimum, ağırlıklı ortalama vb. mekânsal istatistikler sonucu ortak değişkenler hesaplanabilmektedir. İzleme noktalarında ise değişkenler tek bir değer alabilmektedir.



Şekil 3.23. Mekânsal veri setlerinin nokta, çizgi ve alan tiplerinde değerlendirilmesi

3.5.2. Ortak değişkenlerin seçimi

Mekânsal ortak değişkenler; model değişkeni ile istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gösteren parametreler olmasının yanında kavramsal olarak da neden-sonuç ilişkisinin kurulmasını sağlamalıdır. Öte yandan, yoğun bir veri seti içerisinde en temsili kullanılabilir ortak değişkenin seçimi için kapsamlı tarama yöntemlerinin kullanımı faydalı olmaktadır. Korelogram grafikleri, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve kuvvetini ortaya koyması açısından değerlendirmede kullanılabilir. Ayrıca, temel bileşen analizi ile mekânsal veri ve ölçüm sonuçlarının yer aldığı veri kümesinin varyansı maksimize edilerek aralarında korelasyon bulunan çok sayıda değişkenin açıkladığı yapıyı, aralarında korelasyon bulunmayan az sayıda değişkenle temsil edilmesi sağlanabilir. Böylece, gruplandırılan temel bileşenlerdeki değişkenler su kalitesi parametreleri ile mekânsal veriler arasındaki varyasyonun durumu incelenerek ortak değişkenlerin seçimi için bilgi edinilebilmektedir.

Kapsamlı tarama seçim yöntemlerinden Leaps and Bounds algoritması bu çalışmada ortak değişkenlerin seçimi için kullanılabilir bir yöntemdir. Söz konusu algoritma, R ortamında çalışma verilerine uygulanabilmektedir. Bu yöntemle modellenecek değişkenin çok sayıda mekânsal değişkenlerin alt kümelerine veya onun

temel bileşen kümelerine göre optimum sayıda ve özellikte değişkenin seçimi yapılmaktadır.

4. ÇALIŞMA ALANI VE MATERYAL

Bu tez kapsamında ortaya koyulan metodoloji, doğal yapıları ve antropojenik etkileri mekânsal olarak farklı özellikteki iki ayrı nehir ağını içeren havzada uygulanarak karşılaştırılacaktır. Bu amaçla, Türkiye'nin 25 adet su havzasından olan Çoruh Havzası ve Küçük Menderes Nehri Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil. 4.1).



Şekil 4.1. Küçük Menderes ve Çoruh Havzaları

Çalışmanın temelinde yer alan sayısal su kaynaklarına ilişkin veriler (nehirler ve göller), Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 2017-2021 yılları arasında yürütülmüş olan “*Su Kaynaklarının Sayısallaştırılması; Tipoloji, Kütle ve Risk Çalışmalarının Yapılarak İzleme Programlarının Hazırlanması*” Projesi kapsamında güncel ortofotolar kullanılarak yüksek hassasiyette, hidrolojik sürekliliği sağlanmış olarak üretilen verilerden temin edilmiştir. Mekânsal olarak modellenecek su kalitesi parametrelerine ait su sıcaklığı,

çözünmüş oksijen, iletkenlik, tuzluluk, klorür, pH ve alkalinite ölçüm verileri ise aynı proje kapsamında her bir havza özelinde eş zamanlı gerçekleştirilmiş arazi çalışmaları neticesinde elde edilmiştir. Havzalara ait mekânsal veri setlerini elde etmek üzere ise farklı kaynaklardan derlenen ham verilere ilişkin bilgiler Tablo. 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. *Mekânsal veri setleri özellikleri*

Mekânsal Veri Sınıfı	Mekânsal Veri Tipi	Veri Türü	Tanım	Veri Kaynağı
Topografya	Eğim (%)	Raster	5m çözünürlüklü SYM’den üretilen Eğim Haritası	Tarım ve Orman Bakanlığı
	Yükseklik (m)		5m çözünürlüklü SYM	
Arazi Kullanımı	Corine 2018	Vektör	1/100.000 ölçekli Arazi kullanım	Tarım ve Orman Bakanlığı
	Toprak		1/100.000 ölçekli Büyük Toprak Grupları (BTG) Haritası	
	Hidrolojik Toprak Sınıfları		BTG haritasından üretilmiştir.	
	Yüzeysel Akış Eğri Numarası		Arazi Kullanım ve Hidrolojik Toprak Sınıflarının çakıştırılması sonucu üretilmiştir.	
	Toprak Organik Karbonu		250 m çözünürlüklü TOK stok (ton C ha ⁻¹) Haritası	
Jeoloji	Jeolojik Formasyon	Vektör	1/25.000 Ölçekli Sayısal Jeoloji Haritaları	Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
İklim	Uzun Yıllar Ortalama Sıcaklık	Raster	Biyoklimatik değişkenler (BIO 1 ve BIO12) 1970-2000	WorldClim Veritabanı
	Uzun Yıllar Ortalama Yağış			
Antropojenik	Nüfus Yoğunluğu	Vektör	1 km grid çözünürlüklü Nüfus Yoğunluğu Haritası (2015)	Tarım ve Orman Bakanlığı
	Tesis		Antropojenik faaliyetlerin gerçekleştirildiği sınıflandırılmış nokta tesis verilerinden üretilmiştir.	
	Foseptik		Kanalizasyon sisteminin bulunmadığı yerleşim merkezlerinde kullanılan septik sistemlere ait nokta verileridir.	

Arazi kullanımı mekânsal veri sınıfı kapsamında yer alan toprak verileri, 1960'lı yıllarda mülga TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından 1/25.000 ölçekli topografik haritalar kullanılarak üretilmiş olan 1/100.000 ölçekli “Büyük Toprak Grupları Haritası (BTG)” altlığı olarak ortaya koyulmuş ve zaman içerisinde revizyonlarla günümüzde de halen pek çok projede kullanılmaktadır. Söz konusu altlıkta yer alan, derinlik, bünye, yapı geçirgenlik, geçirimsiz katmanlar, drenaj ve eğim gibi özellikler ve bunların kombinasyonlarından elde edilen hidrolojik yüzey akış potansiyelini gösteren A, B, C ve D sınıfı hidrolojik toprak grupları belirlenmektedir. A sınıfı hidrolojik toprak grubu tipik olarak çakıllı veya kumlu bir dokuda olup, 10% dan az kil ve 90% dan fazla kum veya çakıl içermektedir. B sınıfı hidrolojik toprak grubu genellikle kumlu bir dokuya sahip olup, 10-20% kil ve 50-90% kum içermektedir. C sınıfı ise genellikle kumlu, killi ve siltli olarak karışık bir toprak dokusuna sahip olup, 20-40% kil ve 50% den az oranda kum içermektedir. D sınıfı hidrolojik toprak grubu suya tamamen doymuş durumda yüksek akış potansiyeline sahiptir. Suyun topraktaki iletimi engellenmiş veya çok kısıtlanmıştır. D toprak grubu dokusu genellikle killi dokuya sahip olup, 40% den fazla kil ve 50% den az oranda kum içermektedir. Özet olarak, A sınıfından D sınıfına doğru gidildikçe toprağın geçirimsizliği azalmaktadır.

Arazi kullanımı kapsamında diğer bir veri olan toprak organik karbonu (TOK) toprak organik maddesi içerisinde oluşan karbonu ifade etmekle atmosfer, bitki örtüsü, toprak ve nehirler arasındaki karbon döngüsünün kilit bir unsurunu oluşturmaktadır. Bu çerçevede TOK, su havzaları kapsamında yerüstü su kaynaklarına yüzeysel akış ile taşınabilmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen çalışma ile Türkiye'nin toprak karbon stok haritası oluşturulmuş olup bu çalışmada mekânsal değişken olarak kullanılmaktadır.

Modeller için bir mekânsal değişken olmakla beraber katkı fonksiyonu olarak değerlendirilebilen suyun miktarına ilişkin kabuller oluşturulmaktadır. Yağışın yüzeysel akış oluşturmaya ilişkin temel bağıntılarında kullanılan yüzeysel akış eğri numara haritası da hidrolojik açıdan bir kabul oluşturmaktadır. Söz konusu eğri numaraları, arazi kullanım ve hidrolojik toprak sınıflarının mekânsal karşılaştırma sonucu elde edilen hidrolojik birimler temelinde literatürde yer alan bilgiler neticesinde 0-100 arasında numaralandırılmaktadır. Burada, farklı toprak nemi ve arazi kullanımları koşullarında numara değerleri ayarlanabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, Corine 2018 ikinci

seviye arazi sınıfları – hidrolojik toprak sınıfları – eğri numaraları düzleminde oluşturulan eğri numara değerleri Tablo 4.2’de verilmektedir.

Tablo 4.2. *Arazi kullanımı- Hidrolojik toprak sınıfları - Eğri numaraları*

Arazi Kullanımı	Hidrolojik Toprak Sınıfları			
	A	B	C	D
Şehir Yapısı	85	90	92	94
Endüstriyel Ticaret ve Ulaşım Birimleri	83	89	92	93
Maden, Boşaltım, İnşaat Sahaları	77	86	91	94
Ekilebilir Alanlar	59	74	82	86
Sürekli Ürünler (meyve vb.)	45	66	77	83
Meralar	49	69	79	84
Karışık Tarım Alanları	59	74	82	86
Orman	36	60	73	79
Maki veya Otsu Bitkiler	35	56	70	77
Bitki Örtüsü az ya da Olmayan Alanlar	68	79	86	89
Karasal Bataklık	97	97	97	97
Karasal Sular	100	100	100	100

Jeolojik formasyon verisi, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları kullanılarak çalışma kapsamında su kalitesi parametrelerine dair mekânsal bir değişken olarak 3 ana yapıda toplanan jeolojik formasyonlar, silisli, kalkerli ve karışık başlıklarında sınıflandırılarak kullanılmıştır.

Ekosistemleri etkileyen önemli mekânsal değişkenlerden biri de iklim verileridir. Uzun yıllar ortalama yağış ve sıcaklık verileri mekânsal değişkenliğin ortaya koyulabilmesi amacıyla bioclim veritabanından ([http-2](http://2)) elde edilerek değerlendirilmiştir.

Havzada gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetlere ilişkin noktasal baskılar, Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmekte olan “*Su Kaynaklarının Sayısallaştırılması; Tipoloji, Kütle ve Risk Çalışmalarının Yapılarak İzleme Programlarının Hazırlanması*” projesi kapsamında kategorilendirilerek üretilen verilerden temin edilmiştir. Noktasal baskılar içerisinde kullanılmak üzere temin edilen bir başka veri, köy yerleşimlerinde tespit edilen foseptiklerdir. Söz konusu foseptik verisi, Köylerin Alt Yapısının Desteklenmesi Projesi (KÖYDES) kapsamında üretilmiş olan nokta verisidir.

Antropojenik etkilerin temelinde yatan insan faktörünü mekânsal olarak ortaya koyabilmek maksadıyla, 1 km grid çözünürlüklü 2015 yılına ait Nüfus Yoğunluğu

Haritası Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden üretilmiş olarak Tarım ve Orman Bakanlığı Ulusal Su Bilgi Sistemi'nden temin edilmiştir.

4.1. Küçük Menderes Nehir Havzası

Küçük Menderes Havzası; Türkiye'nin batısında yer alan Gediz ve Büyük Menderes Havzaları arasında sularını Küçük Menderes Nehri ve diğer akarsularla Ege Denizi'ne boşaltan yaklaşık 6.960 km² alanı kapsamaktadır. Kapladığı bu alan büyüklüğüyle Küçük Menderes Havzası, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %0,9'unu oluşturmaktadır. Küçük Menderes Havzası, %96'sı İzmir olmak üzere Aydın ilinin %3,6'sı ve çok küçük bir alan olarak da Manisa illeri bulunmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Küçük Menderes Havzası il ve ilçeler

4.1.1. Yerüstü su kaynakları

Küçük Menderes Havzası'nın en önemli akarsuyu Küçük Menderes Nehri'dir. Havzanın kuzeydoğusunda Bozdağlar, güneydoğusunda Aydın Dağları'ndan akan derelerden beslenen ve Kiraz Ovasında başlayan Küçük Menderes Nehri, güney yönünde aktıktan sonra Beydağ ilçesinden itibaren batı istikametinde ilerleyip, Ödemiş Ovasını

kat eder ve Torbalı ilçesinden katılan Fetrek Çayı ile birlikte güneybatı istikametinde Belevi Boğazı'ndan Selçuk Ovası'na ulaşır. Burada, Ege Denizi'ne delta oluşturarak dökülür. Küçük Menderes Nehri, Ege Denizi'ne ulaşınca dek yaklaşık 145 km'lik yol kat eder. Nehir kışın kabarır ve sağanak yağışlar olduğunda, özellikle delta alanı üzerinde yatağından taşarak, geçici bataklıklar oluşturur. Yazın ise sular çok azalır, özellikle kendisini besleyen küçük kollar tamamen kurur (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2019).

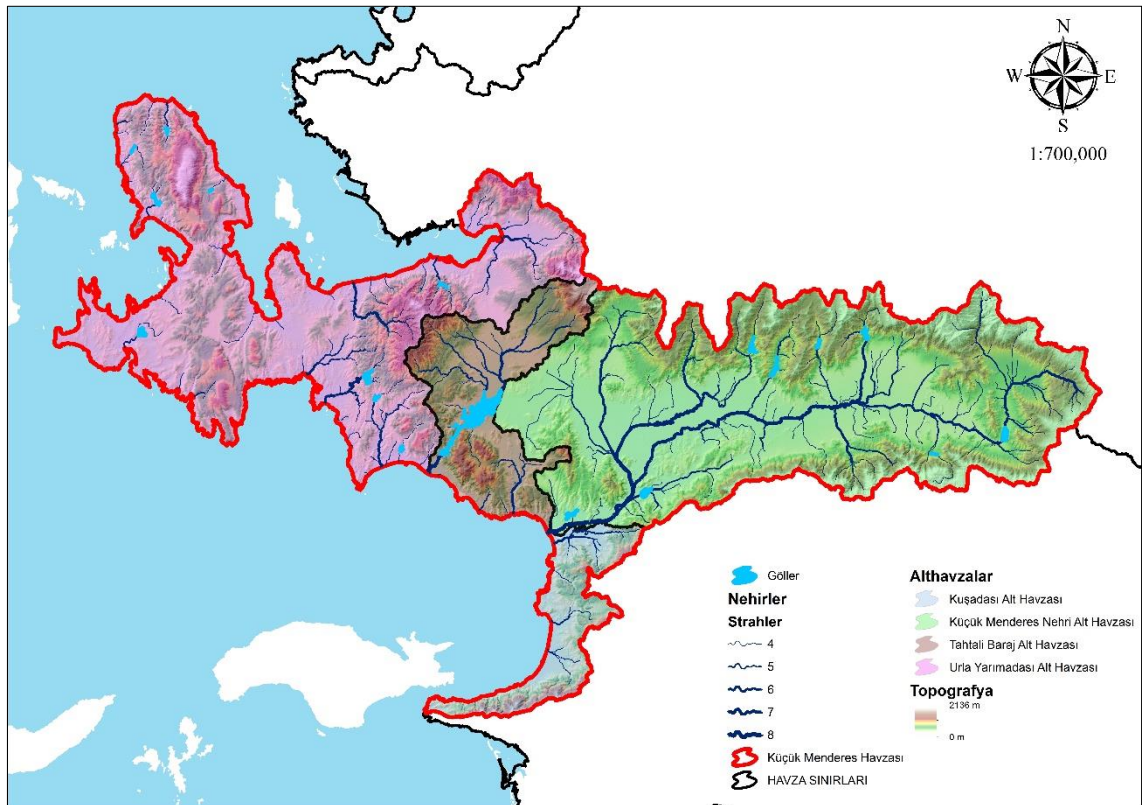


Şekil 4.3. Küçük Menderes Havzası yerüstü su kaynakları

Küçük Menderes Havzası nehir ağı, strahler derecelendirme yöntemine göre Küçük Menderes Nehri'nin Türkiye'yi terk ettiği nokta itibarıyla 8 dereceye ulaşmaktadır. Sayısallaştırılan tüm nehir ağı yaklaşık 17.420 km'lik bir uzunluğa sahip olmaktadır. Su kaynaklarının ölçeklendirilmesi kapsamında, Strahler 4 ve üzeri dereceler nehir ağı olarak kabul edilmiş olup bu haliyle, yaklaşık 1.835 km'lik bir uzunluğa sahiptir (Şekil 4.3).

Havzanın en büyük gölü olan Tahtalı Barajı Gölü, Tahtalı Çayı'nın üzerinde İzmir İline içme suyu karşılamak amacı ile inşa edilmiştir. Bununla birlikte, havzada Belevi, Gebekirse doğal gölleriyle Beydağ, Kutlu Aktaş, Seferihisar, Burgaz başta olmak üzere 30 hektarın üzerinde 16 baraj ve gölet işletmede ve inşa halinde bulunmaktadır. Bununla

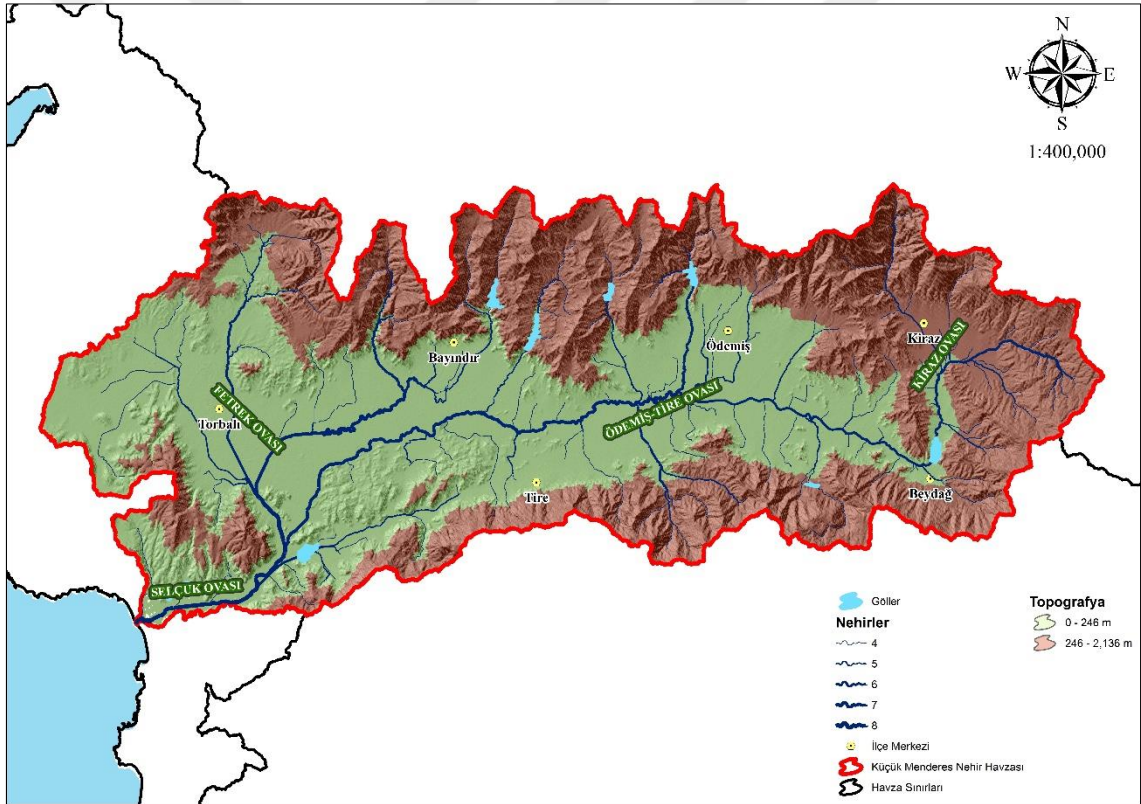
birlikte, havzada daha küçük alanlara sahip içme suyu kullanım amaçlı göletler de bulunmaktadır.



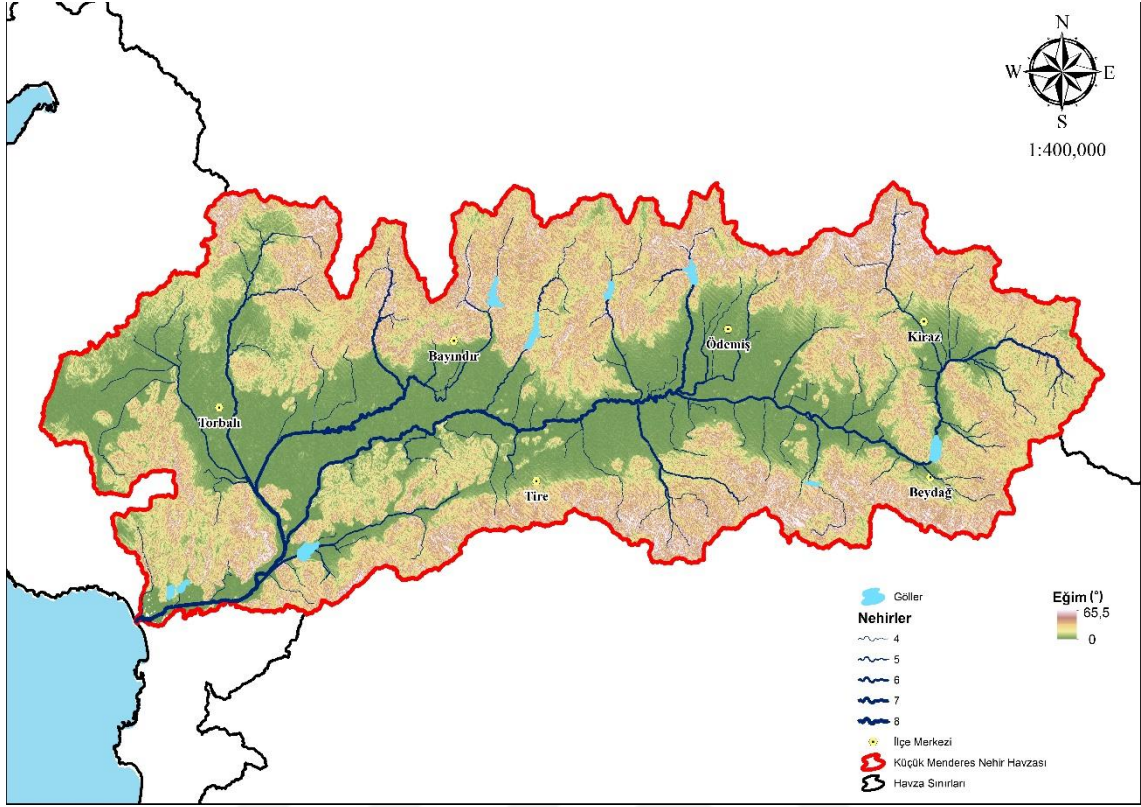
Çalışmada, kavramsal ve ifadesel bütünlüğün sağlanabilmesi adına çalışma alanı, Küçük Menderes Nehir Havzası olarak tanımlanmış olup bu noktadan itibaren aynı isimle anılacaktır. Küçük Menderes Nehir Havzası, yaklaşık 3.360 km² alanı ve 9.211 km’lik nehir ağı uzunluğu ile Küçük Menderes Havzası’nın yarısına yakınına ev sahipliği yapmaktadır. Strahler 4 ve üzeri nehir ağı ise yaklaşık 1.088 km’lik bir uzunluğa sahiptir.

4.1.2. Topografya

Küçük Menderes Nehir Havzası, 0 – 2136 m arasında değişen bir topoğrafyaya sahiptir. Havza içinde yerleşimlerin bulunduğu alanlar büyük ölçüde havzanın ova tabanında bulunmakta olup daha yüksek rakımlarda yerleşimlerin sayısının önemli oranda azaldığı görülmektedir. Havzanın kuzeydoğu ucunda bulunan Kiraz Ovası, devamında Ödemiş-Tire Ovası, havzanın kuzeybatısında Torbalı’da bulunan Fetrek Ovası ve Küçük Menderes Nehri’nin Ege Denizi kenarındaki Selçuk Ovası havzada tarımsal faaliyetleri yoğun olarak gerçekleştirildiği ovalardır. Havza genelinde bakıldığında, 250 metreye kadar olan topraklar havzanın yarısını oluştururken 250 - 2.136 metreye kadar olan kısım ise havzanın diğer yarısını oluşturmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Küçük Menderes Nehir Havzası sınıflandırılmış yükselti haritası

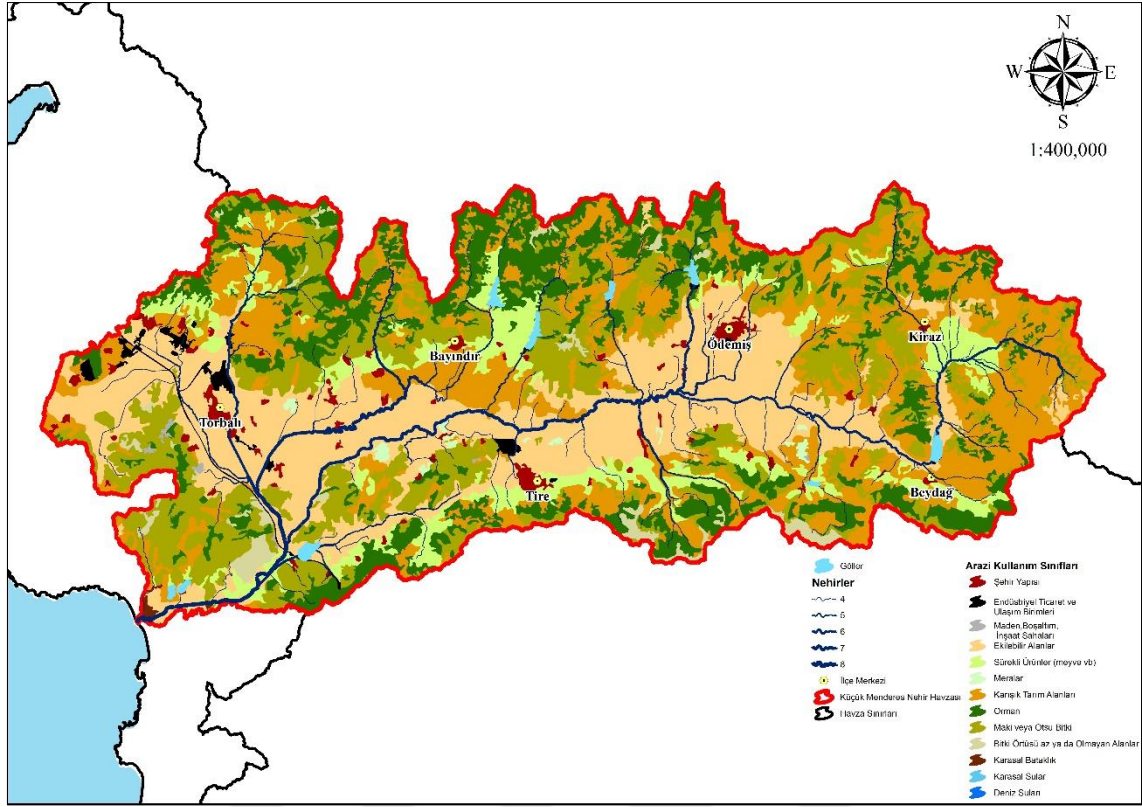


Şekil 4.6. Küçük Menderes Nehir Havzası eğim haritası

Genel olarak düzlük bir yapıya sahip olan Küçük Menderes Havzasında 65 dereceye varan eğimli alanlar da bulunmaktadır. Özellikle, Bozdağlar'dan doğan ve güney yönünde Kiraz ovası üzerinden hareket etmekte olan Küçük Menderes Nehri, havzanın düzlük ovaları arasından Ege Denizi'ne doğru mansaplanmaktadır (Şekil 4.6).

4.1.3. Arazi kullanımı

Küçük Menderes Nehri Havzası, 2018 Corine arazi örtü verileri kullanılarak ikinci seviyede sınıflandırılmıştır. Bu kapsamda, 3.360 km² havza alanının yaklaşık %25'ini ekilebilir tarımsal faaliyetin gerçekleştirildiği alanları kapsamaktadır. Bunu sırasıyla, yine %25'lik bir oranla karışık tarımsal alanlar, %20'lik kısmını maki veya otsu bitki alanları, %16'lık kısmını ormanlık alanlar, %8'lik kısmını bağ, meyve gibi sürekli ürünlerin yetiştirildiği alanlar, %2'sini bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar ve kalan kısmını ise kentsel alanlar ile maden/inşaat sahaları oluşturmaktadır (Şekil 4.7). Arazi kullanımının havza içerisindeki dağılımı mekânsal olarak değerlendirildiğinde, tarımsal faaliyetlerin yerleşim merkezleriyle iç içe olmak üzere tüm havza özelinde %60 oranla yoğunlaştığı görülmektedir. Ormanlık alanlar ise Bozdağlar ve Aydın Dağlarının yer aldığı havzanın yüksek rakıma sahip alanlarında yoğunlaşmaktadır.

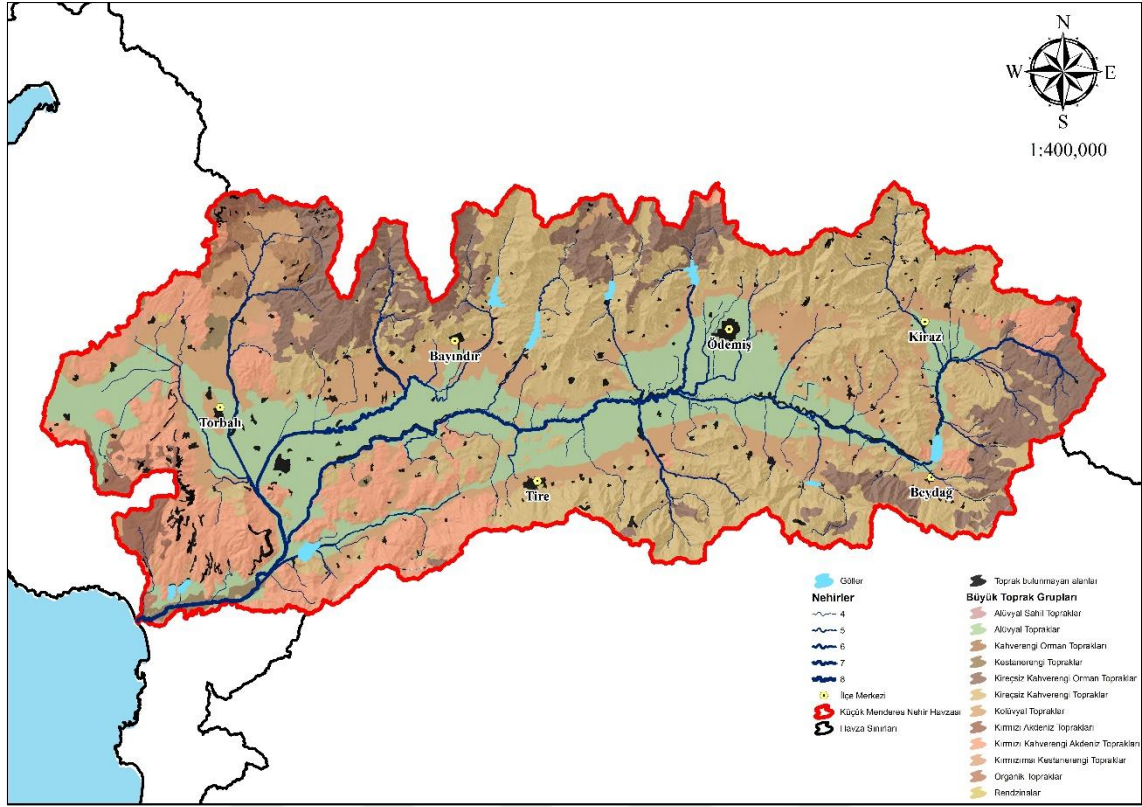


Şekil 4.7. Küçük Menderes Nehir Havzası arazi kullanım haritası

Küçük Menderes Nehir Havzası, büyük toprak grupları açısından 12 farklı sınıfta toprağa ev sahipliği yapmaktadır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Küçük Menderes Nehir Havzası büyük toprak grubu sınıfları alan ve yüzdeleri

Büyük Toprak Grubu Sınıfları	Alan (km2)	Havza Yüzde (%)
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	1053.4	31.4
Alüvyal Topraklar	663.9	19.8
Kolüvyal Topraklar	544.1	16.2
Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları	435.1	13.0
Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar	429.3	12.8
Toprak bulunmayan alanlar	93.5	2.8
Kırmızı Akdeniz Toprakları	58.8	1.8
Kahverengi Orman Toprakları	36.3	1.1
Kestanerengi Topraklar	23.9	0.7
Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar	12.6	0.4
Organik Topraklar	4.1	0.1
Rendzinalar	1.7	0.1
Alüvyal Sahil Topraklar	1.3	0.0

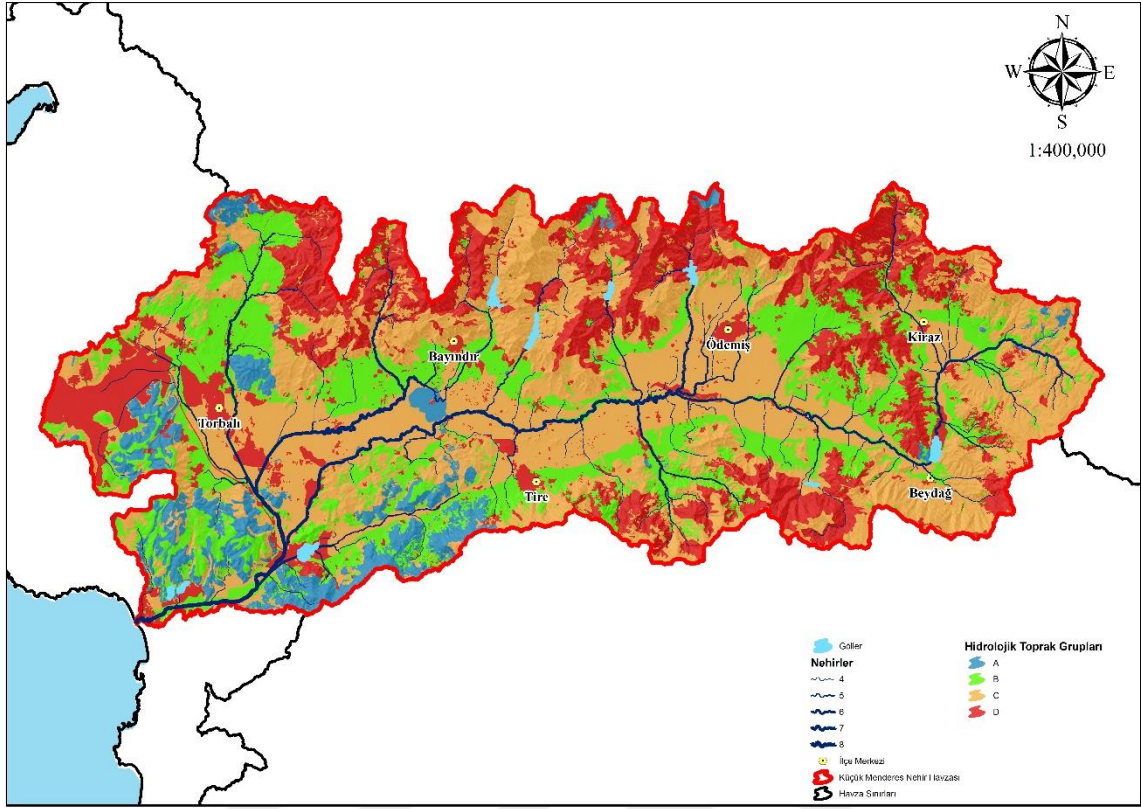


Şekil 4.8. Küçük Menderes Nehir Havzası büyük toprak grupları haritası

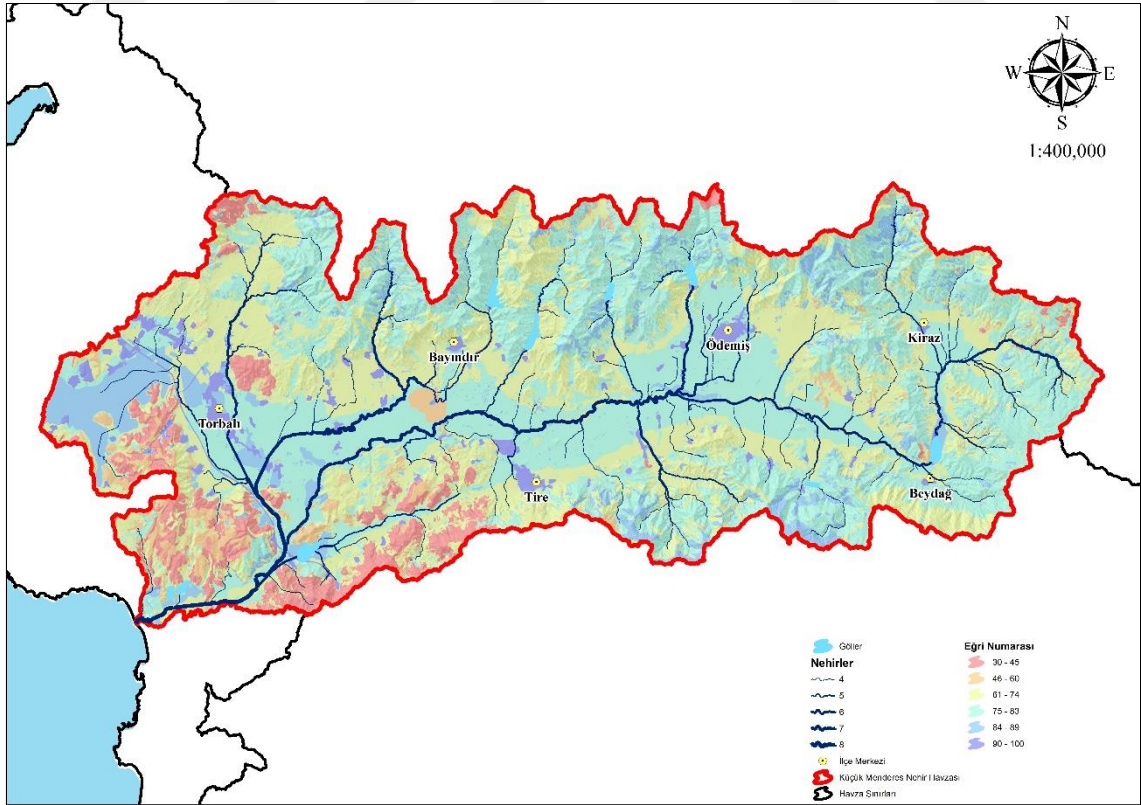
Şekil 4.8’de ve Tablo 4.3’te verildiği üzere Küçük Menderes Nehir Havzasının büyük çoğunluğunu kireçsiz kahverengi topraklar, alüvyal topraklar, kolüvyal topraklar kırmızı kahverengi akdeniz topraklı ve kireçsiz kahverengi orman toprakları oluşturmaktadır.

Küçük Menderes Nehir Havzası için toprak altlık verisinden üretilen Hidrolojik Toprak Grubu Sınıflarına ilişkin harita Şekil 4.9’da verilmektedir. Havzanın mansabına doğru gidildikçe A sınıf hidrolojik toprak grubunun daha fazla yer aldığı görülmektedir.

Hidrolojik toprak grupları verisi ve Corine 2018 arazi kullanım verilerinin mekânsal çakıştırılması sonucunda Tablo 4.2’de verilen ikinci seviye arazi sınıfları–hidrolojik toprak sınıfları–eğri numaraları kullanılarak oluşturulan eğri numaraları Küçük Menderes Nehir Havzası için 30 ile 100 değerleri arasında değişmekte olup ortalama 75 değerini almaktadır (Şekil 4.10).

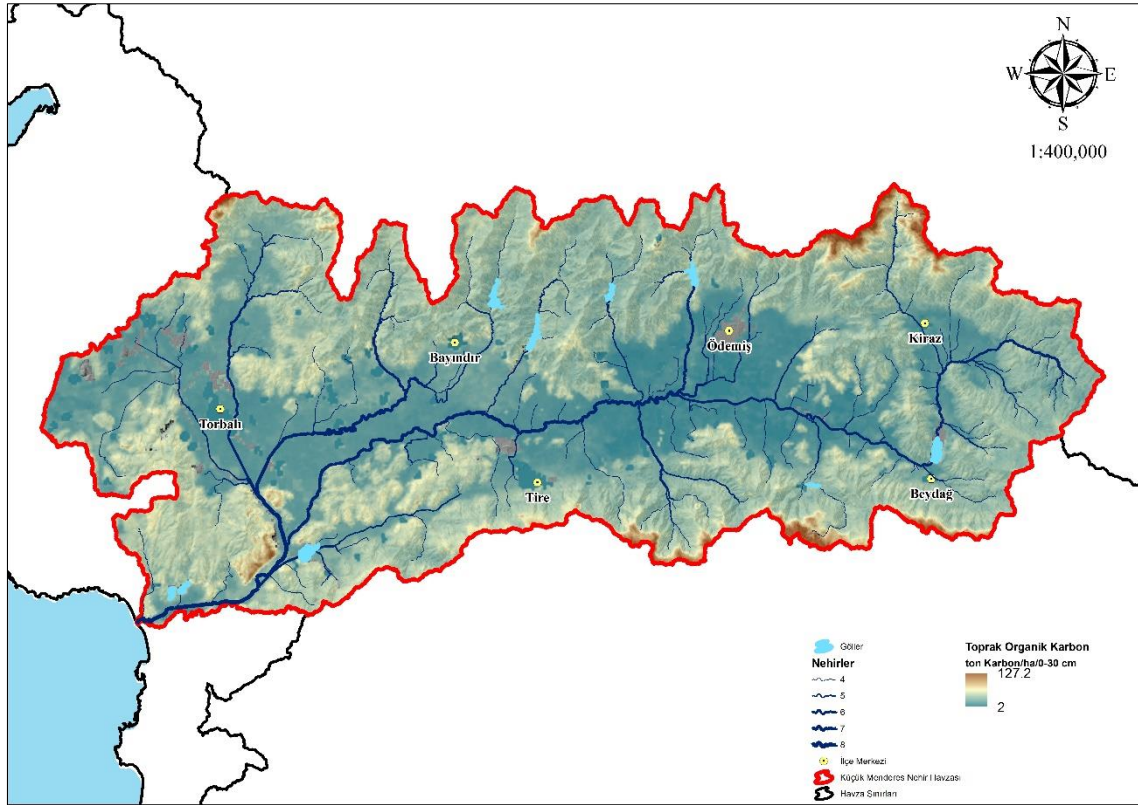


Şekil 4.9. Kizilirmaci Nehri Havzası hidrolojik toprak grupları haritası



Şekil 4.10. Kizilirmaci Nehri Havzası yüzeysel akış eğri numarası haritası

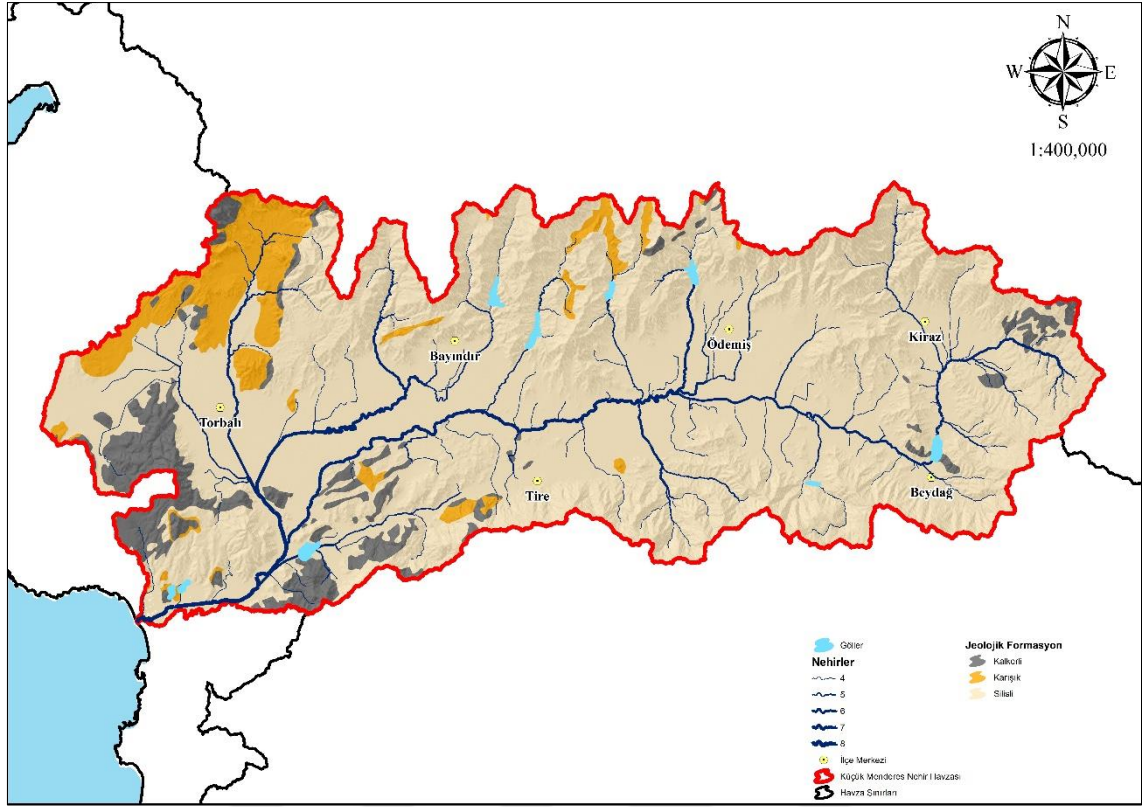
Arazi kullanımı kapsamında, toprak organik karbonu (TOK) haritası Küçük Menderes Nehir Havzası sınırları içerisinde 2-127 ton karbon/ha/0-30 cm olarak değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 4.11). TOK haritası incelendiğinde ova tabanından yüksek rakımlara çıkıldıkça değerlerin arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.11. *Küçük Menderes Nehir Havzası toprak organik karbon haritası*

4.1.4. Jeolojik formasyon

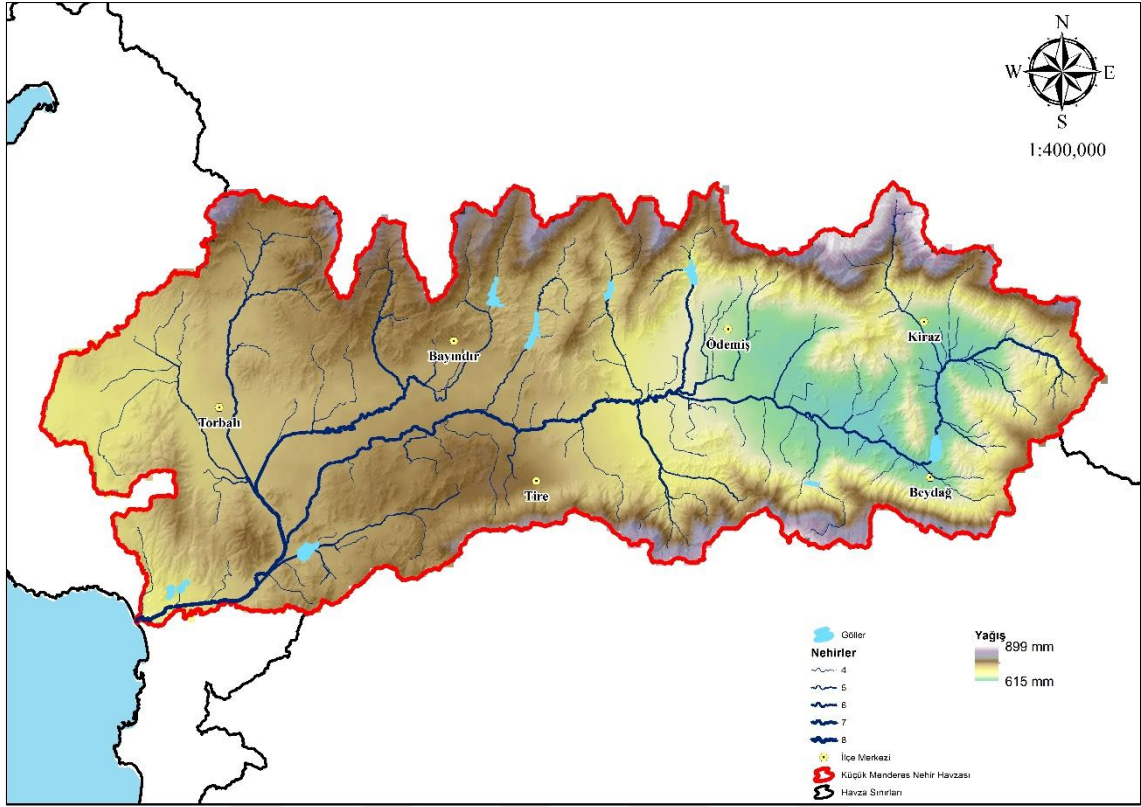
Küçük Menderes Nehir Havzası yaklaşık %87 oranında silisli yapıdaki formasyonlardan oluşmaktadır. Havzanın kuzeybatısında %6 oranında karışık formasyonlar ve güneybatısında %7 oranında kalkerli jeolojik yapılar görülmektedir (Şekil 4.12).



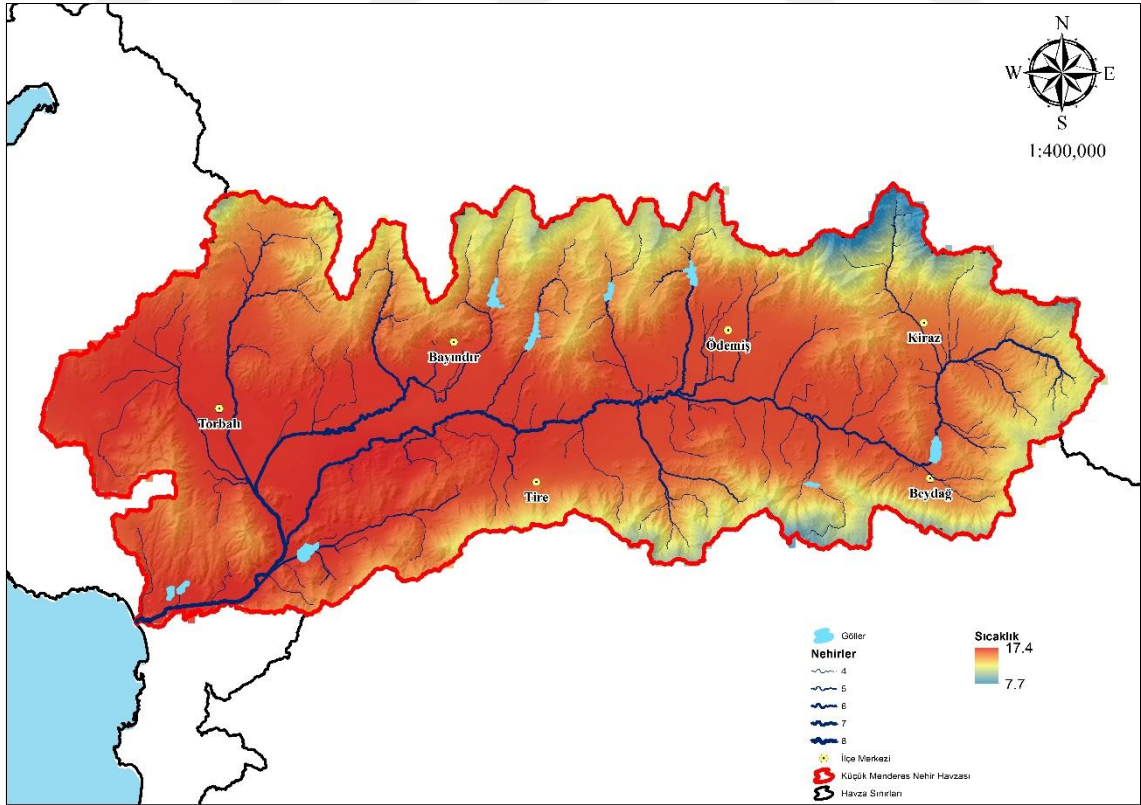
Şekil 4.12. Küçük Menderes Nehir Havzası sınıflandırılmış jeolojik formasyon haritası

4.1.5. İklim

Küçük Menderes Nehir Havzası'nda; yaz aylarının sıcak ve kurak geçtiği, ilkbahar ve kış aylarının ise ılık olup yağışların yağmur şeklinde gözlendiği Akdeniz iklimi hakimdir. Kıyı kuşağında, kar yağışı ve don olayları nadir olarak görülür. Yüksek kesimlerde kışlar karlı ve soğuk geçer. Havzada genel olarak kuraklık fazla değildir. Yarı nemli kuşakta yer alan Küçük Menderes Nehri Havzası sınırının doğusu ve güneydoğusunun toplam yağış miktarı, bölgenin diğer kısmından daha fazladır. İzmir'in doğusunda Torbalı-Bayındır'dan itibaren Küçük Menderes Ovasını içine alan bölümde toplam yağış miktarı havzanın diğer bölgelerine göre fazlalık gösterir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2016). Havzaya ait uzun yıllar ortalama yağış değerleri Şekil 4.13'te görüldüğü üzere, 615 - 819 mm arasında değişmektedir. Uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri ise 15.7°C olarak değerlendirilmektedir. Havzanın yüksek kesimlerinde 7°C'den, Küçük Menderes Nehri'nin mansaplandığı düşük kotlara doğru artan bir değerle yaklaşık 17°C'leri bulmaktadır. Küçük Menderes Nehir Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık haritası Şekil 4.14'te yer almaktadır.

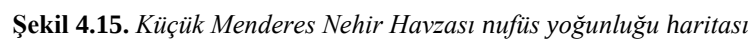


Şekil 4.13. Küçük Menderes Nehir Havzası uzun yıllar ortalama yağış haritası

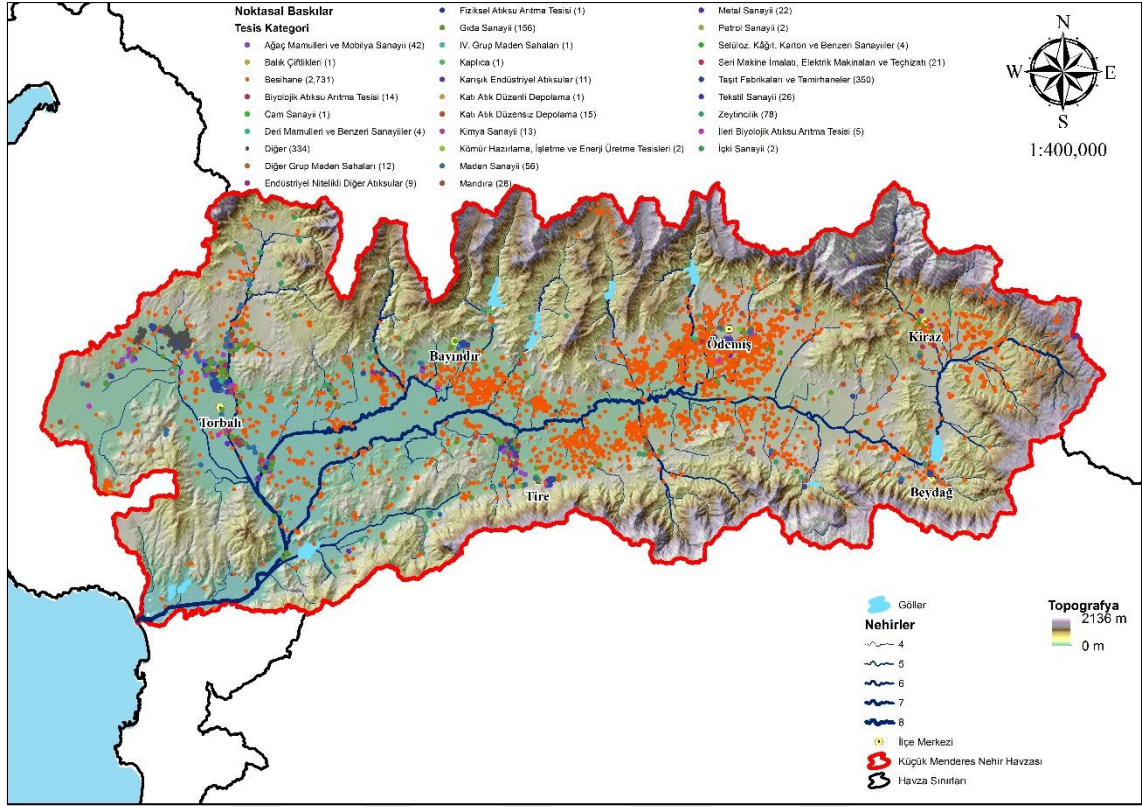


Şekil 4.14. Küçük Menderes Nehir Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık haritası

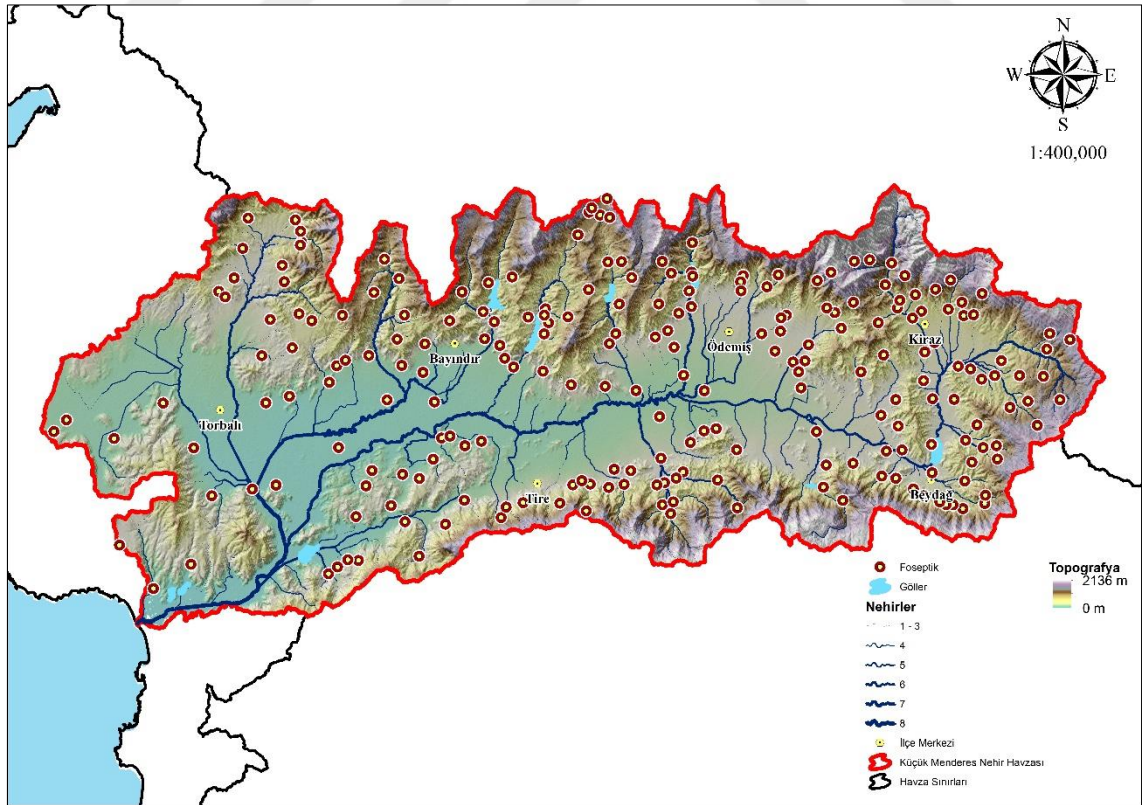
Küçük Menderes Nehir Havzası, sınırları içerisinde kalan İzmir İli'nin ilçelerinde yaşayan yaklaşık 470.000 kişilik nüfus barındırmaktadır. Söz konusu nüfusun, mekânsal dağılımı Şekil 4.15 üzerinden inceleyebilmekte olup Ödemiş, Tire ve Torbalı ilçe merkezlerinin bulunduğu bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir.



81



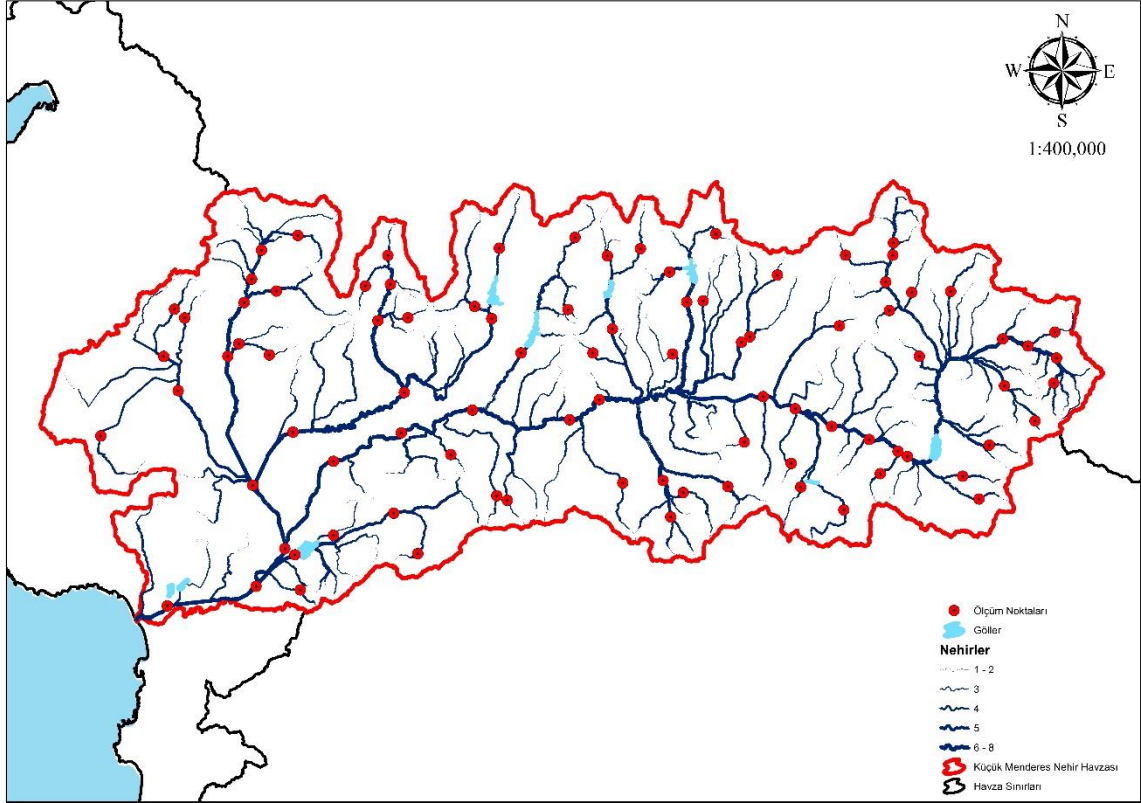
Şekil 4.16. Küçük Menderes Nehir Havzası tesis haritası



Şekil 4.17. Küçük Menderes Nehir Havzası foseptik haritası

4.1.7. Su kalitesi ölçüm verileri

Havzada gerçekleştirilen izleme çalışmasında; çözünmüş oksijen, su sıcaklığı, pH, tuzluluk, iletkenlik, klorür ve alkalinite parametreleri 90 noktada ölçümlenmiştir. Söz konusu ölçüm noktalarının nehir ağı üzerinde dağılımına ilişkin harita Şekil 4.18’de verilmektedir.



Şekil 4.18. Küçük Menderes Nehir Havzası ölçüm noktaları

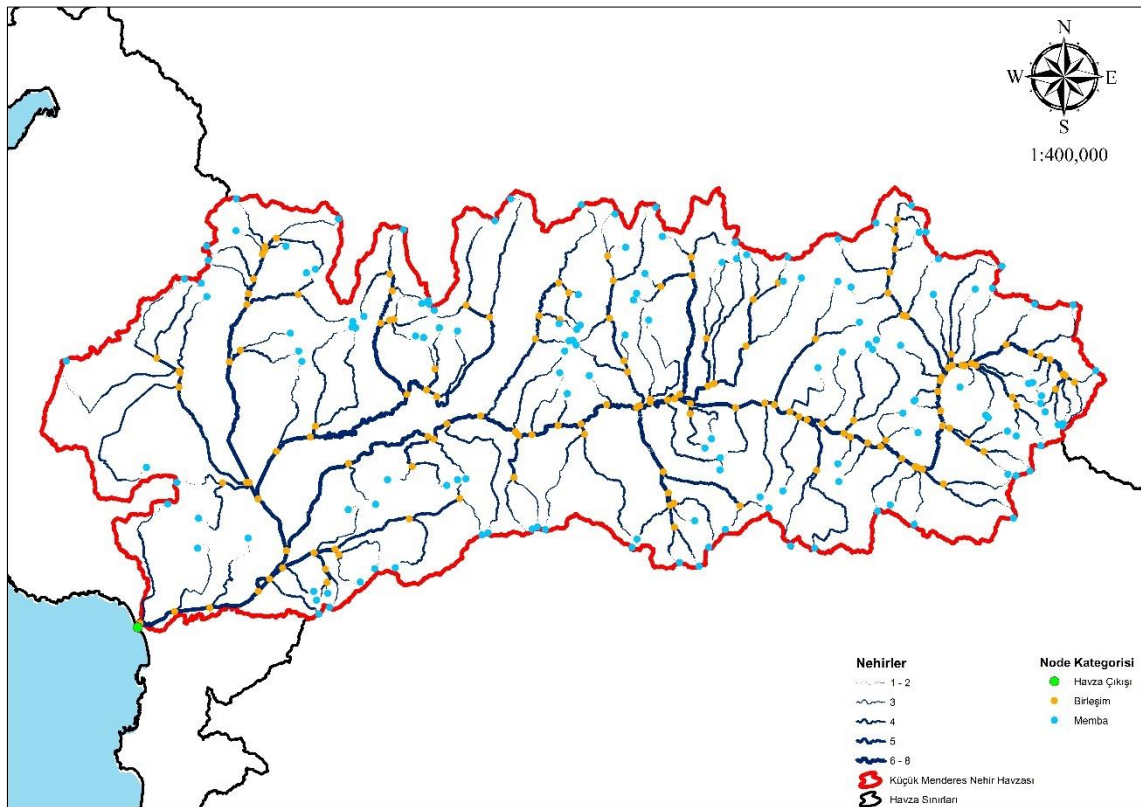
4.1.8. Mekânsal nehir ağı veri seti

Küçük Menderes Nehir Havzasına ilişkin temin edilen nehir, göl ve sayısal yükseklik modeli verileri kullanılarak mekânsal nehir ağı veri seti Şekil 3.3’te verilen metodoloji çerçevesinde üretilmiştir.

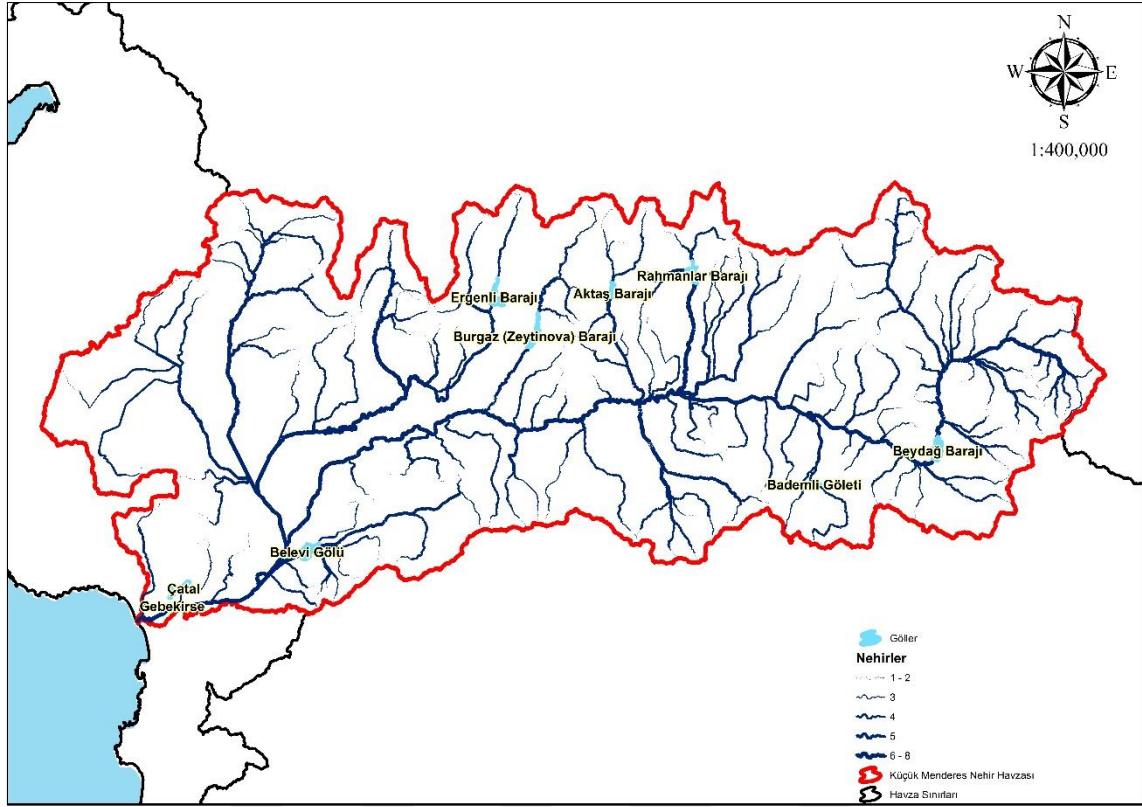
Hidrografik nehir ağı verileri, strahler derecelendirme sisteminde 4’ün üzeri ve 4’e bağlanan en uzun memba kolunu oluşturan 1,2 ve 3 dereceli nehir segmentlerinin dahil edilmesinden oluşturulmuştur. Bu haliyle, nehir ağı 297 adet nehir segmenti içermektedir. 149 adet memba, 148 adet birleşim ve 1 adet havza çıkış noktası bulunmaktadır (Şekil 4.19). Toplam nehir ağı uzunluğu 2044 km olmakla beraber

Küçük Menderes Nehrinin en mansabından havza çıkışına kadar oluşan kolun uzunluğu 145 km olarak hesaplanmıştır.

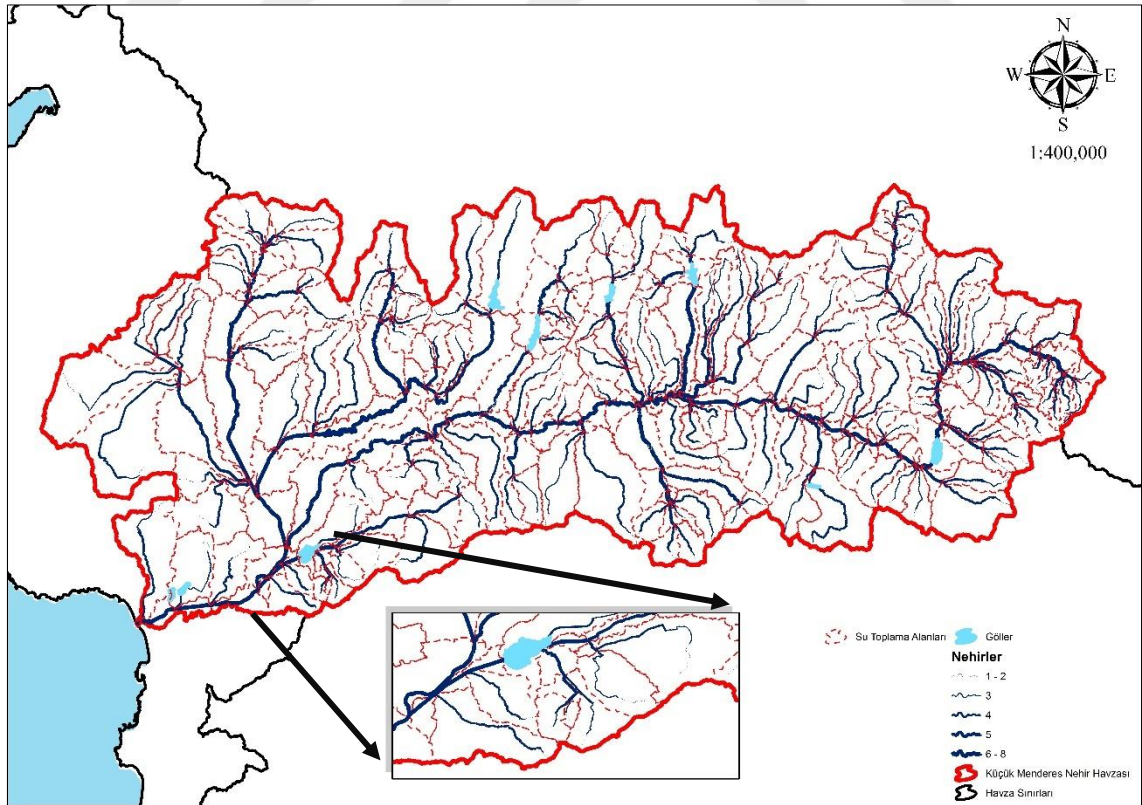
Küçük Menderes Nehir Havzası nehir ağı üzerinde yer alan işletmede ve inşa halinde 9 adet durgun sular verisi mekânsal nehir ağı veri setine dahil edilmiştir (Şekil 4.20). 297 adet nehir segmenti ve 9 adet göl verisi kullanılarak Küçük Menderes Nehir Ağı için 295 adet su toplama alanı üretilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.19. *Küçük Menderes Nehir Havzası hidrografik nehir ağı haritası*

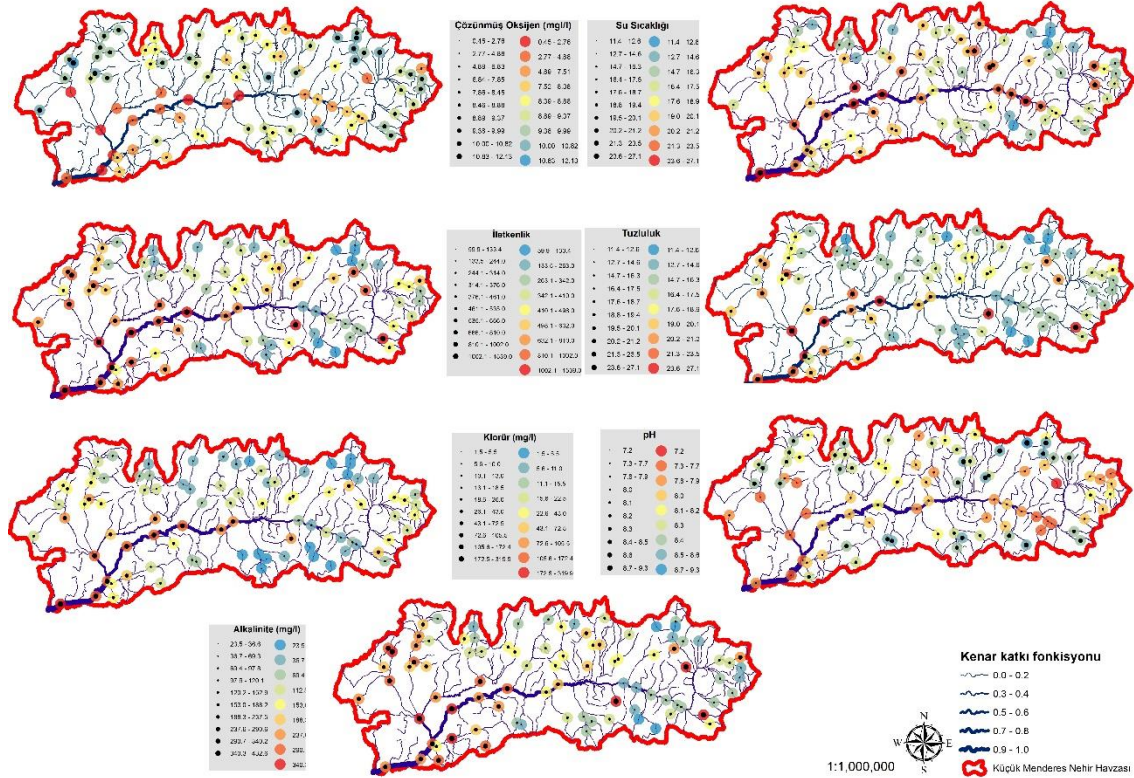


Şekil 4.20. Kucuk Menderes Nehir Havzası hidrografik durgun sular haritası



Şekil 4.21. Kucuk Menderes Nehir Havzası su toplama alanları haritası

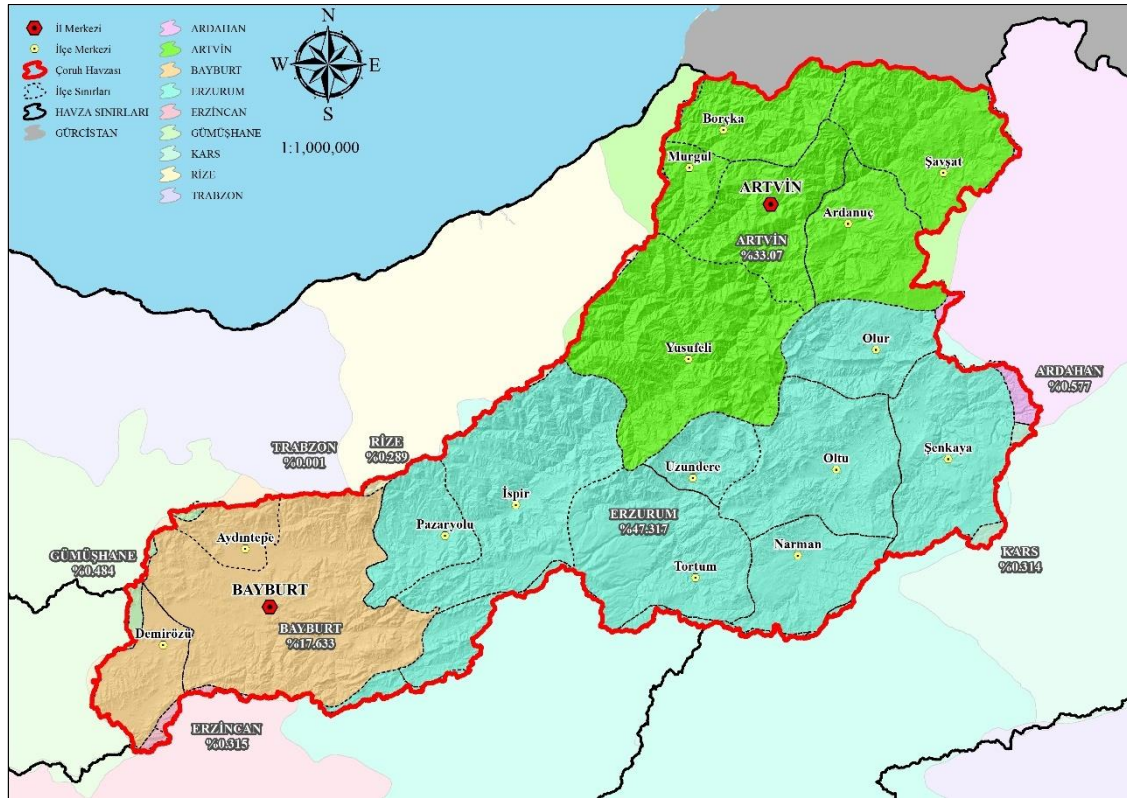
Küçük Menderes Nehir Ağı üzerinde yer alan 90 adet noktadan alınan su kalitesi parametrelerine (su sıcaklığı, çözülmüş oksijen, iletkenlik, tuzluluk, klorür, pH, alkalinite) ilişkin ölçüm sonuçları tematik haritalar halinde oluşturulmuştur (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Küçük Menderes Nehir Havzası su kalitesi parametrelerine ait tematik haritalar

4.2. Çoruh Havzası

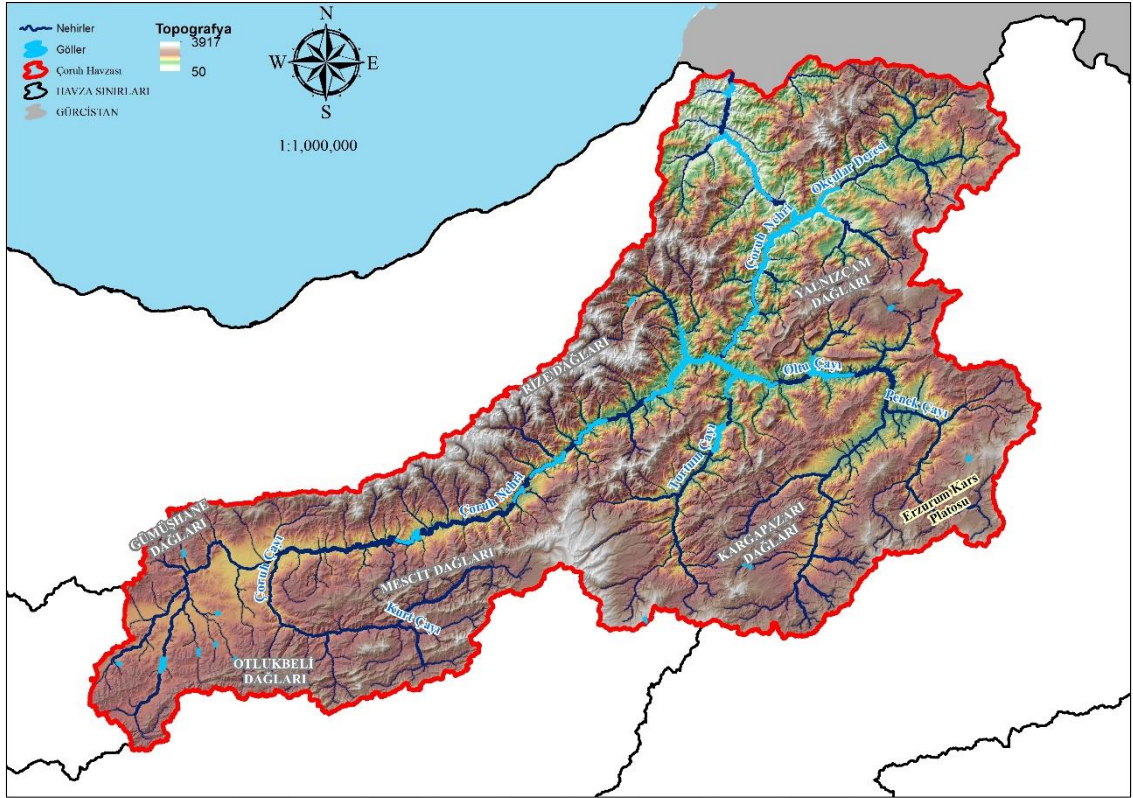
Çoruh Havzası; Türkiye'nin kuzeydoğusunda, Karadeniz'in güneyinde ve komşu ülke Gürcistan sınırına bitişik bölgede yer almakta olup, yaklaşık 20.257 km² alanı kapsamaktadır. Kapladığı alan büyüklüğüyle havza, Türkiye'nin yaklaşık %2,6'sını oluşturmaktadır. Çoruh Havzası sınırları içerisine düşen alanları bakımından büyükten küçüğe sıralı olarak; Erzurum, Artvin, Bayburt başta olmak üzere Kars, Erzincan, Gümüşhane, Ardahan, Rize ve Trabzon illeri bulunmaktadır (Şekil 4.23).



4.2.1. Yerüstü su kaynakları

Havzaya adını veren Çoruh Nehri, Kuzeydoğu Anadolu'nun en büyük akarsularından biridir. Erzurum ili sınırları içerisinde bulunan Mescit Dağları'ndan doğmakta olup Bayburt ili sınırları içerisinde Kurt Çayı ile birleşerek Masat Çayı ismini aldıktan sonra Bayburt il merkezinden sonra Bayburt ovalarından gelen Büyükçay ile birleşip Çoruh ismini alır. Erzurum ili sınırları içerisinde geçtikten sonra Artvin ili yönünde akar ve yaklaşık 50 m kotundan Türkiye sınırlarını terk ederek Gürcistan sınırları içerisinde Batum şehrinden Karadeniz'e dökülür. Kaynağından denize döküldüğü yere kadar uzunluğu 466 km'dir. Türkiye topraklarında bulunan kısmı 442 km iken, Gürcistan topraklarında kalan kısmı ise 24 km'dir (Ünsal, 2006).

Çoruh Nehir Ağını oluşturan birçok nehir kolu, havzanın yaklaşık 3.000 m - 600 m kotları arasında doğarak Çoruh Nehri'ni beslemektedir. Ayrıca, nehir ağı üzerinde eğimin hızlı şekilde değişiklik göstermesi ve tarımsal su kullanımlarının çok az olması sebebiyle havza; hem baraj hem de nehir tipi santraller için en uygun havzalardan bir tanesi olarak kabul edilmektedir (Fakıoğlu ve Kağnıcıoğlu, 2009).



Şekil 4.24. Çoruh Havzası yerüstü su kaynakları

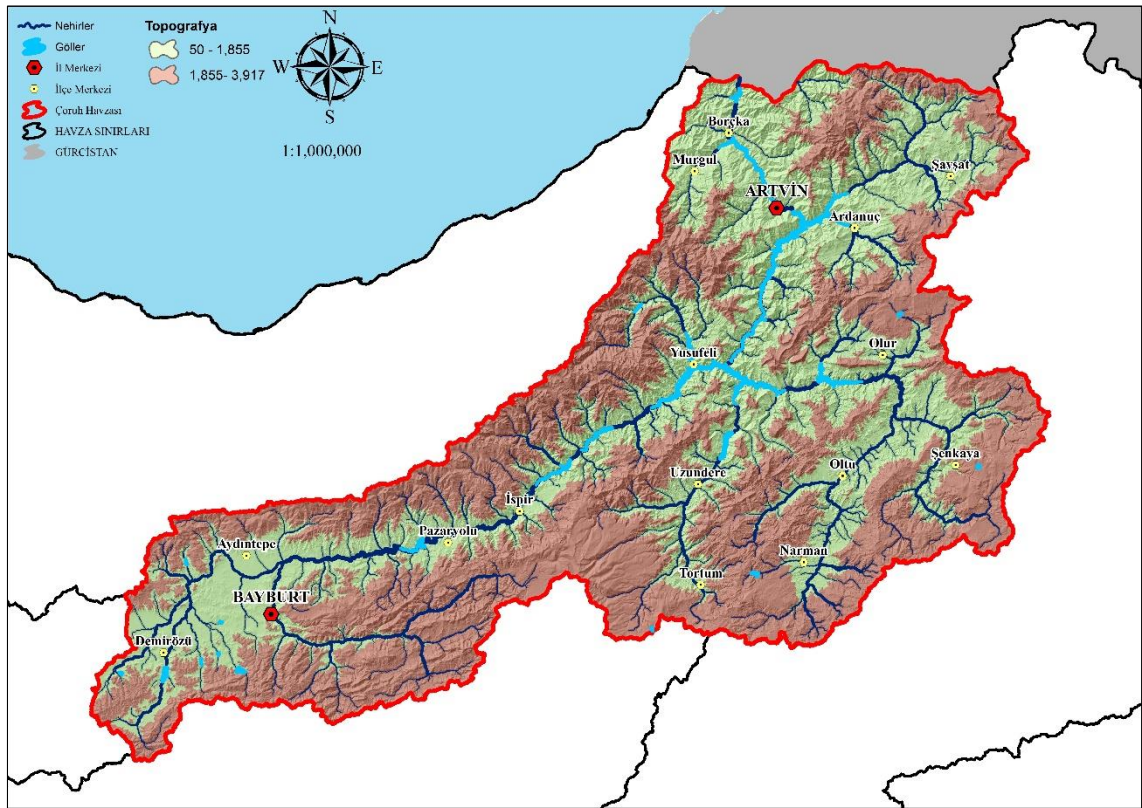
Çoruh Havzası nehir ağı, strahler derecelendirme yöntemine göre Çoruh Nehri'nin Türkiye'yi terk ettiği nokta itibariyle 9 dereceye ulaşmaktadır. Sayısallaştırılan tüm nehir ağı yaklaşık 45.500 km'lik bir uzunluğa sahip olmaktadır. Su kaynaklarının haritalanması kapsamında, strahler 4 ve üzeri dereceler nehir ağı olarak kabul edilmiş olup bu haliyle yaklaşık 4.580 km'lik bir uzunluğa sahiptir (Şekil 4.24).

Havzanın en önemli doğal gölü olan Tortum Gölü, Tortum Çayı'nın kuzeybatısındaki Kemerlidağ'dan inen bir heyelan kütesinin Tortum Çayı'nın vadisinde doğal bir set oluşturarak suların birikmesi ile meydana gelmiştir. Bununla birlikte, havzada Yusufeli, Deriner, Borçka başta olmak üzere 30 hektarın üzerinde 23 baraj ve gölet işletme, inşa ve proje halinde bulunmaktadır.

4.2.2. Topografya

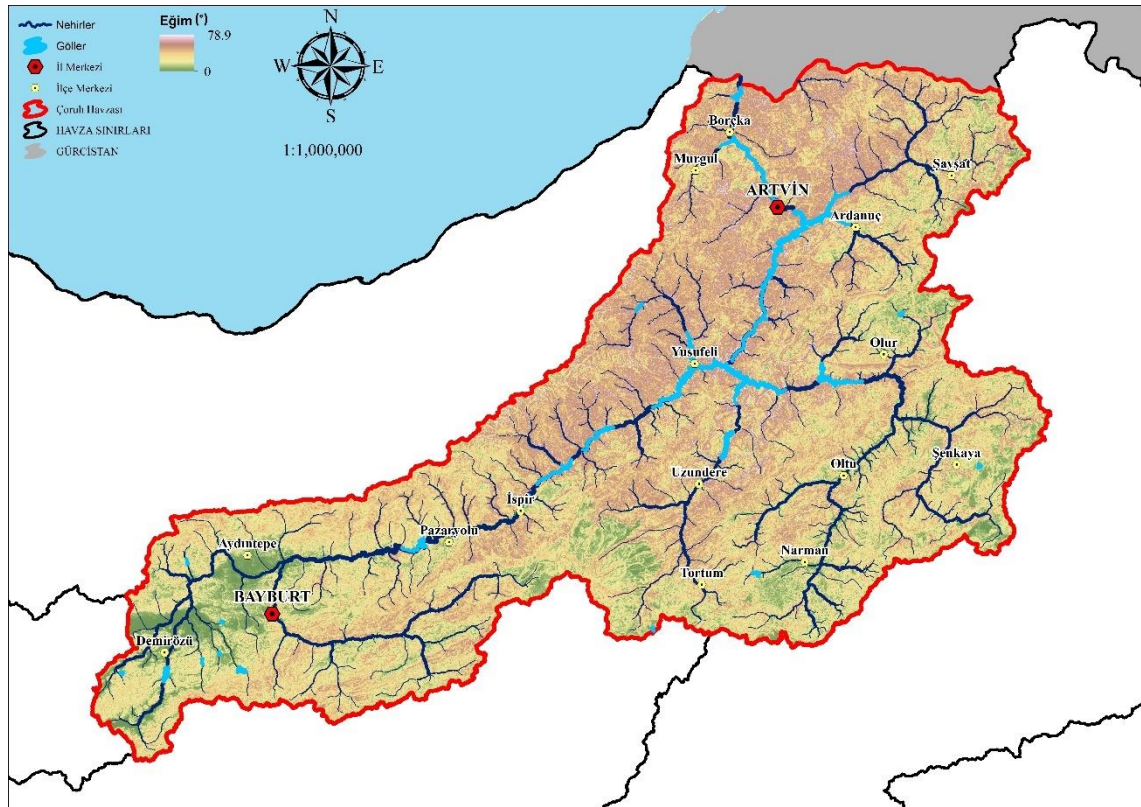
Çoruh Havzası, 50 – 4000 m arasında değişen bir topoğrafyaya sahiptir. Havza içinde yerleşimlerin bulunduğu alanlar büyük ölçüde 2.000 metreye kadar olan rakımda bulunmakta olup 2000 m üstündeki rakımlarda yerleşimlerin sayısının önemli oranda azaldığı görülmektedir. Havza genelinde bakıldığında, 1.800-2.000 metreye kadar olan topraklar havzanın %41'ini oluştururken 2.000 metre üzerindeki kısım ise havzanın

%59'unu oluşturmaktadır (Şekil 4.25). Diğer bir tanım ile yerleşimler için uygun olmayan yükseklikler aslında havzanın yüzey alanı açısından önemli büyüklükteki bir kısmını kaplamakta olup, bu sarp topografyada yerleşimler, bu nedenle çok daha sınırlı yüzey alanlarına sıkışmış durumdadır.



Şekil 4.25. Çoruh Havzası sınıflandırılmış yükselti haritası

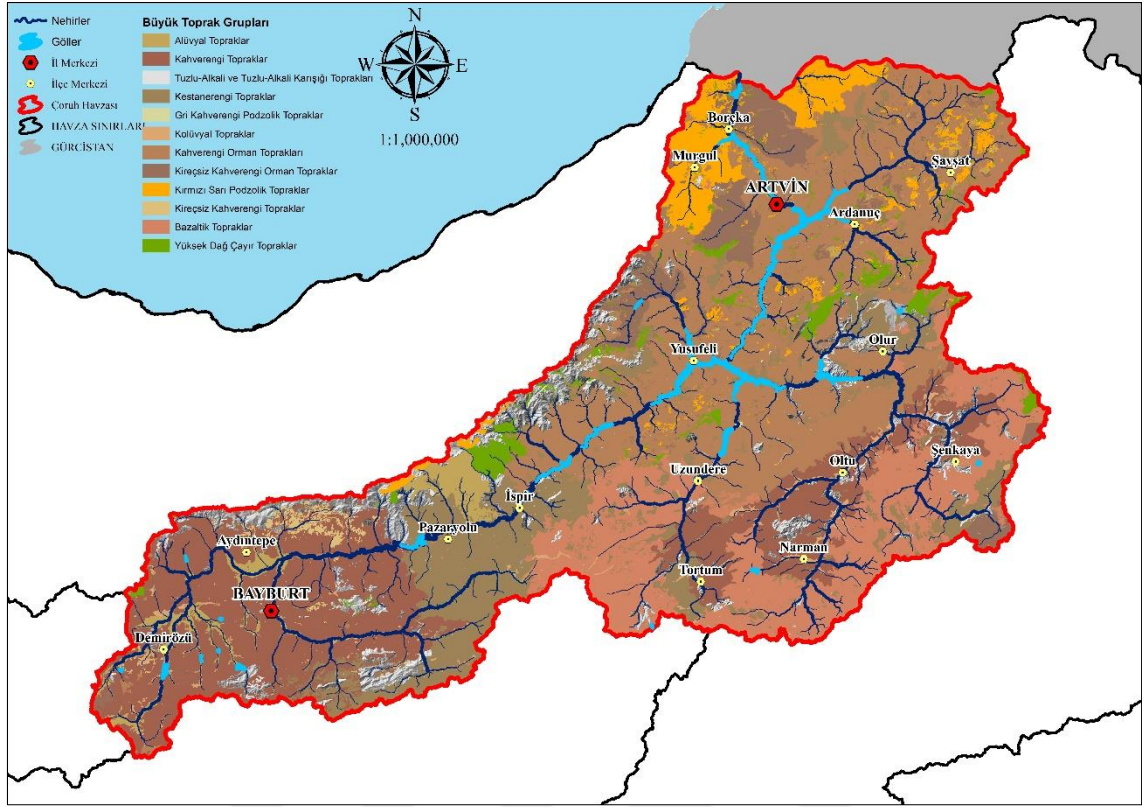
Bayburt ovasının yer aldığı güneybatı coğrafyası, havzanın en düzlük alanlarına sahiptir. Bununla birlikte, güneydoğu yönünde yer alan Erzurum-Kars platosu da havzanın düzlük alanlarını oluşturmaktadır. Genel olarak sarp bir yapıya sahip Çoruh Havzasında 79 dereceye varan eğimli alanlar bulunmaktadır. Özellikle, Erzurum'un İspir ilçesinden kuzeydoğu yönünde hareket etmekte olan Çoruh Nehri, Artvin ili içerisinde havzanın en dik yamaçları arasından Karadeniz'e doğru mansaplanmaktadır (Şekil 4.26).



4.2.3. Arazi kullanımı

Çoruh Havzası, 2018 Corine arazi örtü verileri kullanılarak ikinci seviyede sınıflandırılmıştır. Bu kapsamda, 20.257 km² havza alanının yaklaşık %35’ini maki ve otsu bitkilerin oluşturduğu kapsamaktadır. Bunu sırasıyla, %25’lik bir oranla bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar, %20’lik kısmını ormanlar, %17’lik kısmını tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü alanlar, %1,5’luk kısmını meralar ve kalan kısmını ise kentsel alanlar ile maden/inşaat sahaları oluşturmaktadır (Şekil 4.27).

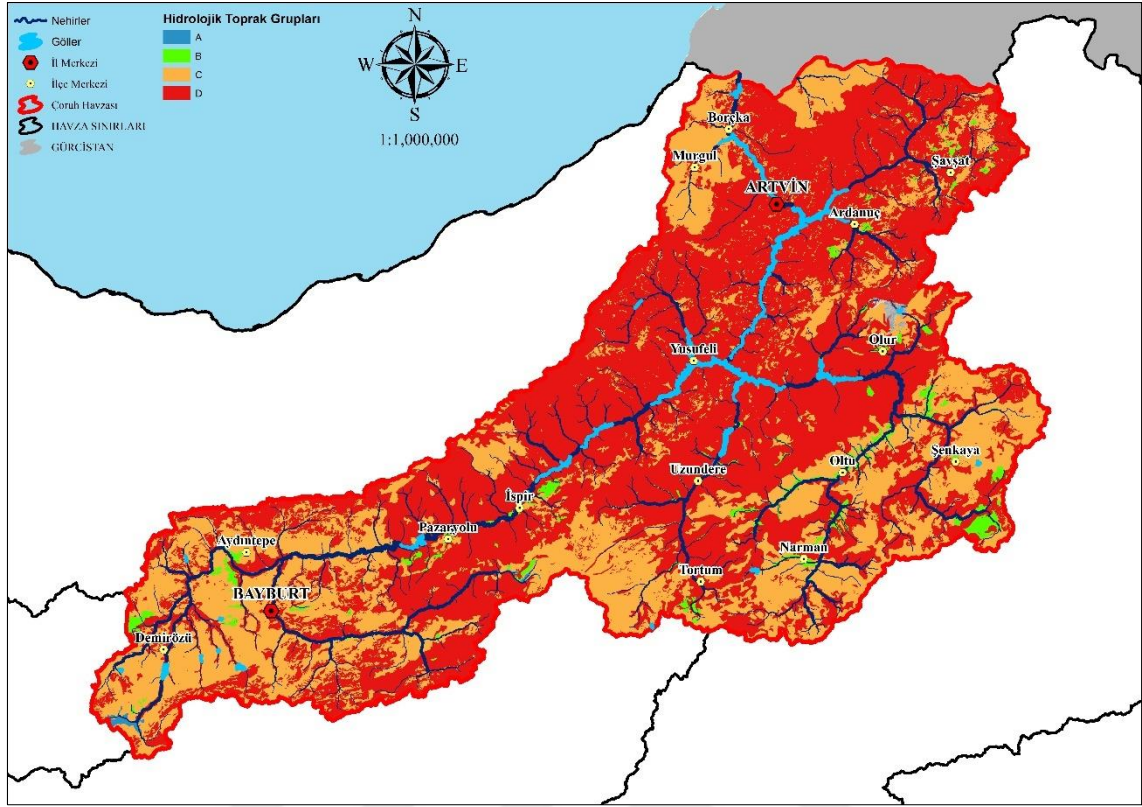
Arazi kullanımının havza içerisindeki dağılımı mekânsal olarak değerlendirildiğinde, tarımsal faaliyetlerin yerleşim merkezleri çevresinde olmak üzere başta Bayburt ilinde, Narman ve Şavşat ilçelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ormanlık alanlar ise Artvin ili ve çevresinde yüksek rakıma sahip alanlarda yoğunlaşmaktadır.



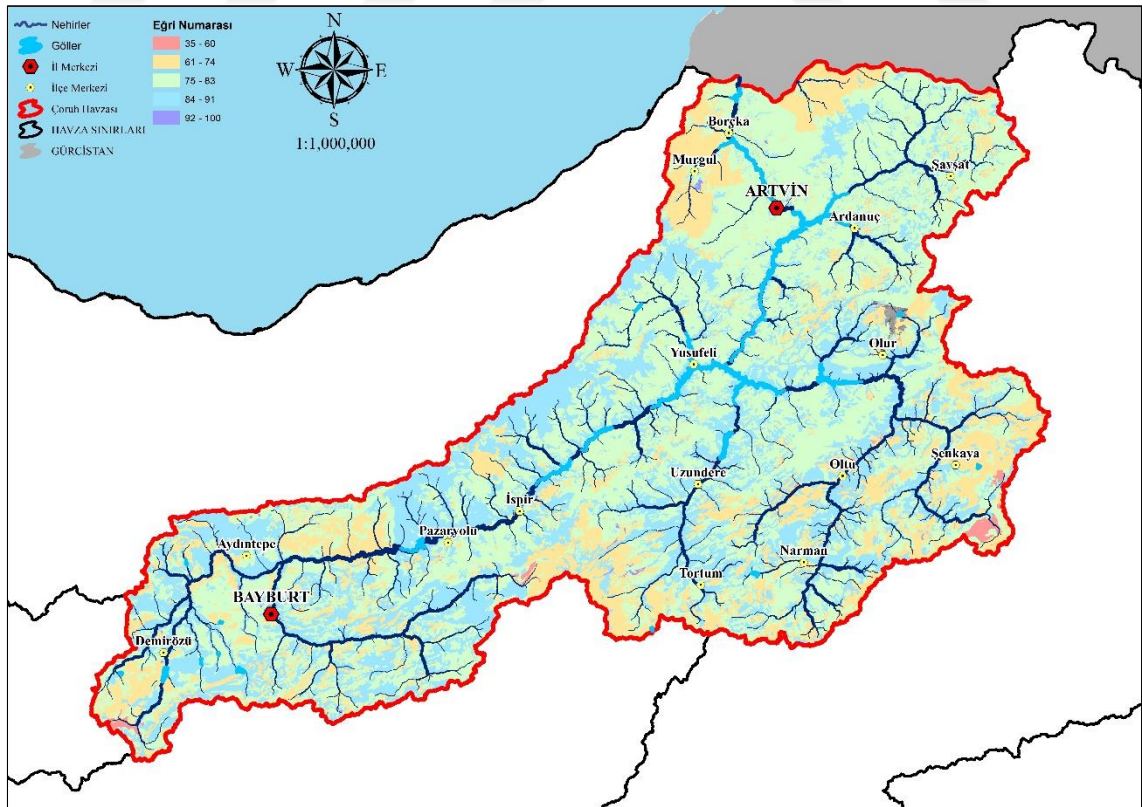
Şekil 4.28. Çoruh Havzası büyük toprak grupları haritası

Şekil 4.28 ve Tablo 4.4’te verildiği üzere Çoruh Havzası’nın büyük çoğunluğunu kahverengi orman toprakları, kahverengi topraklar, kestanerengi topraklar ve bazaltik topraklar oluşturmaktadır. Havzadaki mekânsal dağılım açısından, bazaltik toprakların Erzurum iline bağlı ilçelerin olduğu alan içerisinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Büyük toprak gruplarına bağlı hidrolojik geçirimsizlik verileri kullanılarak Çoruh Havzası için üretilen Hidrolojik Toprak Grubu Sınıflarının dağılımına ilişkin harita Şekil 4.29’da verilmektedir. Bununla birlikte, Tablo 4.2’de yer alan arazi kullanımı ve hidrolojik toprak grubu sınıfları dikkate alınarak Çoruh Havzasında oluşturulan eğri numaraları 35 ile 100 değerleri arasında değişmekte olup ortalama 80 değerini almaktadır (Şekil 4.30).

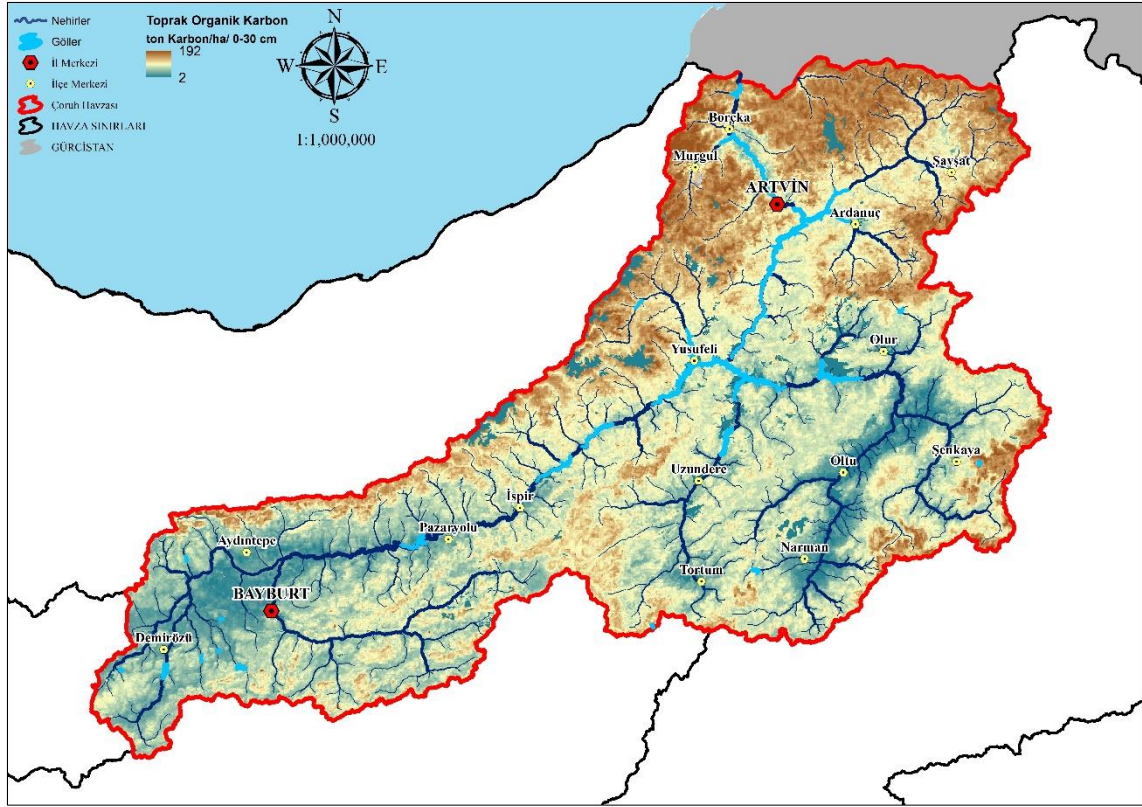


Şekil 4.29. Çoruh Havzası hidrolojik toprak grupları haritası



Şekil 4.30. Çoruh Havzası yüzeysel akış eğri numarası haritası

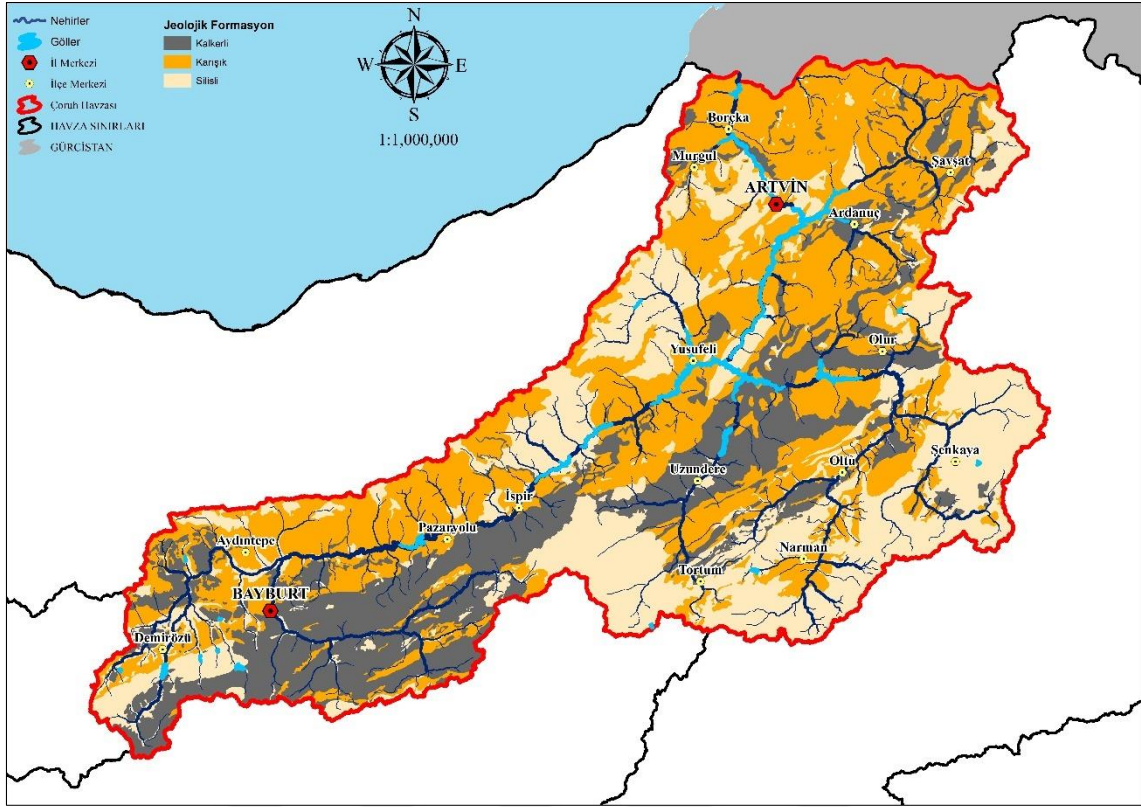
Çoruh Havzası sınırları içerisinde TOK değerlerinin dağılımı 2 - 192 ton karbon/ha/0-30 cm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.31). Membadan mansaba doğru TOK değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.31. Çoruh Havzası toprak karbon haritası

4.2.4. Jeolojik formasyon

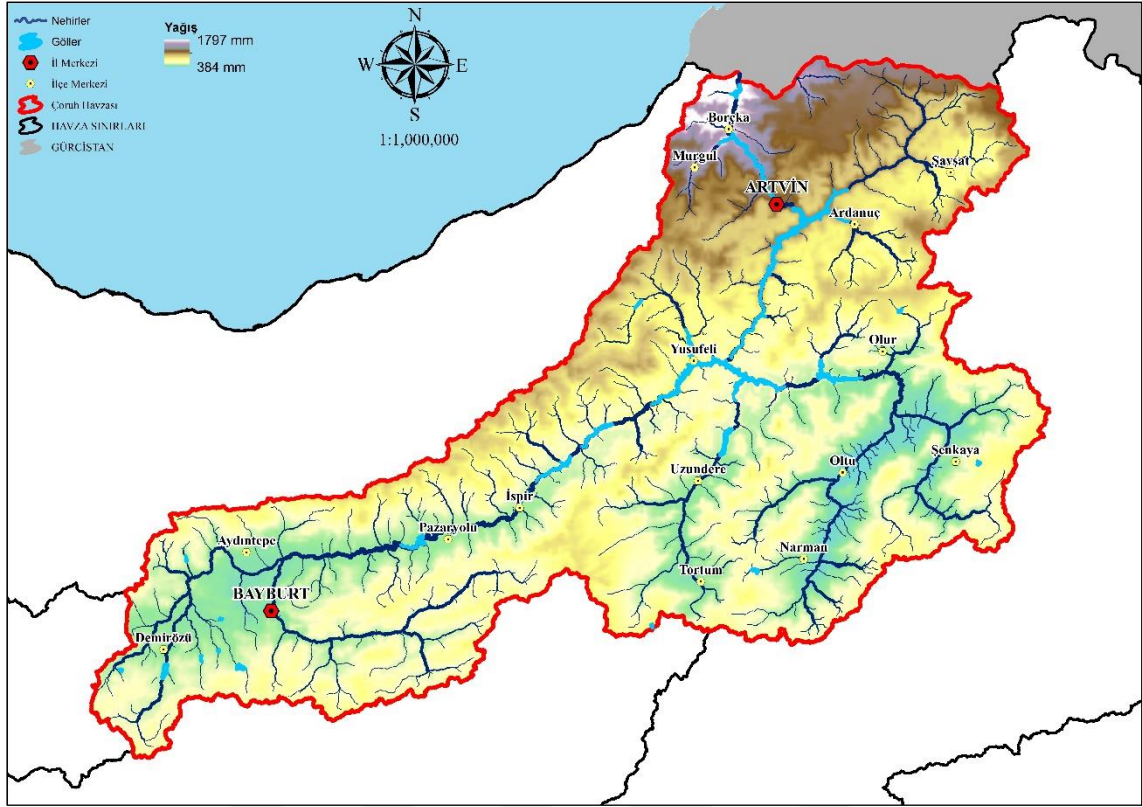
Çoruh Havzası'nda kalkerli yapıdaki formasyonlar, Çoruh Nehri'nin doğduğu Kurt Çayı ve Çoruh Çayı dolaylarında olmakla beraber nehrin sağ sahil kısmında besleyen kolların bulunduğu alanlarda görülmektedir. Havza özelinde, en çok görülen formasyon karışık yapıda %42 olarak, silisli formasyonlar %34 ve kalkerli yapılar %24 olarak görülmektedir (Şekil 4.32).



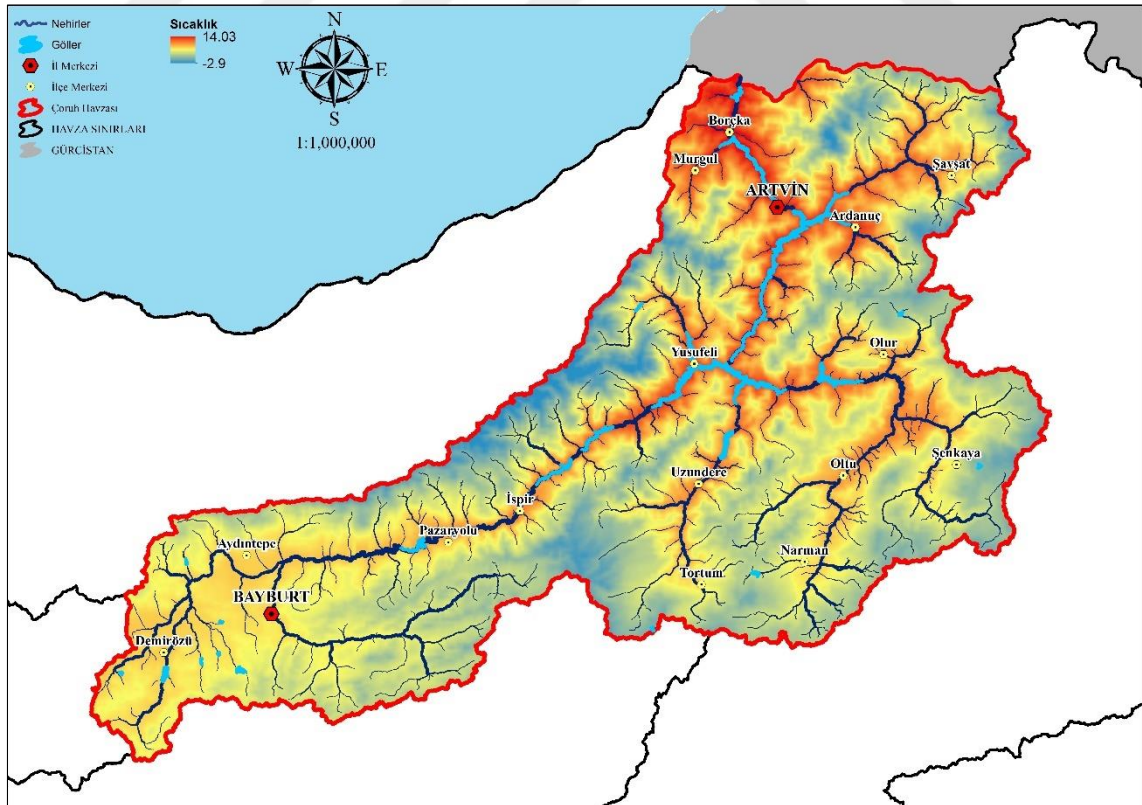
Şekil 4.32. Çoruh Havzası sınıflandırılmış jeolojik formasyon haritası

4.2.5. İklim

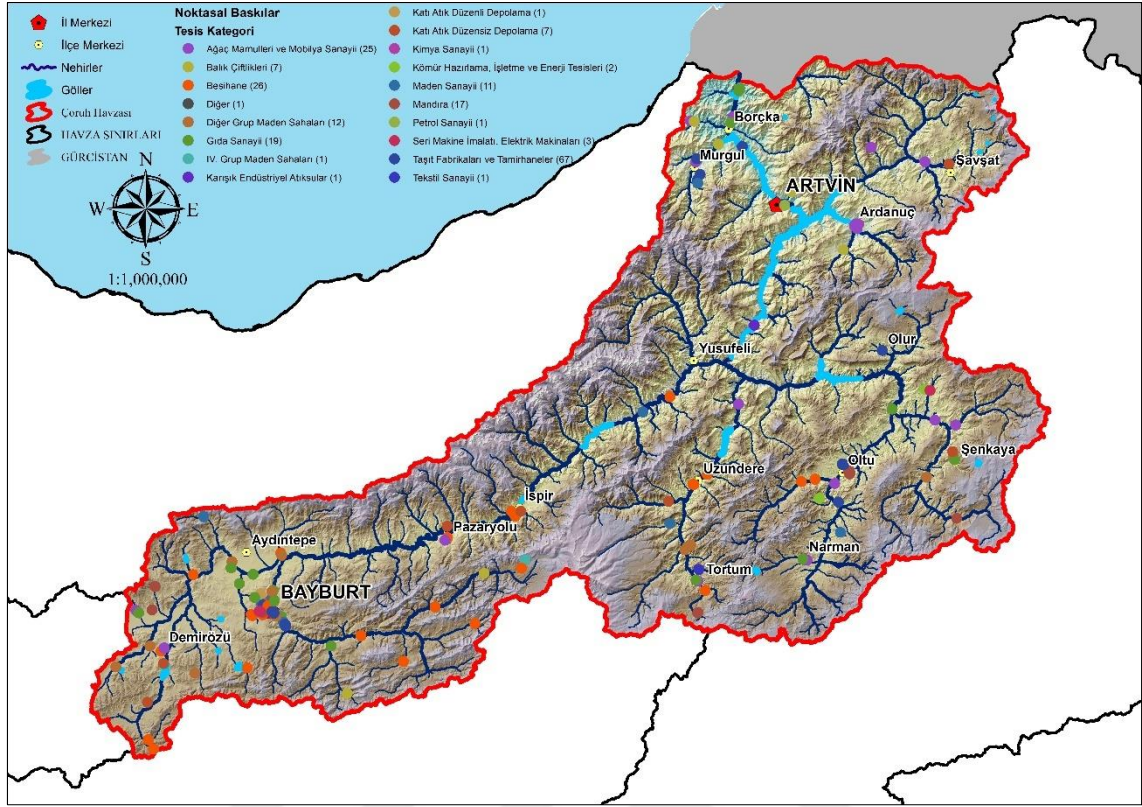
Çoruh Havzası, Doğu Anadolu Bölgesi'nin karasal iklimi ile yükseltileri 4.000 metreye yaklaşan Doğu Karadeniz dağları ile ayrılan Karadeniz ardı iklimi arasında kalmakta olduğundan geçiş bölgesi iklim özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, Çoruh Havzası'nın yağış ortalamaları, kıyı bölgelerine göre çok düşük olmakla beraber yıllık ortalama yağış yüksekliği 680 mm; havza su potansiyeli ise yıllık yaklaşık 6,5 milyar m³'tür. Yıllık ortalama yağış genellikle, havzanın membasından mansabına doğru gidildikçe artmaktadır. Çoruh Nehri akımlarında kar erimesinin etkisi de yüksek kesimlerdeki yağışların kar olarak düşmesinden dolayı büyüktür. Şekil 4.33'te yer alan haritada da görüldüğü üzere, yağış değerleri 384 - 1787 mm arasında değişmektedir. Havzanın uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri 5.8°C olarak değerlendirilmektedir. Havzanın yüksek kesimlerinde -3°C'den, Çoruh Nehri'nin mansaplandığı 50 m kotuna doğru artan bir değerle yaklaşık 14°C'leri bulmaktadır. Mekânsal açıdan yükseklikle yakın bir ilişkisi bulunan sıcaklık ve yağış değerleri topografyayla bağlı bir ilişki göstermektedir. Çoruh Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık haritası Şekil 4.34'te yer almaktadır.



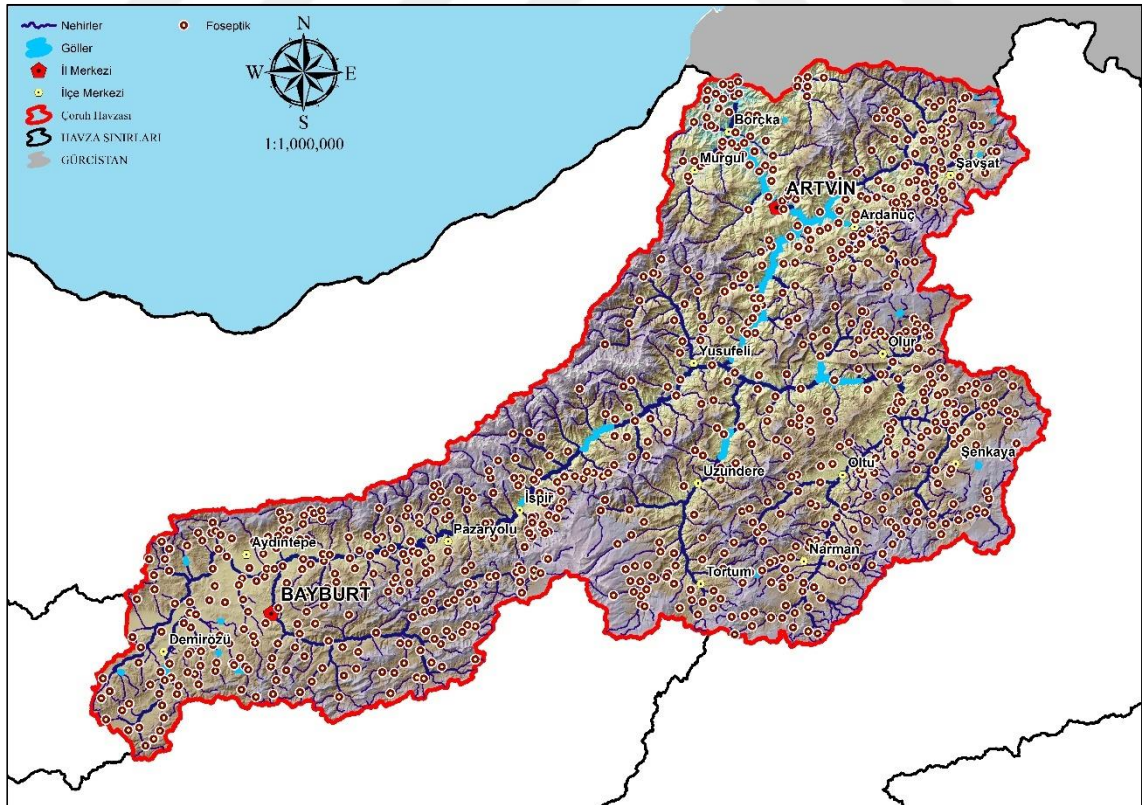
Şekil 4.33. Çoruh Havzası uzun yıllar ortalama yağış haritası



Şekil 4.34. Çoruh Havzası uzun yıllar ortalama sıcaklık haritası



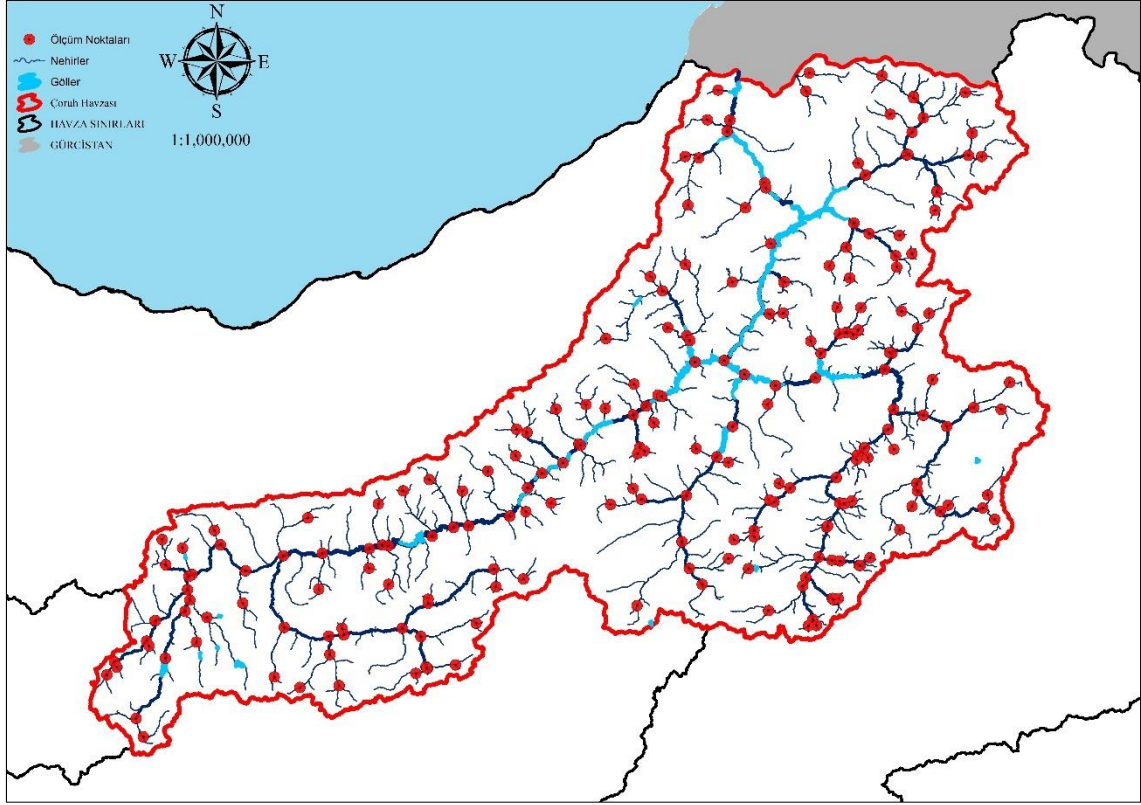
Şekil 4.36. Çoruh Havzası tesis haritası



Şekil 4.37. Çoruh Havzası foseptik haritası

4.2.7. Su kalitesi ölçüm verileri

Çoruh Havzasında gerçekleştirilen izleme çalışmasında; çözünmüş oksijen, su sıcaklığı, pH, tuzluluk, iletkenlik, klorür ve alkalinite parametreleri 224 noktada ölçümlenmiştir. Söz konusu ölçüm noktalarına ilişkin harita Şekil 4.17’de verilmektedir.



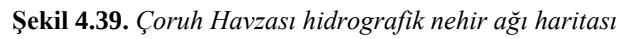
Şekil 4.38. Çoruh Havzası ölçüm noktaları

4.2.8. Mekânsal nehir ağı veri seti

Çoruh Havzasına ilişkin temin edilen nehir, göl ve sayısal yükseklik modeli verileri kullanılarak mekânsal nehir ağı veri seti Şekil 3.3’te verilen metodoloji çerçevesinde üretilmiştir.

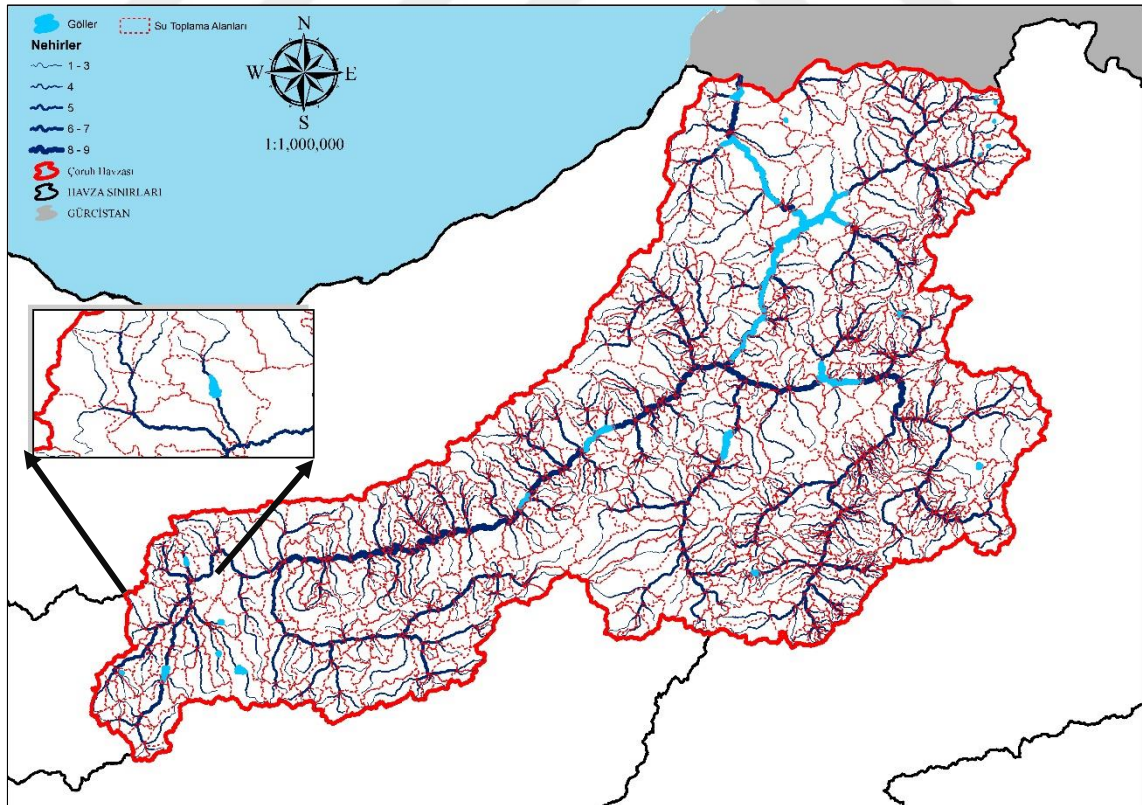
Hidrografik nehir ağı verileri, strahler derecelendirme sisteminde 4’ün üzeri ve 4’e bağlanan en uzun memba kolunu oluşturan 1, 2 ve 3 dereceli nehir segmentlerinin dahil edilmesinden oluşturulmuştur. Bu haliyle, nehir ağı 1030 adet nehir segmenti içermektedir. 516 adet memba, 514 adet birleşim ve 2 farklı havza çıkış noktası bulunmaktadır (Şekil 4.39). Toplam nehir ağı uzunluğu 6.725 km olmakla beraber

1030 adet nehir segmenti ve 23 adet göl verisi kullanılarak Çoruh Nehir Ağı için 1007 adet su toplama alanı üretilmiştir (Şekil 4.40).



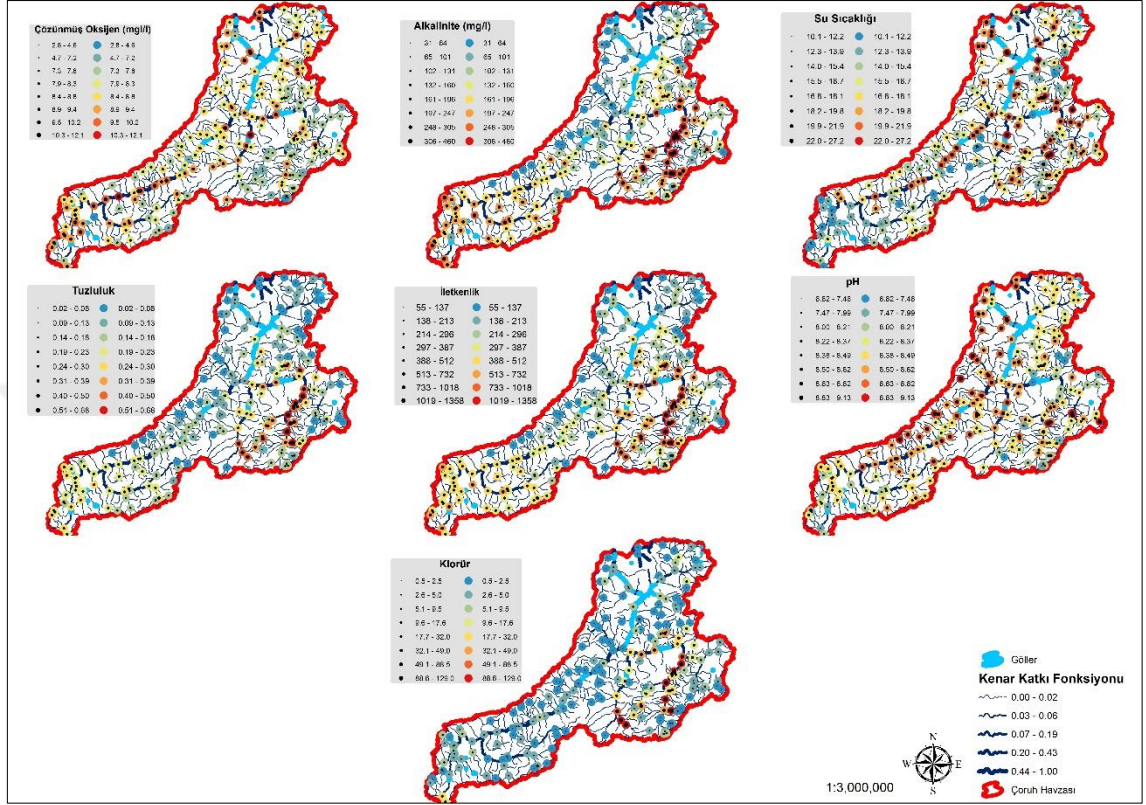


Şekil 4.40. Çoruh Havzası hidrografik durgun sular haritası



Şekil 4.41. Çoruh Havzası su toplama alanları haritası

Çoruh Nehir Ağı üzerinde yer alan 224 adet noktadan alınan su kalitesi parametrelerine (su sıcaklığı, çözülmüş oksijen, iletkenlik, tuzluluk, klorür, pH, alkalinite) ilişkin ölçüm sonuçları tematik haritalar halinde oluşturulmuştur (Şekil 4.42).



Şekil 4.42. Çoruh Havzası Havzası su kalitesi parametrelerine ait tematik haritalar

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında temin edilen sayısal veriler mekânsal analizler ile nehir ağlarında mekânsal istatistik modellerine uygulanabilir .ssn formatına dönüştürülmüştür. Modellenecek su kalitesi parametrelerinin ve ortak değişkenlerin belirlenmesi için öncelikle nehir ağları üzerinde keşifsel mekânsal veri analizleri gerçekleştirilmiştir. İteratif bir süreç içerisinde yapılan değerlendirmeler sonucunda mekânsal modeller oluşturulmuş, modellenecek su kalitesi parametre ve ortak değişkenler belirlenerek uygun modellerin seçimi yapılmıştır. Bahse konu modeller kullanılarak ölçüm bulunmayan kollarda tahminleme gerçekleştirilmiştir. İki farklı çalışma alanı için elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

5.1. Küçük Menderes Nehir Ağı Mekânsal İstatistik Modeli

Küçük Menderes Nehir Ağı üzerinde 90 noktada ölçümü gerçekleştirilen su kalitesi verisi bulunmaktadır. Bu veriler, su sıcaklığı, çözülmüş oksijen, pH, tuzluluk, iletkenlik, klorür ve iletkenlik parametreleridir. Mekânsal istatistik modellerinin temelinde yer alan otokorelasyon, nehir ağı üzerindeki hidrolojik mesafeler belirlenerek her bir parametre için araştırılmıştır.

5.1.1. Hidrolojik mesafe matrisleri

Akış yönü dikkate alınarak topolojik ilişkileri göz önüne alınan hidrolojik sürekliliği sağlanmış dendritik bir ağ yapısına getirilen Küçük Menderes Nehir Ağı üzerindeki ölçüm ve tahmin noktalarına ait hidrolojik mesafe matris hesaplanmıştır. Burada, 90 noktada alınan ölçümler için 90x90'lık hidrolojik mesafe matrisi (Tablo 5.1) ortaya çıkmaktadır. Her bir kenar verisini temsil edecek şekilde konumlandırılan tahmin noktaları için ise 297x297'lik bir matris (Tablo 5.2) oluşmaktadır.

Tablo 5.1. Küçük Menderes Nehir Ağı ölçüm noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi

	dist.net1.14026	dist.net1.14027	dist.net1.14035	dist.net1.14058	dist.net1.14059	. . .
14026	0	80925.11778	58096.86129	116196.9753	55353.59963	. . .
14027	41326.52192	0	27306.57487	58155.42881	61818.34902	. . .
14035	41326.52192	50134.83136	0	85406.68888	61818.34902	. . .
14058	41326.52192	22883.57129	27306.57487	0	61818.34902	. . .
14059	34861.77253	80925.11778	58096.86129	116196.9753	0	. . .
14061	5702.623199	80925.11778	58096.86129	116196.9753	55353.59963	. . .
14075	41326.52192	28913.07443	27306.57487	64184.93195	61818.34902	. . .

Tablo 5.1. (Devam) Küçük Menderes Nehir Ağı ölçüm noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi

	dist.net1.14026	dist.net1.14027	dist.net1.14035	dist.net1.14058	dist.net1.14059	. . .
14083	34861.77253	80925.11778	58096.86129	116196.9753	27975.04785	. . .
.	.	.	.	.	.	. . .
.	.	.	.	.	.	. . .
.	.	.	.	.	.	. . .

Tablo 5.2. Küçük Menderes Nehir Ağı tahmin noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi

	91	92	93	94	95	96	.	.	.
91	0	19634.46	2780.241	6724.684	26332.28	27076.55	.	.	.
92	0	0	0	0	10189.45	10933.72	.	.	.
93	0	16854.22	0	3944.444	23552.04	24296.31	.	.	.
94	0	12909.78	0	0	19607.6	20351.87	.	.	.
95	0	3491.627	0	0	0	3053.112	.	.	.
96	0	3491.627	0	0	2308.844	0	.	.	.
97	0	3491.627	0	0	2308.844	1245.156	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

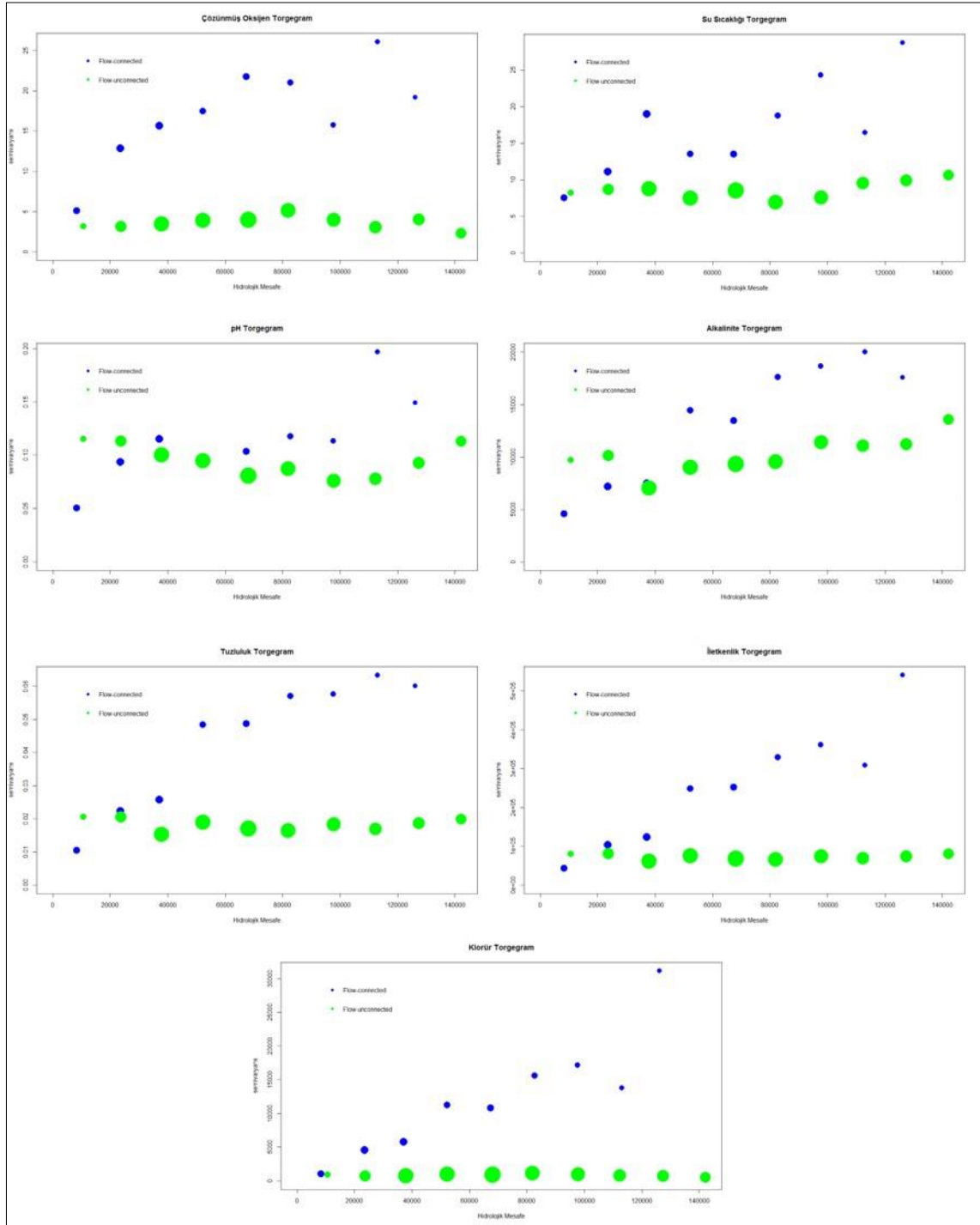
Mekânsal, öznelikselsel ve topolojik bilgiler, ikili kod (binary) olarak .ssn objesinde tutulmaktadır. Bu kapsamda ölçüm ve tahmin noktaları, lsn.mdb (ArcGIS veritabanı) üzerinde işlendiğinden yazılımın varsayılan olarak her işlem sonrası değişken olarak atadığı ObjectID kodunu kullanmaktadır. Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de yer alan mesafe matrislerinde ölçüm ve tahmin noktalarına ilişkin kodlar veritabanından alınan çıktının son değişkenlerine göre yazılım tarafından atanmaktadır.

5.1.2. Torgegramlar

Nehir ağı üzerinden hesaplanan hidrolojik mesafeler ve akış yönlerine göre akış bağlantılı ve akış bağlantısız olarak oluşturulan veri çiftlerine ait semivaryans değerlerinin özel bir gösterimi olan Torgegram grafikleri oluşturulmuştur. Söz konusu grafikler, her bir su kalitesi parametresi özelinde uygulanmıştır.

Küçük Menderes Nehir Ağında, mevcut ölçüm noktaları kapsamında azami hidrolojik mesafe yaklaşık 144.000 metre olmaktadır. Bu değer, torgegramların oluşturulması için uygulanan maksimum lag değerinin 150.000 metre seçilmesine altlık oluşturmıştır.

Şekil 5.1’de görüleceği üzere, akış bağlantısız veri çiftlerini temsil etmekte olan yeşil renkli veri çifti grupları mesafeye bağlı olarak mekânsal otokorelasyon göstermemektedir. Bununla beraber, mavi renkli veri çifti gruplarının her bir parametre için farklı mesafelerde sonlanacak şekilde mekânsal otokorelasyona sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. Küçük Menderes Nehir Ağı su kalitesi parametrelerine ilişkin torgegramlar

5.1.3. Mekânsal ortak değişkenler

Küçük Menderes Nehir Havzası için temin edilen mekânsal veri setleri her bir kenara ait su toplama alanı, kümülatif su toplama alanı, üst riparyan bölge ve izleme noktası ölçeğinde değerlendirilmiştir. Topografik, jeolojik, iklim, arazi kullanım ve antropojenik olarak 5 farklı mekânsal veri seti kapsamında oluşturulan veriler, sınıf değerlerine göre su toplama alanı içerisinde mekânsal ortalama değer ve kümülatif toplam değeri olarak mekânsal istatistiksel analiz/sorgularla belirlenmiştir. Her bir kenar, ölçüm ve tahmin noktası için hesaplanan 20 farklı değişken yukarıda bahsi geçen 5 mekânsal veri seti altında yer almaktadır (Tablo 5.3).

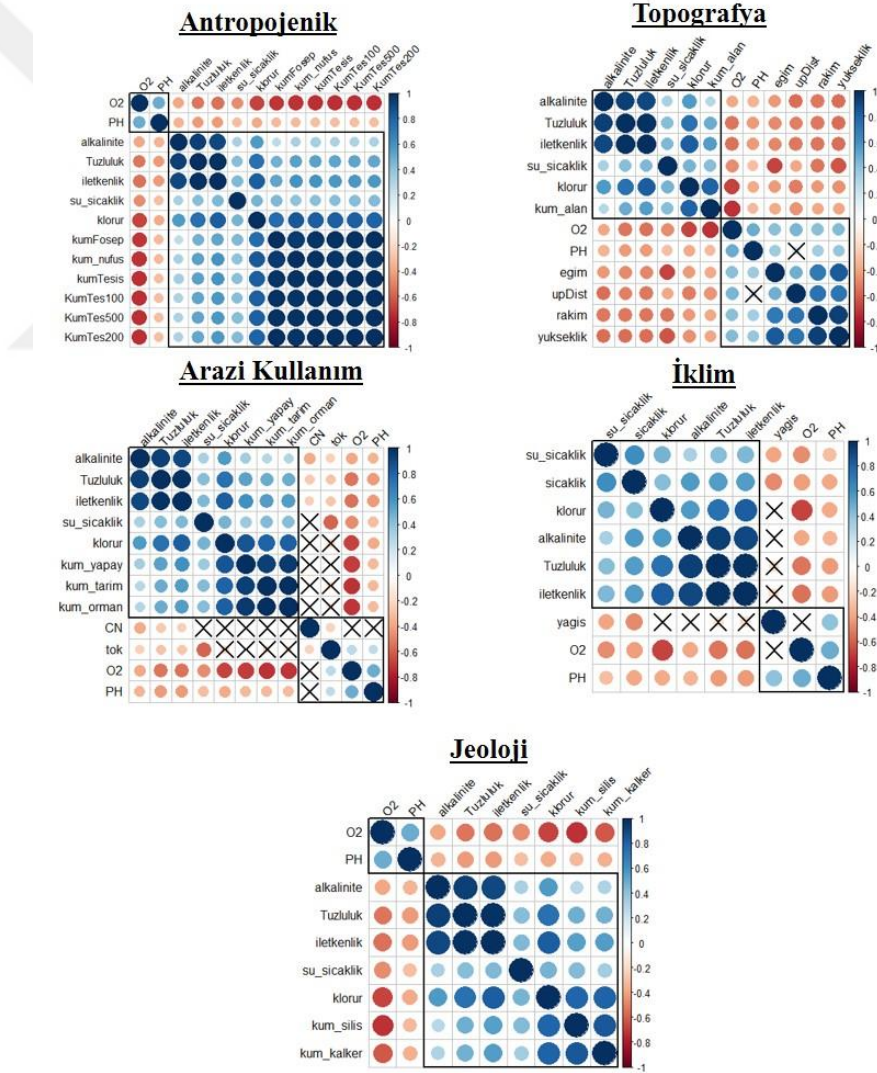
Tablo 5.3. Ortak değişkenlere ait özellikler

Ortak Değişken	Mekânsal Ölçek	Mekansal Veri Seti
rakim	Ölçüm noktasının bulunduğu deniz seviyesinden yükseklik(m)	Topografya
yukseklık	STA ortalama yükseklik değeri	
Eğim	STA ortalama arazi eğim değeri	
upDist	Nehir ağı üzerinde havza çıkışına olan mesafe (m)	
Kum_alan	Memba-Mansap ilişkili kümülatif STA alanı (km ²)	
sıcaklık	STA ortalama sıcaklık değeri (°C)	İklim
yagıs	STA ortalama yağış değeri (mm)	
CN	STA ortalama eğri numarası	Arazi Kullanım
tok	STA ortalama Toplam Organik Karbon (ton C ha ⁻¹)	
kum_tarım	Kümülatif STA toplam tarımsal alan (km ²)	
kum_yapay	Kümülatif STA toplam yapay alan (km ²)	
kum_orman	Kümülatif STA toplam ormanlık alan (km ²)	
kum_silis	Kümülatif STA silis formasyonlu toplam alan (km ²)	Jeoloji
kum_kalker	Kümülatif STA kalker formasyonlu toplam alan (km ²)	
kumTesis	Kümülatif STA toplam noktasal baskı sayısı (adet)	Antropojenik
KumTes500	Kümülatif STA ve nehir ağının 500 metre üst riparyan bölge içine düşen toplam noktasal baskı sayısı (adet)	
KumTes200	Kümülatif STA ve nehir ağının 200 metre üst riparyan bölge içine düşen toplam noktasal baskı sayısı (adet)	
KumTes100	Kümülatif STA ve nehir ağının 100 metre üst riparyan bölge içine düşen toplam noktasal baskı sayısı (adet)	
kumFosep	Kümülatif STA toplam foseptik sayısı (adet)	
kum_nufus	Kümülatif STA toplam nüfus sayısı (kişi)	

Mekânsal olarak çeşitli varyasyonlarda da üretilen söz konusu değişkenler, çalışmalarda iteratif olarak değerlendirilmiş olup bu tez kapsamında 20 değişken ile sınırlandırılarak sunulmaktadır. Küçük Menderes Nehir Ağı mekânsal istatistik modelinde kullanılacak ortak değişkenlerin belirlenmesi kapsamında çalışmalar 3.5. bölümde belirtilen yöntemler dahilinde gerçekleştirilmiştir.

5.1.3.1. Korelogramlar

Mekânsal veri setleri kapsamında belirlenen mekânsal değişkenler ile su kalitesi bağımsız değişkenleri arasında Tablo 5.3.'te verilen isimlendirmeler kullanılarak 5 farklı veri seti grubuna ilişkin korelogram grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Küçük Menderes Nehir Ağı su kalitesi parametrelerine ilişkin korelogramlar

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere negatif (-1) ve pozitif (+1) değerleri arasında değişen kırmızıdan maviye doğru değişmekte olan renkler; korelogramda yer alan değişkenler arası durağanlığın tespiti için görsel bir saptama sunmaktadır. 0’a yaklaşan değerler mekânsal durağanlığın olmadığını, -1 veya +1’e yaklaşan değerler ise artan kuvvetlerde durağanlığı göstermektedir.

Tüm korelogramlarda yer alan su kalitesi parametreleri arasındaki ilişkilerden de görüleceği üzere alkalinite, tuzluluk ve iletkenlik parametreleri aralarında +0,90 – +0,98 arasında değişen r (korelasyon katsayısı) değerlerine sahip çok kuvvetli düzeyde korelasyon görülmektedir.

Antropojenik mekânsal değişkenleri temsil eden korelogramda çözünmüş oksijen parametresinin kumTesis, KumTes500, KumTes200, KumTes100, kumFosep ve kum_nufus değişkenleriyle negatif yönde yaklaşık -0,75 r değerine sahip kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir. pH parametresinde -0,3 – -0,4 arasında değişen r değerinde, su kalitesi ve abiyotik faktörler arasındaki değişkenler için güçlü denebilecek seviyede negatif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Alkalinite açısından söz konusu değişkenler arasında +0,3 r değerinde pozitif yönlü bir ilişki görülmektedir. Klorür, bu veri seti içerisinde +0,76 – +0,84 arasında değişen r değerindeki pozitif yönlü ilişki ile en yüksek seviyede korelasyon göstermektedir. Tuzluluk, iletkenlik ve su sıcaklığı değişkenleri +0.4 – 0.6 arasında değişen r değerinde pozitif yönlü bir ilişki tespit edilmektedir.

Topografik mekânsal değişkenler; rakim, yukseklik, egim, kum_alan ve upDist arasından kum_alan ile çözünmüş oksijen arasında -0,72 r değerinde negatif yönlü kuvvetli bir ilişki tespit edilmektedir. Klorür ile kum_alan arasında +0,81 r değerinde pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki görülmektedir. Su sıcaklığı açısından eğim parametre +0.67 r değeri de negatif yönlü kuvvetli bir ilişkiyi göstermektedir. Bunların dışında, alkalinite, tuzluluk, iletkenlik ve pH – 0,3 – 0,6 arasında değişen r değerinde ilişkiler görülmektedir.

Arazi kullanımı mekânsal veri seti altında yer alan kum_yapay, kum_tarim, kum_orman, CN ve tok değişkenleri ile en kuvveti ilişki klorür ile kum_yapay arasında +0,85 r değerinde pozitif yönlüdür. Çözünmüş oksijen parametresi ile kum_tarim arasında ise -0,72 r değerinde negatif yönlü kuvvetli bir ilişki tespit edilmektedir. Su sıcaklığı parametresi ile tok parametresi arasında -0,58 r değerinde negatif bir ilişki bulunmaktadır. CN ve tok mekânsal değişkenleri su kalitesi parametreleri arasında en zayıf ilişkileri göstermektedir. Bununla birlikte, kum_yapay, kum_tarim ve kum_orman

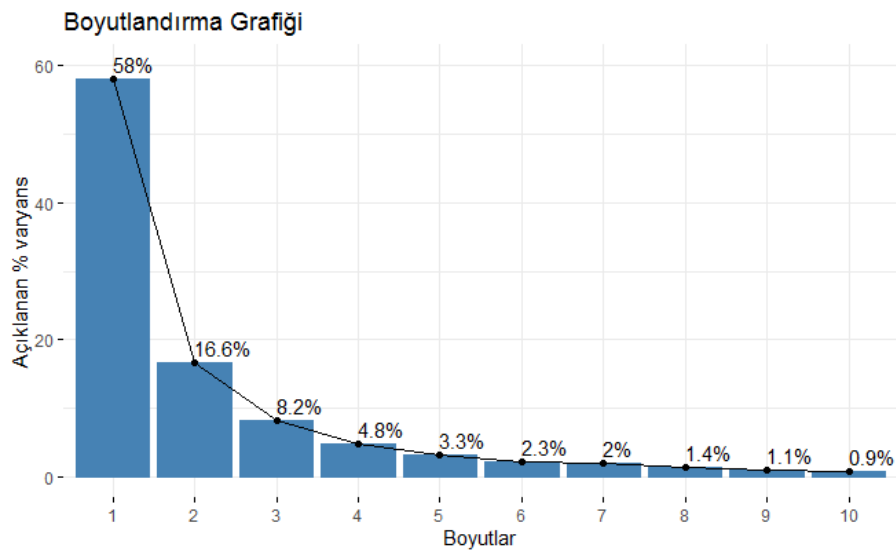
değişkenlerinin birbirine çok yakın seviyede r değerinde bir eğilim gösterdiği görülmektedir.

Sıcaklık ve yagis olarak 2 ayrı iklimsel değişken ile su kalitesi parametreleri arasında çok kuvvetli bir ilişki gözlemlenmemiştir. Su sıcaklığı ve sıcaklık arasında $+0.61$ r değerinde pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir. Jeolojik değişkenlerden kum_silis ve kum_kalker, klorür parametresi ile $+0.8$ r değerinde pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki görülmektedir. Çözünmüş oksijen açısından kum_silis değişkeni -0.72 r değerinde negatif yönlü kuvvetli bir korelasyon bulunmaktadır. Diğer parameterler ile -0.3 – $+0.54$ arasında değişen r değerinde ilişkiler gözlemlenmektedir.

5.1.3.2. Temel bileşen analizi

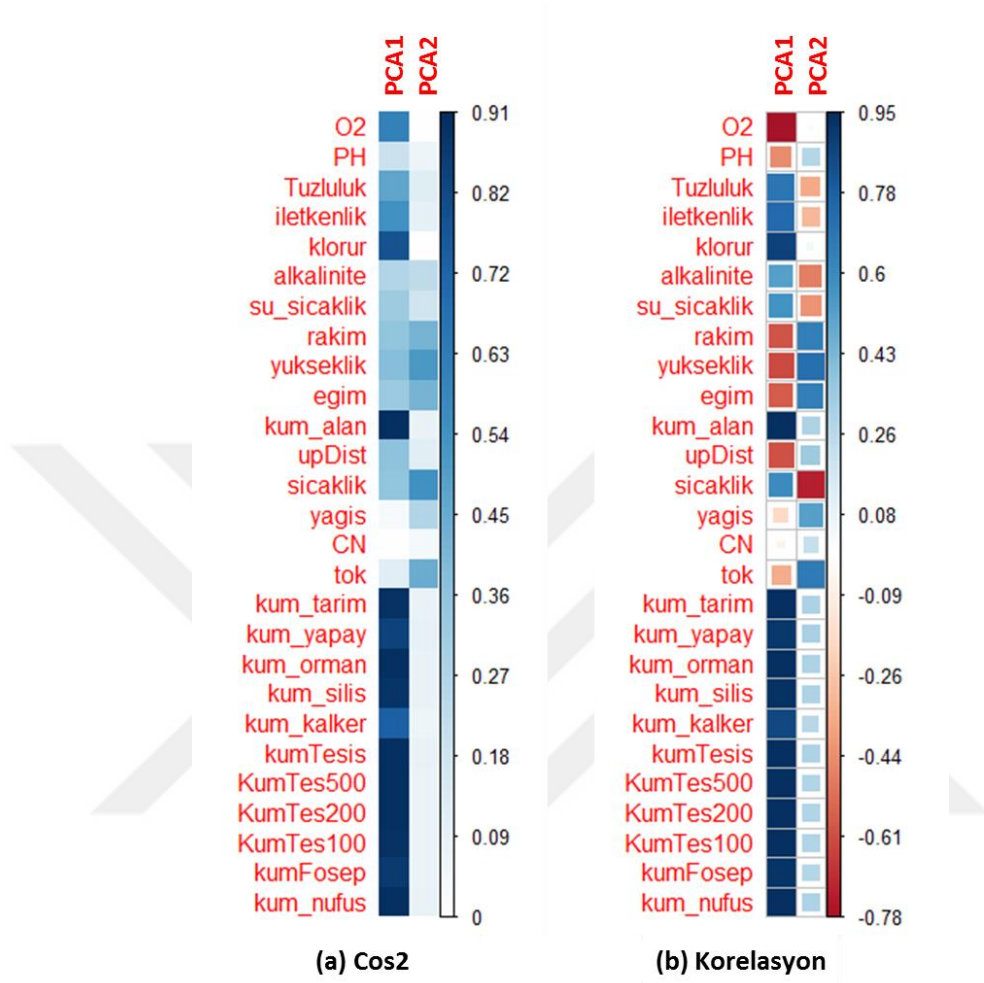
Küçük Menderes Nehir Ağı üzerindeki 90 adet ölçüm ve bu ölçümlerin ilişkilendirildiği mekânsal veri setindeki çoklu değişkenler temel bileşen analizi ile indirgenerek gruplanmıştır. Modele girdi sağlayacak ortak değişkenlerin seçimi kapsamında gerçekleştirilen analiz tüm veri seti ile değerlendirildiğinde mekânsal varyansın maksimum olduğu su kalitesi değişkenlerini birbirinden ayırmaktadır.

20 farklı mekânsal değişken ve 7 su kalite parametresi kullanılarak yapılan temel bileşen analizinde, birinci bileşen için %58, ikinci bileşen için ise %16,6 olarak veri setini açıklayan varyans görülmektedir. Bileşenlerin açıklanan varyansı gösterildiği grafik Şekil 5.3'te verilmektedir.



Şekil 5.3. Küçük Menderes Nehir Ağı temel bileşen analizi boyutlandırma grafiği

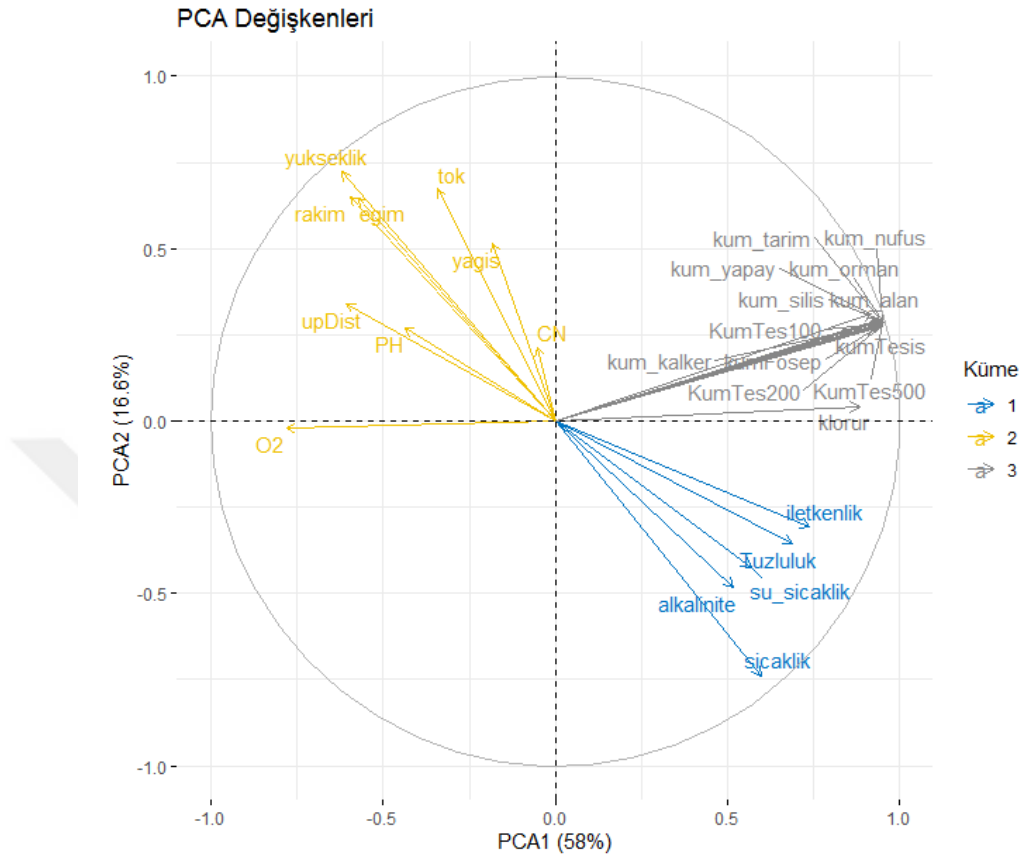
Kümülatif açıklanan varyans %74,6 bir orana karşılık gelmekte olup söz konusu veri setini 2 bileşende incelemek yeterli olmaktadır.



Şekil 5.4. Küçük Menderes Nehir Ağı temel bileşen analizi cos2 (a) ve korelasyon (b) grafikleri

Değişkenlerin bileşenler üzerindeki temsiliyeti ve korelasyonu gösterir grafikler Şekil 5.4. (a ve b)'de yer almaktadır. Burada dikkat çeken unsur kum_alan, kum_tarim, kum_yapay gibi kümülatif değişkenlerin bileşen 1 üzerinde +0,8 üzerinde yüksek oranda temsil edildiği ve korele olduğudur. Ayrıca bileşen 1; yagis, CN ve tok parametreleri dışında veri setiyle kuvvetli bir korelasyon gösteriyor denebilir. Çözünmüş oksijen ve klorür parametreleri diğerlerine göre sırasıyla daha kuvvetli negatif ve pozitif ilişki göstermektedir. Bileşen 2 de ise yükseklik, rakim, eğim, sıcaklık ve tok mekansal değişkenlerinin temsiliyetinin ön planda olduğu görülmektedir. Bununla beraber, alkalinite parametresi de -0,5 değerinde negatif yönlü korelasyon göstermektedir.

Bileşenler üzerinde değişkenler k-means algoritması kullanılarak 3 grup olarak sınıflandırılmış ve görsel olarak yorumlanmak üzere grafik oluşturulmuştur (Şekil 5.5).



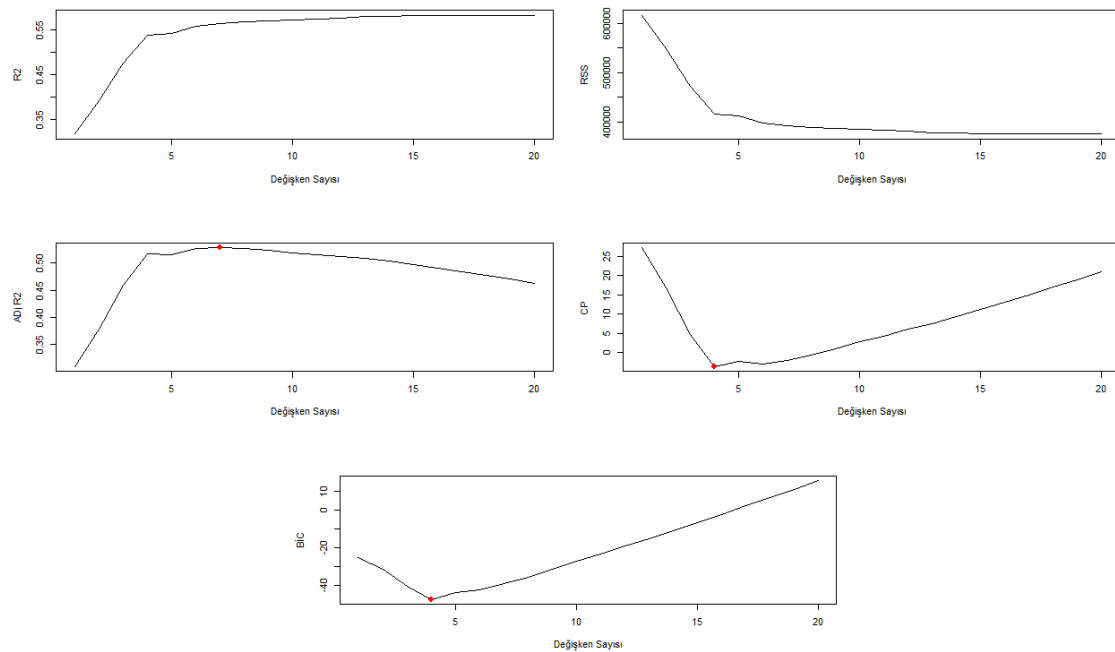
Şekil 5.5. Küçük Menderes Nehir Ağı sınıflandırılmış temel bileşen – değişken grafiği

Söz konusu grafikte, pozitif korelasyonlu değişkenler birlikte; negatif korelasyonlu değişkenler ise orjinin aksi yönünde gruplandırılmıştır. Değişkenler ve orijin arasındaki mesafe, bileşen grafiğinde değişkenlerin temsiliyetini göstermektedir. Başlangıç noktasından uzak olan değişkenler, bileşen grafiğinde iyi bir şekilde temsil edilmektedir. Bu kapsamda, ikinci kümede yer alan O2, pH parametreleri ile yükseklik, rakim, eğim, yagis, tok, upDist değişkenlerinin birlikte temsil edildiği görülmektedir. İkinci kümenin zıttı yönde görülen birinci küme ise iletkenlik, alkalinite, tuzluluk, su_sicaklik parametreleri sicaklik değişkeni ile birlikte korele olduğu görülmektedir. Üçüncü küme olarak kümülatif değişkenler ile klorür parametresi, bileşen 1 üzerinde yüksek temsiliyette birlikte korelasyon göstermektedir.

5.1.3.3. Mekânsal ortak değişken seçimi

Mekânsal değişkenlerin seçiminde altkümeler kullanılarak en uygun değişkenlerin belirlenmesi için kapsamlı arama, ileri ve geri seçim teknikleri kullanılabilir. R istatistik yazılımında yer alan leaps paketi, leaps and bounds algoritması kullanarak doğrusal regresyonda y'yi tahmin etmek için x'teki değişkenlerin en iyi alt kümeleri için kapsamlı bir arama gerçekleştirmektedir. Bu çalışma kapsamında, alkalinite, su sıcaklığı, çözünmüş oksijen ve klorür parametreleri optimum mekânsal ortak değişkenlerin seçimi için korelogram ve temel bileşen analizinden elde edilen bilgiler ile leaps and bounds algoritması kullanılmıştır. Söz konusu algoritma, maksimum sayıdaki değişkene kadar tüm boyutlarda ayrı ayrı en iyi modelleri döndürmekte ve her bir model için r^2 , rss, $adjr^2$, cp ve bic kriterlerine göre karşılaştırarak optimum sayıda değişkenin oluşturduğu modeli seçmeye imkân vermektedir.

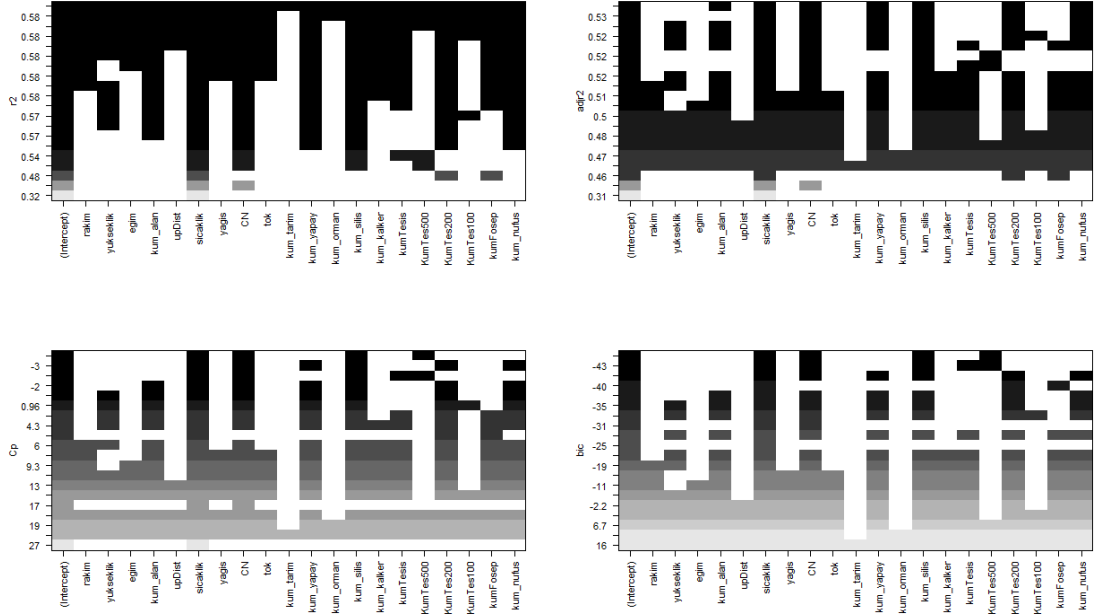
Alkalinite parametresi için oluşturulan algoritmaya ait sonuçlar Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.6. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite - leaps and bounds kriterler grafiği

Şekil 5.6'da görüldüğü üzere 5 farklı optimum model kriteri için grafikler oluşturulmuş $adjr^2$, cp ve bic kriterlerinin kırılım gösterdikleri maksimum-minimum noktalara karşılık gelen değişken sayıları optimum model parametre sayısını vermektedir.

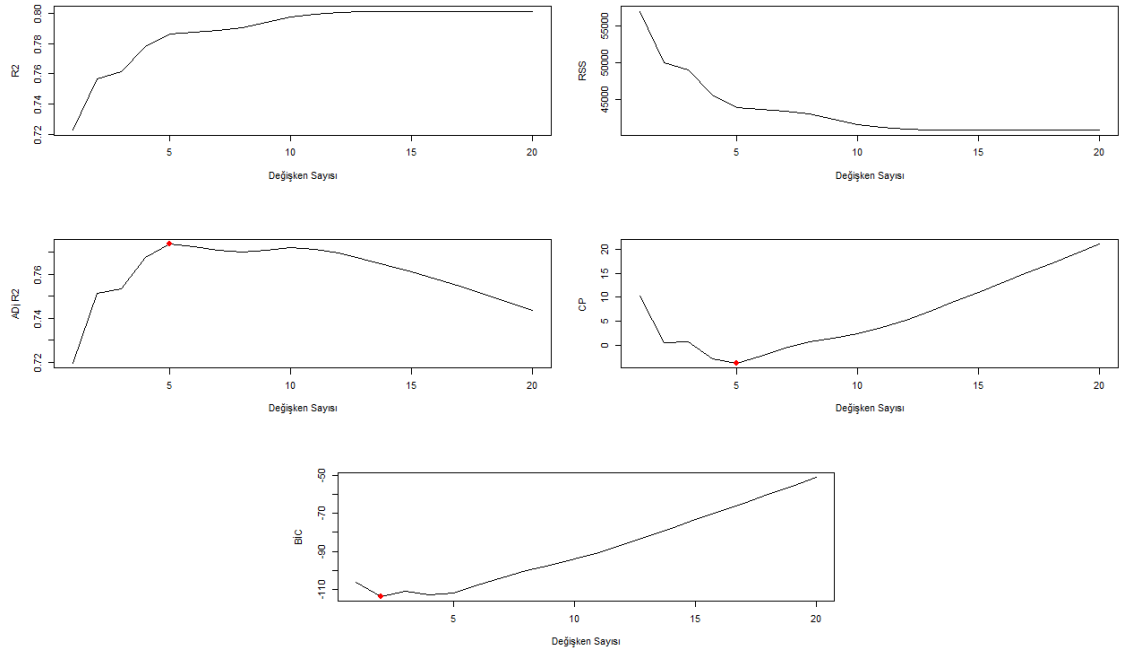
0.55'in üzerinde r^2 değerine kadar 4 farklı değişkenden oluşan modelin optimum olduğu diğer kriterlerde de görülmüştür.



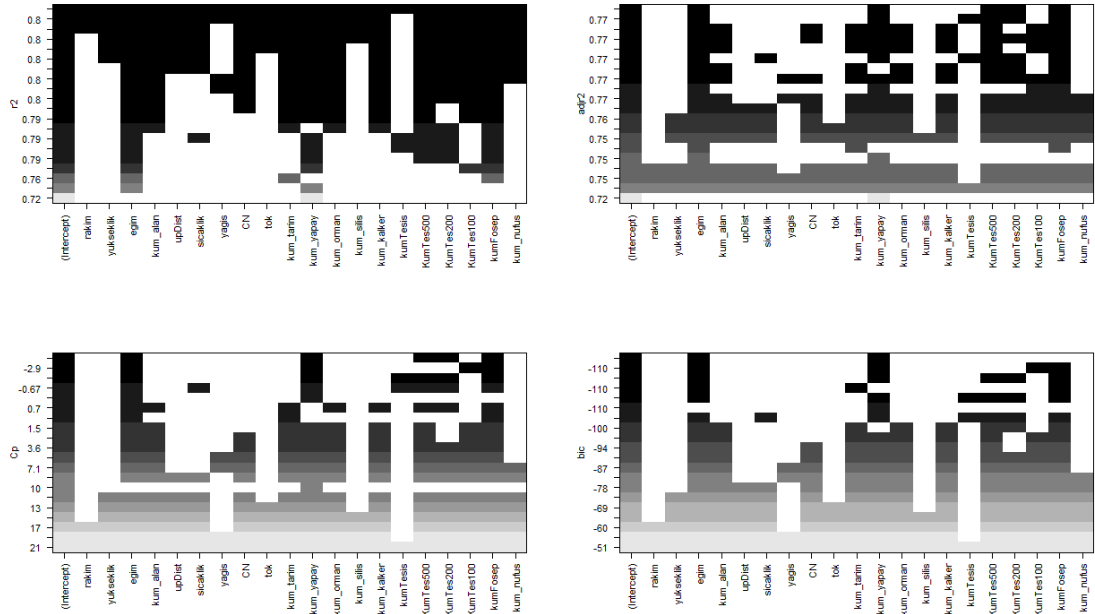
Şekil 5.7. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği

Alkalinite için belirlenen 4 değişkenli model kombinasyonu, Şekil 5.7'de verilen r^2 , $adjr^2$, cp ve bic kriterleri bazında sicaklik, CN, kum_silis ve kumTes500 mekânsal değişkenlerini içermektedir.

Klorür parametresi için optimum model; bic kriteri hariç 5 değişkenli olarak uygun (Şekil 5.8) görünse de söz konusu değişkenler incelendiğinde buradaki parametrelerin antropojenik etkilerden oluştuğu görülmektedir. Temsiliyet açısından BIC kriterinin de gösterdiği üzere 2 değişkenli model, ortak değişkenlerin seçimi için yeterli olacağı öngörülmektedir.



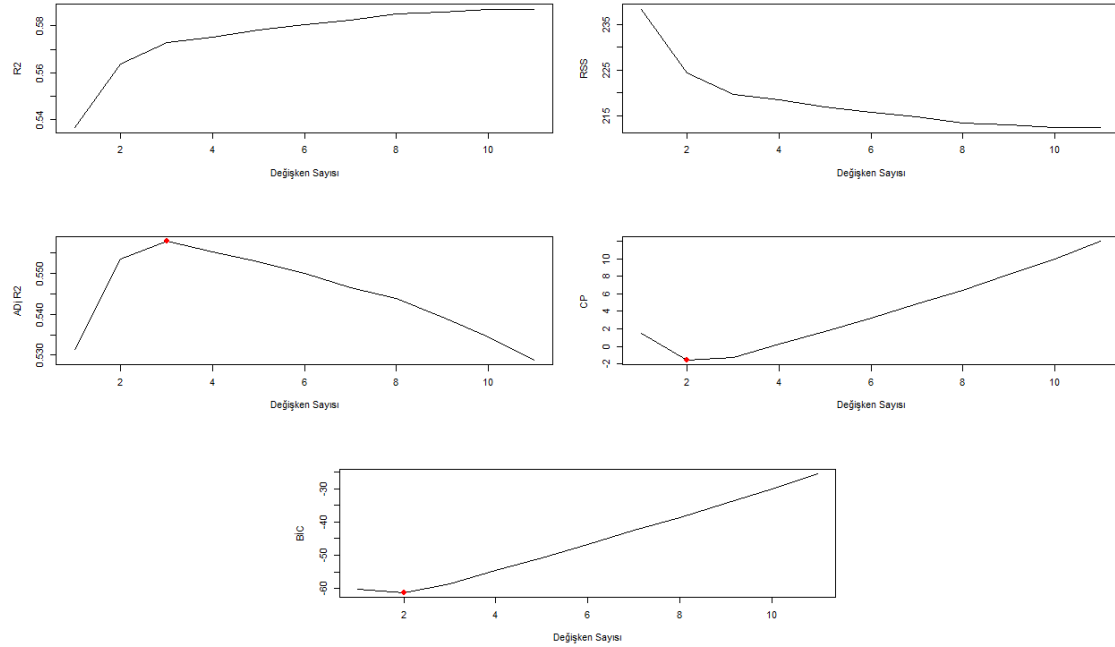
Şekil 5.8. Küçük Menderes Nehir Ağı klorür - leaps and bounds kriterler grafiği



Şekil 5.9. Küçük Menderes Nehir Ağı klorür - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği

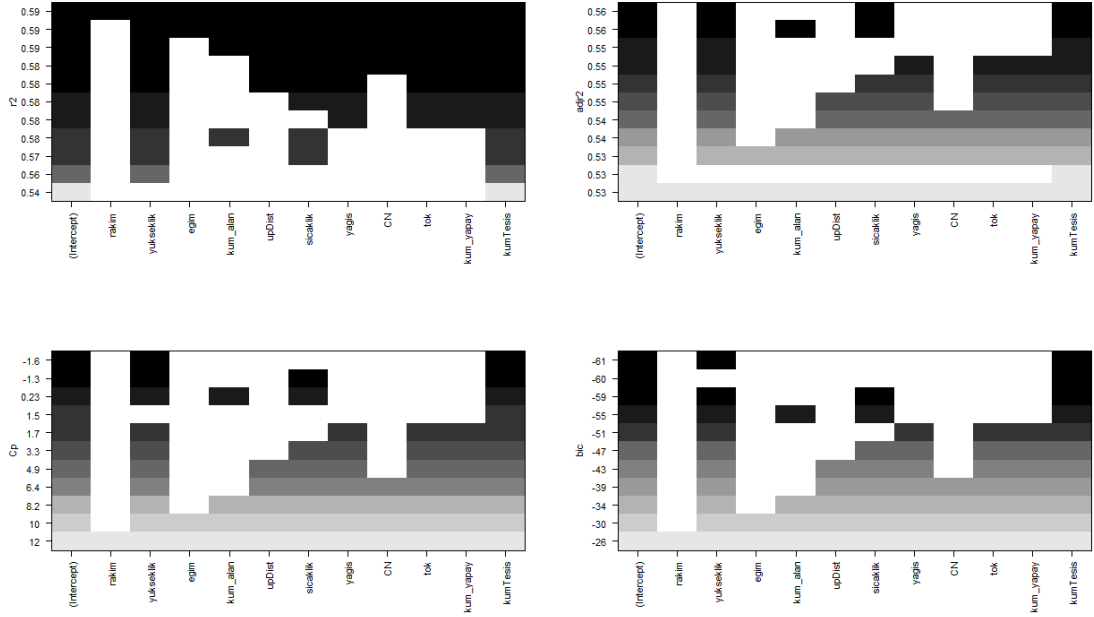
Egim ve kum_yapay mekânsal değişkenleri, klorür parametresi için söz konusu 2 değişkenin optimum ortak değişken olarak belirlenebileceğini göstermektedir (Şekil 5.9).

Çözünmüş oksijen parametresi için 20 değişken üzerinden uygulanan algoritma sonuçları, korelogramlar ve temel bileşen analizi de göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş olup KumTes500, KumTes200, KumTes100, kum_silis, kum_orman, kum_kalker, kum_tarim, kumFosep ve kum_nufus değişkenleri çıkarılmıştır. Özellikle, söz konusu değişkenler arasında yer alan jeolojik değişkenler; gerek çıkartılan diğer kümülatif değişkenler gibi birbirleri arasında yüksek korelasyon göstermesi ve aynı zamanda kavramsal açıdan da çözünmüş oksijen - mekânsal değişken ilişkisinde sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde Küçük Menderes Nehir Ağı için daha zayıf bir ilişki gösterdiğinden çıkartılmıştır. Kalan 11 değişken ile koşturulan algoritmaya ilişkin sonuçlar Şekil 5.10'da verilmektedir.



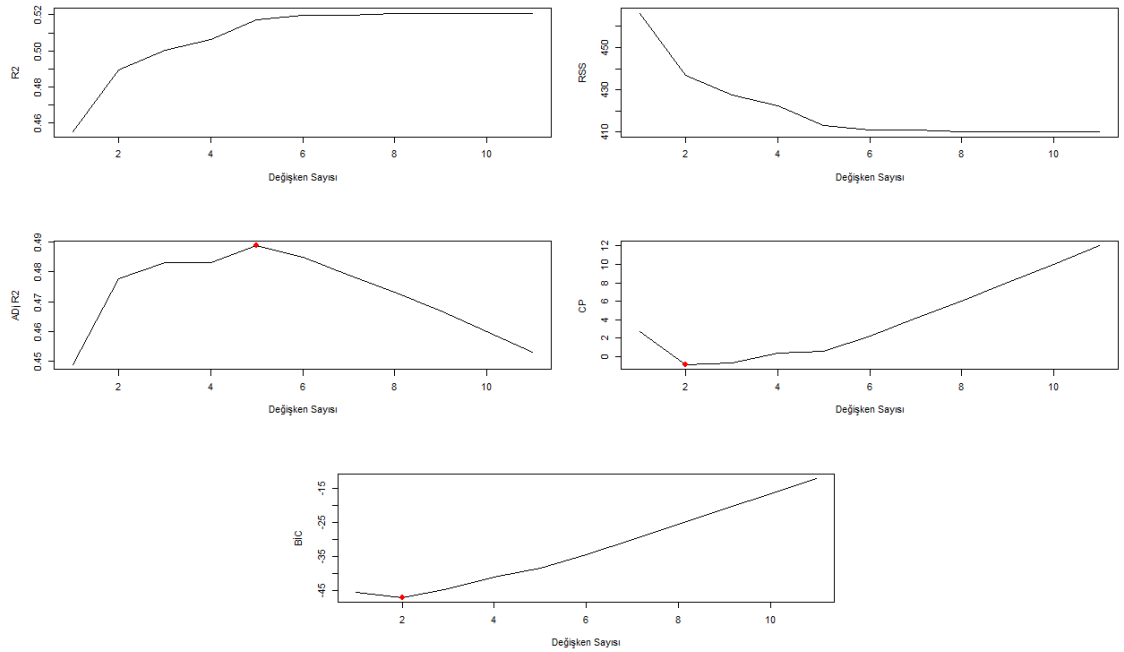
Şekil 5.10. Küçük Menderes Nehir Ağı çözünmüş oksijen - leaps and bounds kriterler grafiği

Şekil 5.11'de yer alan değişkenlere karşı kriterler bazında tüm model kombinasyonları göz önüne alındığında yükseklik, sıcaklık ve kumTesis olarak 3 değişkenin optimum model kombinasyonu olarak kabul edilebileceği ortaya konulmuştur.

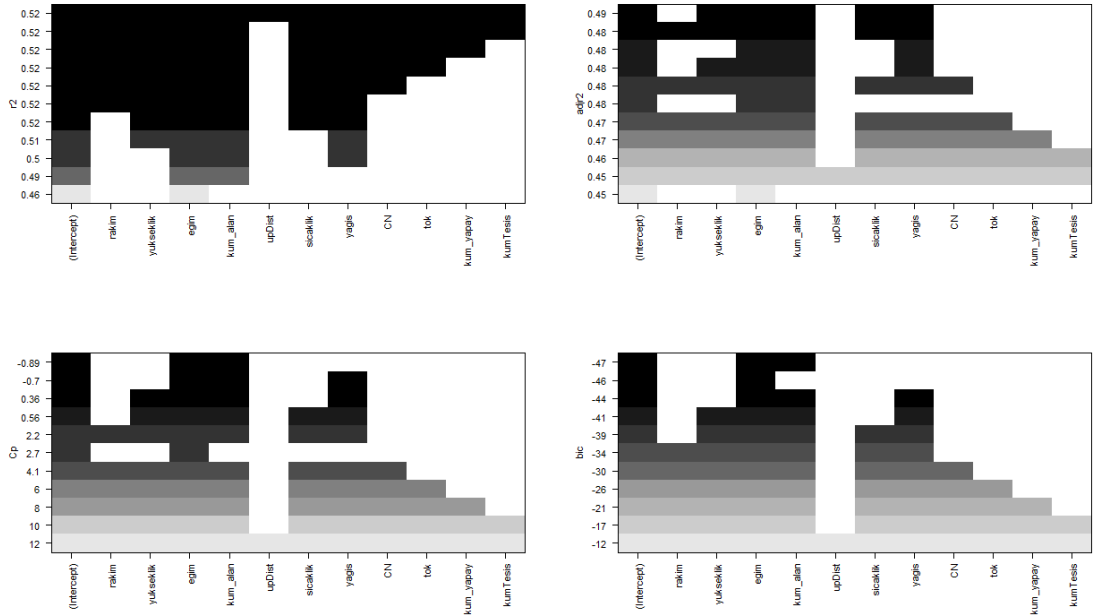


Şekil 5.11. Küçük Menderes Nehir Ağı çözünmüş oksijen - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği

Su sıcaklığı parametresi için, üzerinde etkisi olabilecek 10 mekânsal değişken kullanılarak algoritma koşturulmuştur. Optimum model kriterleri için oluşturulan grafikler Şekil 5.12’de verilmektedir.



Şekil 5.12. Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı - leaps and bounds kriterler grafiği



Şekil 5.13. Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği

Antropojenik etkilerin ve kümülatif değişkenlerin birbirleri arasındaki korelasyonu göz önüne alındığında su sıcaklığı ile kavramsal ilişkisi açısından jeolojik değişkenlerin çıkarılması sonucunda 10 farklı değişken kullanılmıştır. Şekil 5.12 ve 5.13'te yer alan kriterler bazında optimum değişkenler grafiğinde de görüleceği üzere egim ve kum_alan değişkenleri 2 değişkenli optimum model kombinasyonu olarak seçilmiştir.

5.1.4. Model seçimi ve tahmin

Küçük Menderes Nehir Ağında 90 noktada ölçümü gerçekleştirilen ve önceki başlıklarda bahsi geçen torgegram, korelogram ve temel bileşen analizi sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda seçilen çözünmüş oksijen, klorür, alkalinite ve su sıcaklığı su kalite parametreleri için mekânsal istatistiksel modellerin oluşturulması R istatistik yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. SSN paketinden faydalanılarak oluşturulan modeller ve çıktılarına ilişkin kaynak kodlar EK-1'de verilmektedir.

Her bir su kalitesi parametresi kapsamında, AIC öncelikli olmak üzere RMSPE ölçütleri uygun modellerin seçiminde değerlendirilmiştir. Ayrıca, model performanslarının değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt olan LOOCV çapraz doğrulama kriteri uygulanmıştır. Seçilen modeller, nehir ağı modelleri için SSN paketine dahil

özelleştirilmiş olan kriging fonksiyonu kullanılarak tahminlenmiştir. Modellerin önemli parametrelerinden biri olan katkı fonksiyonu olarak kabul edilen kümülatif su toplama alanı değerleri ile yüzeysel akış eğri numaralarından üretilen katkı fonksiyonu da karşılaştırılmıştır.

5.1.4.1. Alkalinite

Alkalinite parametresi için Küçük Menderes Nehir Ağı hidrolojik mesafeleri kullanılarak oluşturulan Şekil 5.1’de yer alan Torgegram; akış bağlantılı veri çiftlerinde otokorelasyonun varlığını göstermektedir. Buradan hareketle, tailup ve taildown modelleri alkalinite parametresi için karma modelin oluşturulması iteratif bir şekilde denenmiştir. Taildown modeli daha düşük eşik değerine sahip olmasından dolayı düşürülerek tailup modeli ve belirlenmiş olan sıcaklık, CN, kum_silis ve KumTes500 ortak değişkenleri kullanılarak model koşturulmuştur.

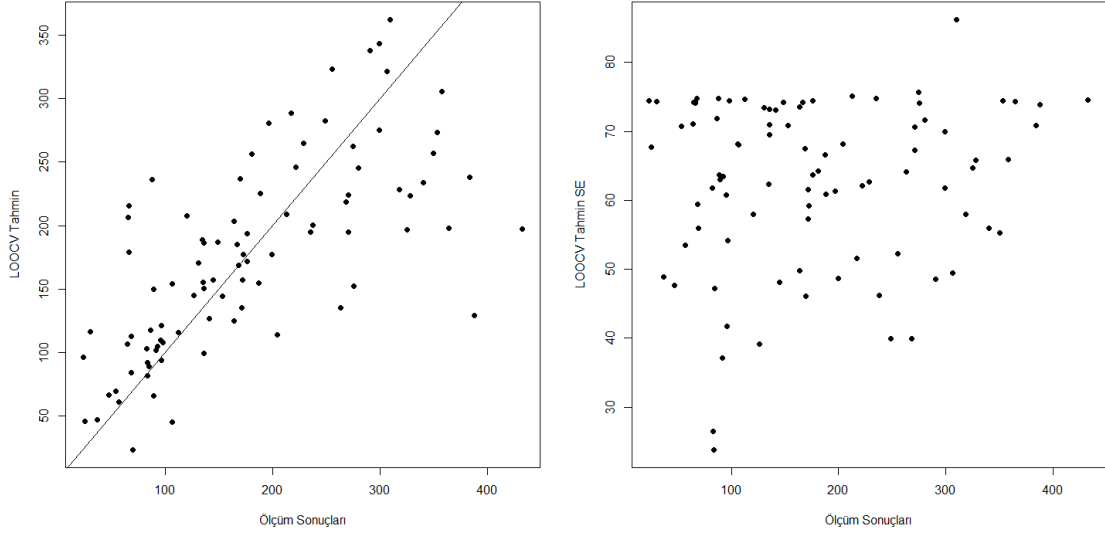
Nehir ağlarında hareketli ortalama otokovaryans varyogram modelleri; eşikli lineer, üstel, küresel, mariah ve Epanechnikov arasından optimum modelin seçimi için AIC bilgi ölçütü kullanılmıştır. Aynı zamanda iki farklı katkı fonksiyonu arasından seçimin yapılabilmesi için de aynı yöntem uygulanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilen karşılaştırmalarda daha düşük AIC ve RMSPE değeri olan modeller değerlendirilerek seçim gerçekleştirilmiştir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4. *Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite parametresi model seçimi*

Model	Varyans Bileşenleri	Katkı Fonksiyonu	AIC	bias	RMSPE	cov.90	cov.95
alkalinite ~ sıcaklık + CN + kum_silis + KumTes500	Exponential.tailup+Nugget	afvArea	956.6	-3.078	74.12	0.871	0.965
	LinearSill.tailup+Nugget	afvArea	954.4	-2.916	72.99	0.871	0.941
	Mariah.tailup+Nugget	afvArea	957.6	-2.838	74.32	0.871	0.953
	Spherical.tailup+Nugget	afvArea	956.1	-3.191	74	0.859	0.953
	Epanech.tailup+Nugget	afvArea	956.7	-2.449	72.87	0.894	0.929
	Spherical.tailup+Nugget	afvCN	955.9	-3.24	73.97	0.859	0.953
	Exponential.tailup+Nugget	afvCN	956.5	-3.127	74.09	0.871	0.965
	LinearSill.tailup+Nugget	afvCN	954.3	-2.977	72.97	0.871	0.941
	Mariah.tailup+Nugget	afvCN	957.5	-2.883	74.26	0.871	0.953
	Epanech.tailup+Nugget	afvCN	956.6	-2.468	72.82	0.894	0.929

Tablo 5.4’te verilmekte olan varyans bileşenleri arasında LinearSill.tailup+Nugget bileşeni ile afvCN katkı fonksiyonu alkalinite parametresi için

en uygun model olarak seçilmiştir. Veri setindeki rassal etkiler yani mekânsal ortak değişkenlerin seçilen model üzerinde %39, tailup modelinin %61 oranında etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. LOOCV çapraz doğrulama model performans değerlendirmesine göre elde edilen ölçüm-tahmin ve standart hata grafikleri Şekil 5.14'te verilmektedir.

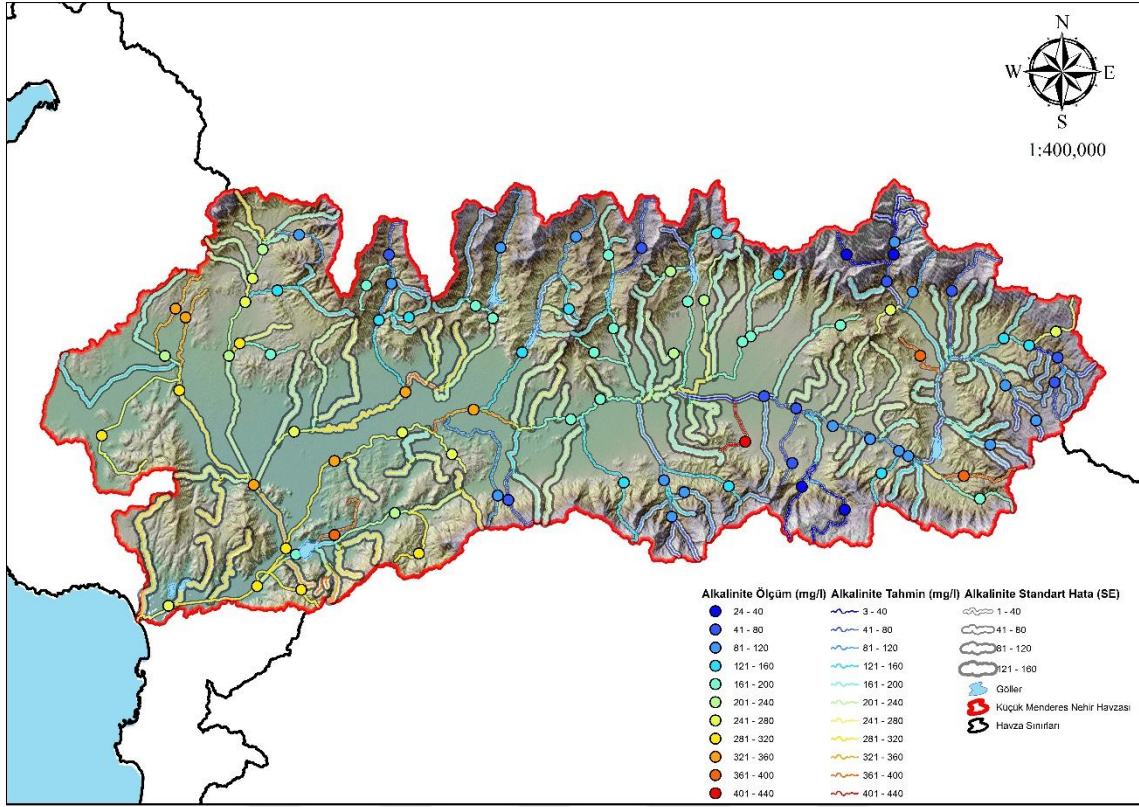


Şekil 5.14. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite LOOCV çapraz doğrulama grafikleri

Alkalinite parametresi için modelin verimini açıklayabilmek açısından grafikte yer alan ölçüm – tahmin değerlerine ait RMSPE hesaplanmış olup **55.4** olarak tespit edilmiştir.

Küçük Menderes Nehir Ağı, topolojik ilişkileri ve hidrolojik mesafeleri üzerinden alkalinite parametresine ilişkin üretilen tahmin ve standart hata değerlerinin gösterildiği harita Şekil 5.15'e verilmektedir.

Model sonuçlarına ilişkin görselleştirilen tahmin haritasında, havzanın doğusunda kalan memba kısmında yer alan yüksek değere sahip ölçüm noktalarının olduğundan daha düşük değerler verdiği görülmektedir. Tahmin standart hatalarının ölçüm noktası bulunmayan nehir kollarında daha yüksek değerlere çıktığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.15. Küçük Menderes Nehir Ağı alkalinite tahmin haritası

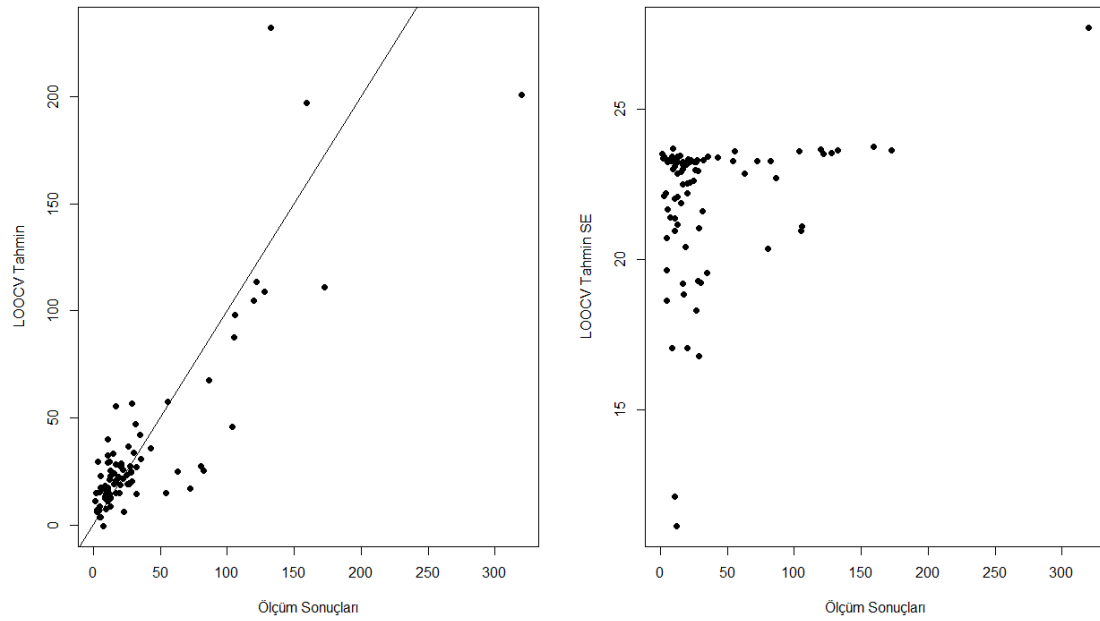
5.1.4.2. Klorür

Klorür parametresi için oluşturulan ve Şekil 5.1’de yer alan Torgegram; akış bağlantılı veri çiftlerinde otokorelasyonun varlığını göstermektedir. Alkalinite parametresinde olduğu gibi aynı işlem adımları klorür parametresinde uygulanmıştır. Taildown modeli, daha düşük eşik değerine sahip olmasından dolayı düşürülerek tailup modeli ve belirlenmiş olan eğim ve kum_yapay ortak değişkenleri kullanılarak model koşturulmuştur.

Model seçimi neticesinde, Tablo 5.4’te verilmekte olan varyans bileşenleri arasında LinearSill.tailup+Nugget bileşeni ile afvCN katkı fonksiyonu alkalinite parametresinde olduğu gibi klorür parametresi için en uygun model olarak seçilmiştir. Veri setindeki rassal etkiler yani mekânsal ortak değişkenlerin seçilen model üzerinde %75, tailup modelinin %25 oranında etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. LOOCV çapraz doğrulama model performans değerlendirmesine göre elde edilen ölçüm-tahmin ve standart hata grafikleri Şekil 5.16’da verilmektedir.

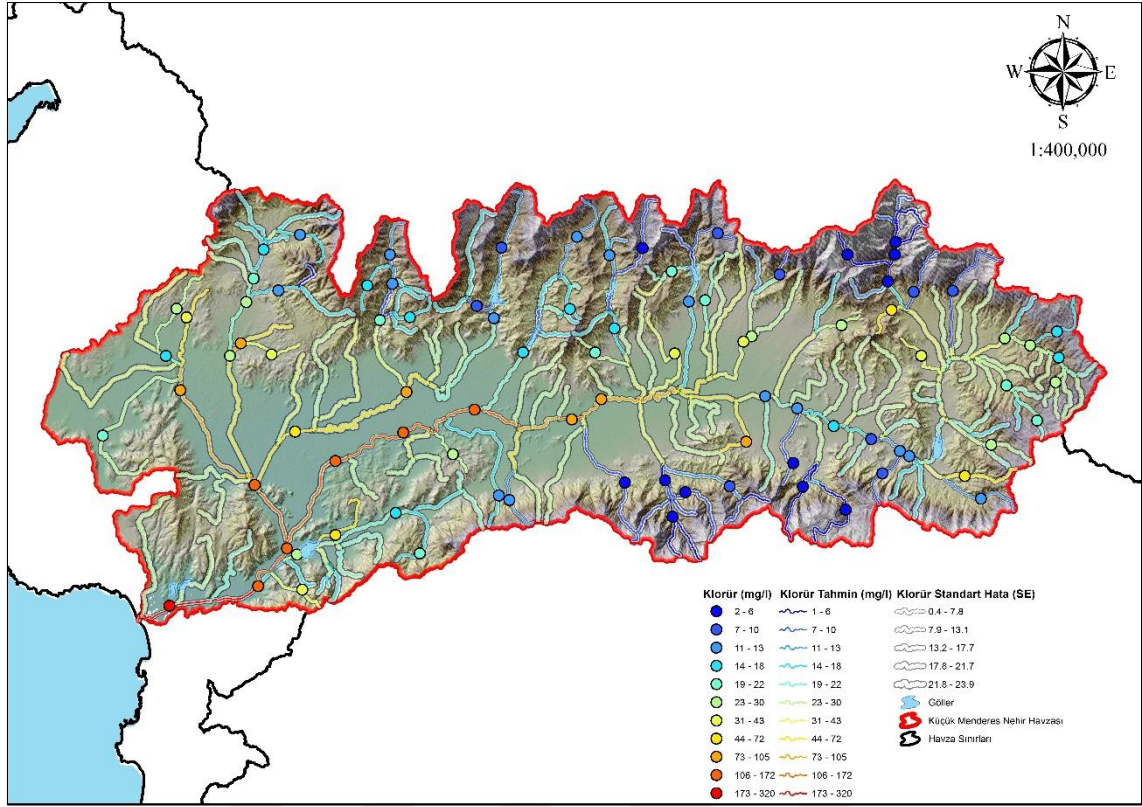
Tablo 5.5. *Küçük Menderes Nehir Ağı klorür parametresi model seçimi*

Model	Varyans Bileşenleri	Katkı Fonksiyonu	AIC	bias	RMSPE	cov.90	cov.95
klorür ~ egim + kum_yapay	Exponential.tailup+Nugget	afvArea	823	-0.403	25.94	0.911	0.922
	LinearSill.tailup+Nugget	afvArea	815	-0.845	23.97	0.911	0.922
	Mariah.tailup+Nugget	afvArea	828	0.1704	27.59	0.911	0.911
	Spherical.tailup+Nugget	afvArea	819	-0.676	24.7	0.911	0.922
	Epaneck.tailup+Nugget	afvArea	817	-0.788	24.41	0.911	0.922
	Spherical.tailup+Nugget	afvCN	818	-0.701	24.64	0.911	0.922
	Exponential.tailup+Nugget	afvCN	823	-0.428	25.87	0.911	0.922
	LinearSill.tailup+Nugget	afvCN	815	-0.861	23.91	0.911	0.922
	Mariah.tailup+Nugget	afvCN	828	0.1635	27.57	0.911	0.911
	Epaneck.tailup+Nugget	afvCN	817	-0.815	24.33	0.911	0.922



Şekil 5.16. *Küçük Menderes Nehir Ağı klorür LOOCV çapraz doğrulama grafikleri*

Klorür parametresi için modelin verimini açıklayabilmek açısından grafikte yer alan ölçüm – tahmin değerleri için RMSPE hesaplanmış olup **23.9** olarak tespit edilmiştir. Küçük Menderes Nehir Ağı, üzerinde tahminlenen klorür parametresine ilişkin üretilen tahmin ve standart hata değerlerinin gösterildiği harita Şekil 5.17’de verilmektedir.



Şekil 5.17. Küçük Menderes Nehir Ağı klorür tahmin haritası

Model sonuçları incelendiğinde, Küçük Menderes nehri ana kolu boyunca klorür değerlerinin arttığı gözlemlenmektedir. Model, aykırı değer olmayan havzanın mansap bölümüne yakın 3 noktada ölçümlenmiş yüksek klorür seviyelerini daha düşük tahminlediği görülmektedir.

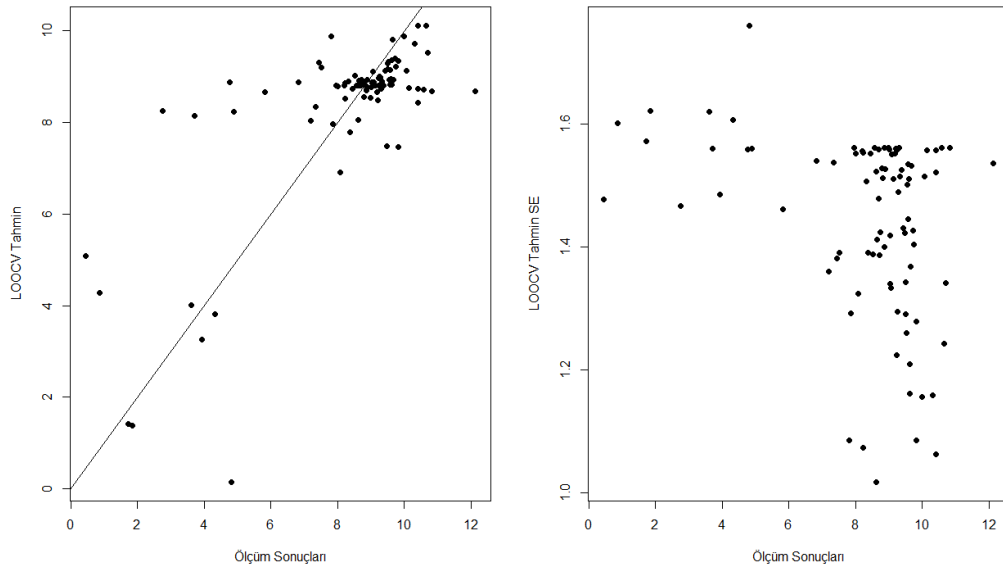
5.1.4.3. Çözünmüş oksijen

Sucul ekosistemin canlılığı ve kalitesi için önemli bir gösterge olan çözünmüş oksijen parametresi için oluşturulan Şekil 5.1'de yer alan Torgegramda görüldüğü üzere 80000 metreye varan hidrolojik mesafelerde akış bağlantılı veri çiftlerinde otokorelasyonun varlığı bulunmaktadır. Model seçiminde, tailup modelinin daha düşük eşik değerine sahip olmasından dolayı düşürülerek taildown modeli seçilmiştir. Ayrıca, mekânsal ortak değişkenlerin seçimi kapsamında uygun olarak belirlenen kumTesis, sıcaklık ve yükseklik ortak değişkenlerinden sıcaklık ve yükseklik, taildown modeli ile birlikte kullanıldığında yeterli istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmadığı için nihai modelden çıkartılmıştır. Tablo 5.5'te model seçimine yönelik karşılaştırmalar verilmektedir.

Tablo 5.6. *Küçük Menderes Nehir Ağı* çözülmüş oksijen parametresi model seçimi

Model	Varyans Bileşenleri	Katkı Fonksiyonu	AIC	bias	RMSPE	cov.90	cov.95
O ₂ ~ kumTesis	Exponential.taildown+Nugget	afvArea	348.3	0.0105	1.5724	0.888	0.910
	LinearSill.taildown+Nugget	afvArea	341.6	0.0292	1.5068	0.865	0.910
	Mariah.taildown+Nugget	afvArea	350.9	-0.011	1.5889	0.899	0.899
	Spherical.taildown+Nugget	afvArea	345.1	0.0219	1.5453	0.876	0.899
	Epanech.taildown+Nugget	afvArea	343.9	0.0258	1.5338	0.876	0.888
	Spherical.taildown+Nugget	afvCN	345.1	0.0219	1.5453	0.876	0.899
	Exponential.taildown+Nugget	afvCN	348.3	0.0105	1.5724	0.888	0.910
	LinearSill.taildown+Nugget	afvCN	341.6	0.0292	1.5068	0.865	0.910
	Mariah.taildown+Nugget	afvCN	350.9	-0.011	1.5889	0.899	0.899
	Epanech.taildown+Nugget	afvCN	343.9	0.0258	1.5338	0.876	0.888

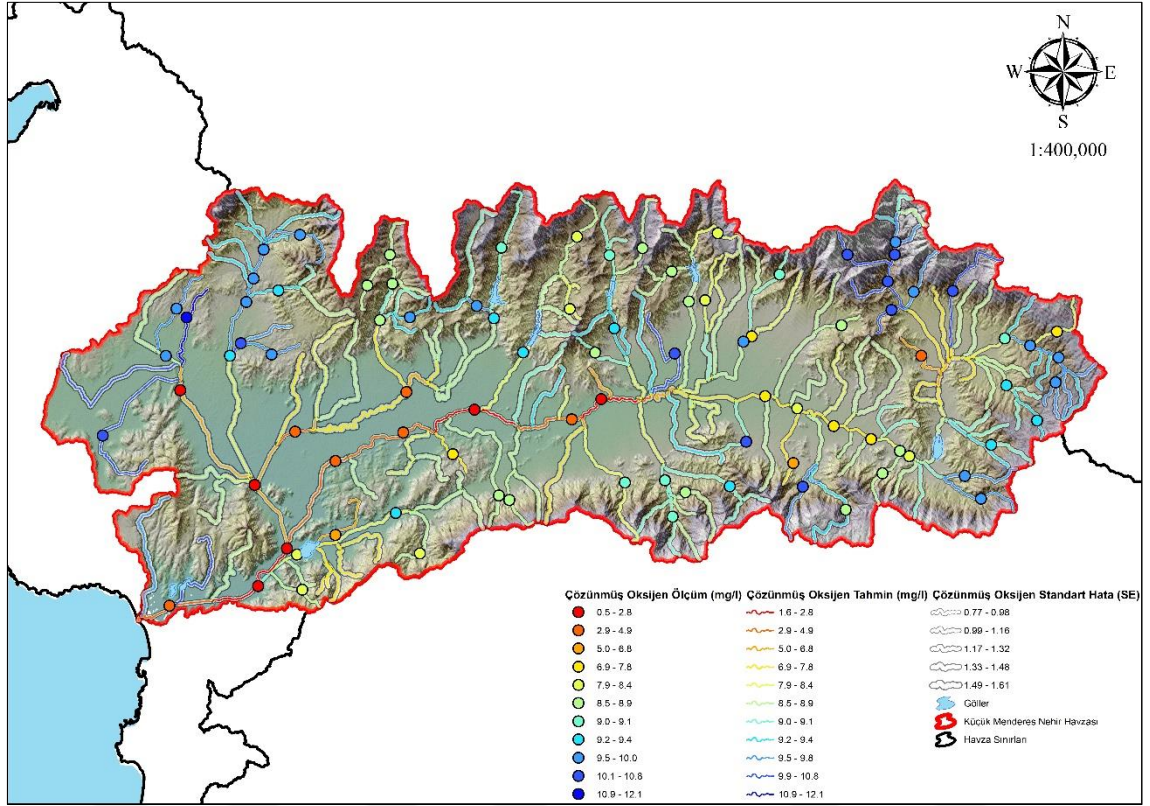
Model seçimi kapsamında, Tablo 5.6’da verilen model kombinasyonları arasında varyans bileşeni LinearSill.tailup+Nugget olarak belirlenmiştir. Katkı fonksiyonu açısından afvCN ve afvArea katkı fonksiyonlarının her ikisinin de aynı AIC ve RMSPE sonuçları verdiği görülmektedir. Seçilen model üzerinde, veri setindeki rassal etkiler yani mekânsal ortak değişkenlerin %52, taildown modelinin %41 ve külçe etkisinin %7 oranında etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. LOOCV çapraz doğrulama model performans değerlendirmesine göre elde edilen ölçüm- tahmin ve standart hata grafikleri Şekil 5.18’de verilmektedir.



Şekil 5.18. *Küçük Menderes Nehir Ağı* çözülmüş oksijen LOOCV çapraz doğrulama grafikleri

Çözülmüş oksijen parametresi için Şekil 5.18’de yer alan ölçüm – tahmin değerleri arasında RMSPE hesaplanmış olup **1.5** olarak tespit edilmiştir. Küçük Menderes Nehir

Ağı, üzerinde tahminlenen çözünmüş oksijen parametresine ilişkin üretilen tahmin ve standart hata değerlerinin gösterildiği harita Şekil 5.19’da verilmektedir.



Şekil 5.19. Küçük Menderes Nehir Ağı çözünmüş oksijen tahmin haritası

Model sonuçları incelendiğinde, Küçük Menderes nehri ana kolu üzerinde düşük çözünmüş oksijen değerlerinin bölgesel değişkenlik gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu nedenle, modelin ölçümlenen çözünmüş oksijen tahminlerinde standart hata oranını arttırdığı görülmektedir.

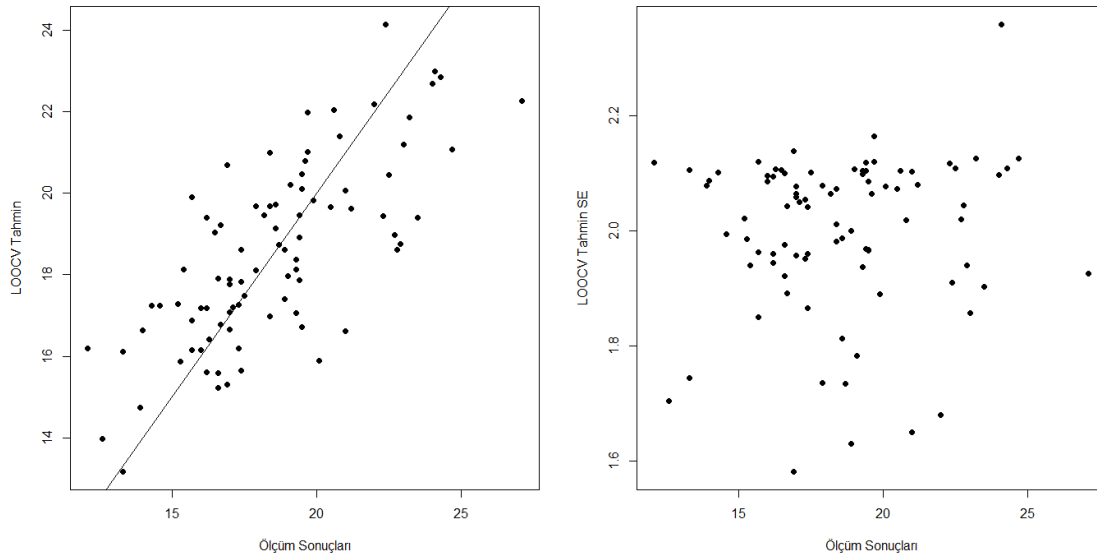
5.1.4.4. Su sıcaklığı

Su sıcaklığı parametresi için oluşturulan Şekil 5.1’de yer alan Torgegramda görüldüğü üzere hidrolojik mesafelerde akış bağlantılı veri çiftlerinde otokorelasyon tespit edilmektedir. Model seçiminde, tailup modelinin daha düşük eşik değere sahip olmasından dolayı düşürülerek taildown modeli seçilmiştir. Mekânsal ortak değişkenlerin seçimi kapsamında uygun olarak belirlenen eğim ve kum_alan modele dahil edilmiştir. Tablo 5.7’de model seçimine yönelik karşılaştırmalar verilmektedir.

Tablo 5.7. *Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı parametresi model seçimi*

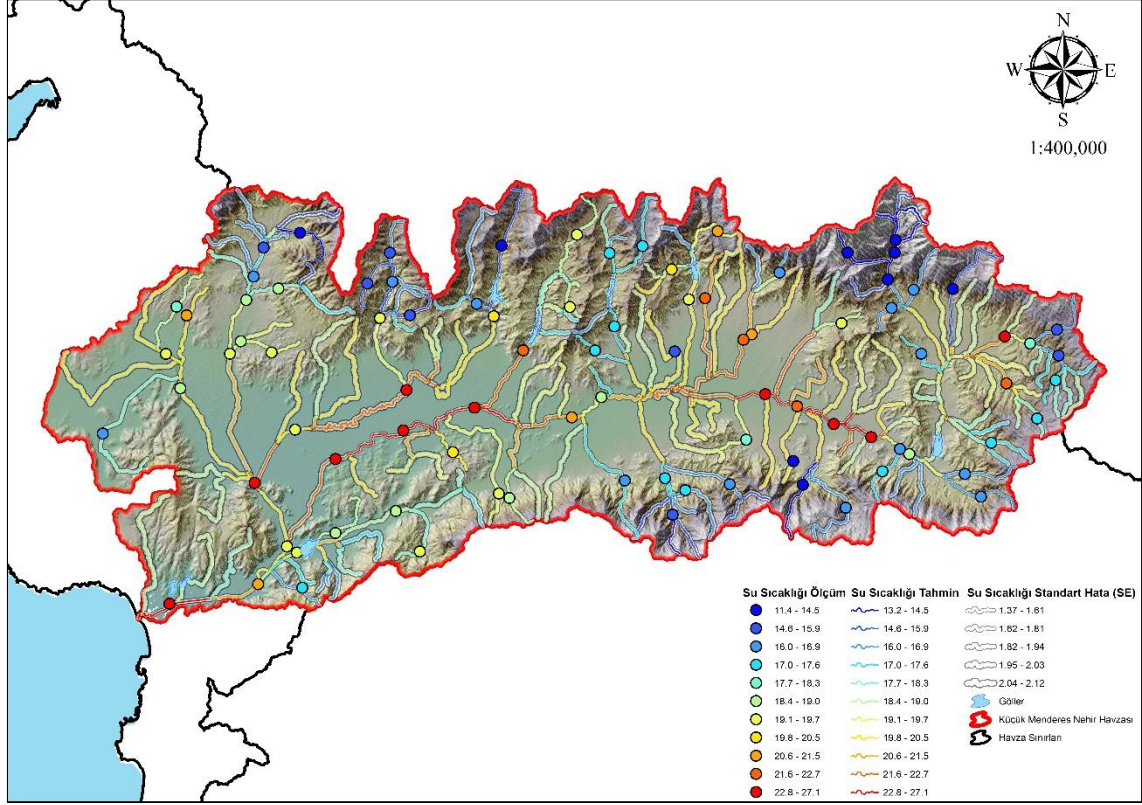
Model	Varyans Bileşenleri	Katkı Fonksiyonu	AIC	bias	RMSPE	cov.90	cov.95
su_sicaklik ~ egim + kum_alan	Exponential.taildown+Nugget	afvArea	387.7	-0.023	1.985	0.895	0.919
	LinearSill.taildown+Nugget	afvArea	388.8	-0.006	2.012	0.884	0.954
	Mariah.taildown+Nugget	afvArea	389.1	-0.002	2.022	0.872	0.919
	Spherical.taildown+Nugget	afvArea	387.9	-0.016	1.992	0.884	0.954
	Epanech.taildown+Nugget	afvArea	387.9	-0.021	1.994	0.907	0.942
	Spherical.taildown+Nugget	afvCN	387.9	-0.016	1.992	0.884	0.954
	Exponential.taildown+Nugget	afvCN	387.7	-0.023	1.985	0.895	0.919
	LinearSill.taildown+Nugget	afvCN	388.8	-0.006	2.012	0.884	0.954
	Mariah.taildown+Nugget	afvCN	389.1	-0.002	2.022	0.872	0.919
	Epanech.taildown+Nugget	afvCN	387.9	-0.021	1.994	0.907	0.942

Model seçimi kapsamında, Tablo 5.7’de verilen model kombinasyonları arasında katkı fonksiyonunun modeller üzerinde bir etkisi olmamakla beraber varyans bileşeni Exponential.taildown+Nugget olarak belirlenmiştir. Seçilen model üzerinde, veri setindeki rassal etkiler yani mekânsal ortak değişkenlerin %47, taildown modelinin %39 ve külçe etkisinin %14 oranında etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. LOOCV çapraz doğrulama model performans değerlendirmesine göre elde edilen ölçüm-tahmin ve standart hata grafikleri Şekil 5.20’de verilmektedir.



Şekil 5.20. *Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı LOOCV çapraz doğrulama grafikleri*

Su sıcaklığı parametresi için Şekil 5.20’de yer alan ölçüm – tahmin değerleri grafiğinde RMSPE değerleri hesaplanmış olup **2.0** olarak tespit edilmiştir. Küçük Menderes Nehir Ağı, üzerinde tahminlenen su sıcaklığı parametresine ilişkin oluşturulan harita Şekil 5.21’de verilmektedir.



Şekil 5.21. Küçük Menderes Nehir Ağı su sıcaklığı tahmin haritası

Küçük Menderes Nehri’nde gerçekleştirilen su sıcaklığı ölçümleri nehir ağı boyunca bölgesel değişkenlikler göstermekle beraber modelin tahmin sonuçlarının uygun olduğu görülmektedir.

5.2. Çoruh Nehir Ağı Mekânsal İstatistik Modeli

Çoruh Nehir Ağı üzerinde 224 noktada ölçümü gerçekleştirilen su kalitesi verisi bulunmaktadır. Bu veriler, su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, pH, tuzluluk, iletkenlik, klorür ve alkalinite parametreleridir. Mekânsal istatistik modellerin temelinde yer alan otokorelasyon, nehir ağı üzerindeki hidrolojik mesafeler belirlenerek her bir parametre için araştırılmıştır.

5.2.1. Hidrolojik mesafe matrisleri

Topolojik ilişkileri kurularak hidrolojik sürekliliği sağlanmış dendritik bir ağ yapısına getirilen Çoruh Nehir Ağı üzerindeki ölçüm ve tahmin noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi hesaplanmıştır. Burada, 224 noktada alınan ölçümler için 224x224'lük hidrolojik mesafe matrisi (Tablo 5.8) ortaya çıkmaktadır. Her bir kenar verisini temsil edecek şekilde konumlandırılan tahmin noktaları için ise 1023x1023'lük bir matris (Tablo 5.9) oluşmaktadır.

Tablo 5.8. Çoruh Nehir Ağı ölçüm noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi

	dist.net1.2	dist.net1.3	dist.net1.5	dist.net1.6	dist.net1.7	· · ·
2	0	4974.369137	16501.15195	349.655617	0	· · ·
3	120319.8704	0	117618.8573	108640.9442	108042.0686	· · ·
5	19202.16501	4974.369137	0	7523.2389	6924.363264	· · ·
6	12028.58172	4974.369137	16501.15195	0	0	· · ·
7	12277.80174	4974.369137	16501.15195	598.875636	0	· · ·
8	109543.7508	4974.369137	106842.7378	97864.82473	97265.94909	· · ·
9	24616.27949	4974.369137	21915.26643	12937.35338	12338.47775	· · ·
10	111548.3869	4974.369137	108847.3739	99869.46081	99270.58518	· · ·
·	·	·	·	·	·	· · ·
·	·	·	·	·	·	· · ·
·	·	·	·	·	·	· · ·

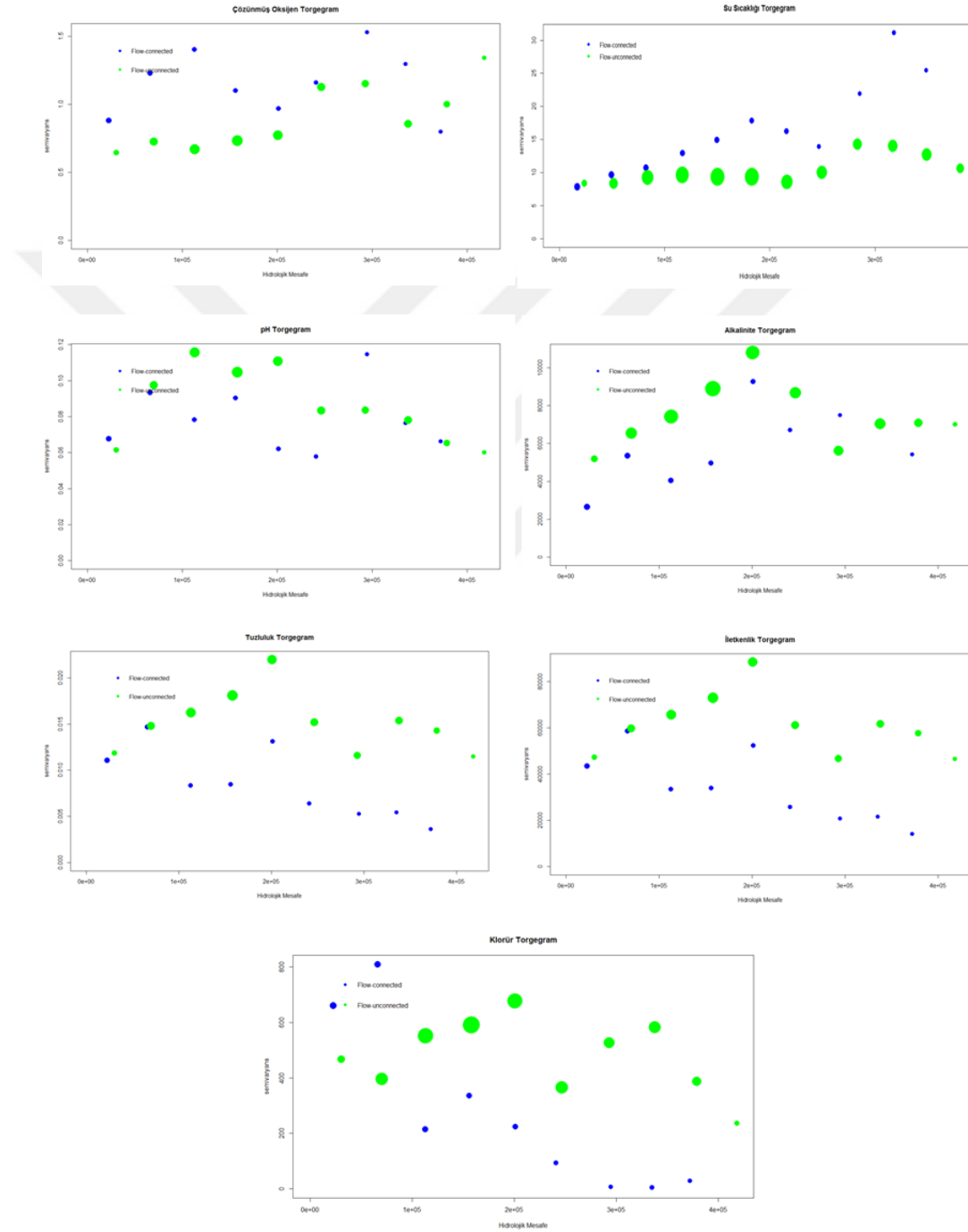
Tablo 5.9. Çoruh Nehir Ağı tahmin noktalarına ait hidrolojik mesafe matrisi

	225	226	227	228	229	230	·	·	·
225	0	4759.374	135.0125	0	0	3130.09	·	·	·
226	3425.031	0	0	0	0	3130.09	·	·	·
227	3425.031	4624.362	0	0	0	3130.09	·	·	·
228	6884.26	8218.603	3594.241	0	0	3130.09	·	·	·
229	11786.41	13120.76	8496.394	4902.153	0	5197.494	·	·	·
230	9719.009	11053.35	6428.991	2834.749	0	0	·	·	·
231	27024.52	28358.86	23734.5	20140.26	15238.11	20435.6	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·

Çoruh nehir havzası, içerisinde 2 farklı nehir ağını barındırmaktadır. Bunlardan biri bilindiği üzere adını havzaya veren Çoruh Nehri, diğeri ise Machael Çayı'nın Türkiye sınırını terkettiği kısımdır. Machael Çayı ülke sınırları dışında Çoruh Nehrine katılarak Batum'dan denize dökülmektedir.

5.2.2. Torgegramlar

Çoruh Nehir Ağı üzerinde hesaplanan hidrolojik mesafeler ve akış yönlerine göre memba mansap ilişkilerinin kullanılarak oluşturulan veri çiftlerine ait semivaryans değerlerinin özel bir gösterimi olan Torgegram grafikleri oluşturulmuştur. Söz konusu grafikler, her bir su kalitesi parametresi özelinde ortaya koyulmuştur (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Çoruh Nehir Ağı su kalitesi parametrelerine ilişkin torgegramlar

Çoruh Nehir Ağında, mevcut ölçüm noktaları kapsamında azami hidrolojik mesafe yaklaşık 399.700 metre olmaktadır. Tahmin noktaları kapsamında ise bu değer yaklaşık 414.000 metreyi bulmaktadır. Keşifsel veri analizi kapsamında torgegramların oluşturulması için uygulanan maksimum lag değeri 450.000 metre seçilerek tüm ölçüm noktaları bazında otokorelasyon araştırılmıştır. Şekil 5.22’de görüleceği üzere; tuzluluk, iletkenlik, pH ve klorür parametrelerine ait akış bağlantılı veri çifti grupları mesafeye bağlı olarak mekânsal otokorelasyon göstermemektedir. Bununla beraber, çözünmüş oksijen, su sıcaklığı ve alkalinite parametreleri için farklı mesafelerde sonlanacak şekilde mekânsal otokorelasyona sahip olduğu görülmektedir.

5.2.3. Mekânsal ortak değişkenler

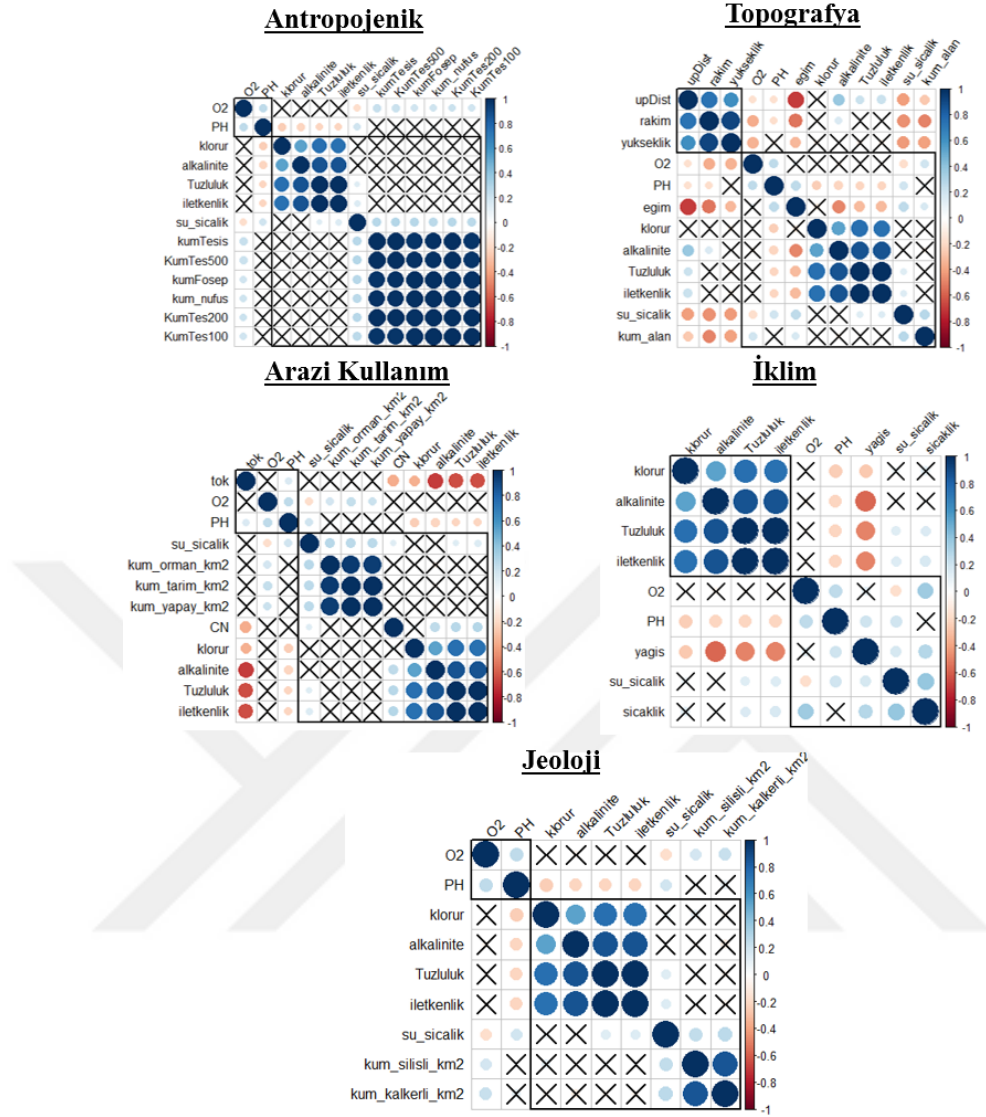
Çoruh Nehir Havzası için temin edilen mekânsal veri setleri Küçük Menderes nehir havzasında olduğu gibi her bir kenara ait su toplama alanı, kümülatif su toplama alanı ve yukarı riparyan bölge ölçeğinde değerlendirilmiştir. Tablo 5.3’te yer alan mekânsal veri setleri altındaki yer alan ortak değişkenler Çoruh Havzası özelinde CBS ortamında gerçekleştirilen sorgu ve analizler ile değerlendirilmiştir.

Çoruh Nehir Ağı mekânsal istatistik modelinde kullanılacak ortak değişkenlerin belirlenmesi kapsamında 20 farklı mekânsal değişken üzerinde 3.5. bölümde belirtilen yöntemler dahilinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

5.2.3.1. Korelogramlar

Mekânsal veri setleri kapsamında belirlenen mekânsal değişkenler ile su kalitesi bağımsız değişkenleri arasında Tablo 5.3.’te verilen isimlendirmeler kullanılarak 5 farklı veri seti grubuna ilişkin korelogram grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 5.23).

Şekil 5.23’te görüleceği üzere negatif (-1) ve pozitif (+1) değerleri arasında değişen kırmızıdan maviye doğru değişmekte olan renkler; korelogramda yer alan değişkenler arası durağanlığın tespiti için görsel bir saptama sunmaktadır. 0’a yaklaşan değerler mekânsal durağanlığın olmadığını, -1 veya +1’e yaklaşan değerler ise artan kuvvetlerde durağanlığı göstermektedir. %95’lik güven aralığı dışında kalan ilişkili parametreler üzeri çarpı şeklinde çizilerek görselleştirilmiştir.



Şekil 5.23. Çoruh Nehir Ağı su kalitesi parametrelerine ilişkin korelogramlar

Tüm korelogramlarda yer alan su kalitesi parametreleri arasındaki ilişkilerden de görüleceği üzere alkalinite, tuzluluk ve iletkenlik parametreleri aralarında $+0,85 - +1,0$ arasında değişen r (korelasyon katsayısı) değerlerine sahip çok kuvvetli düzeyde korelasyon görülmektedir.

Antropojenik mekânsal değişkenleri temsil eden korelogramda çözülmüş oksijen, su sıcaklığı parametreleri kumTesis, KumTes500, KumTes200, KumTes100, kumFosep ve kum_nufus değişkenleriyle pozitif negatif yönde yaklaşık $+0,2 - +0,3$ r değerine sahip zayıf bir ilişki olduğu görülmektedir.

Topografik mekânsal değişkenler; rakim, yukseklik, egim, kum_alan ve upDist ile çözünmüş oksijen arasında -0,17 - +0,34 arasında değişen r değerlerinde zayıf bir ilişki tespit edilmektedir. Alkalinite ile egim arasında -0,48 r değerinde negatif yönlü bir ilişki görülmektedir. Su sıcaklığı açısından upDist, yukseklik ve rakim parametreleri, -0,45 r değeri de negatif yönlü bir ilişkiyi göstermektedir. Bunların dışında, alkalinite ile egim arasında -0,48 r değerinde bir ilişki görülmektedir.

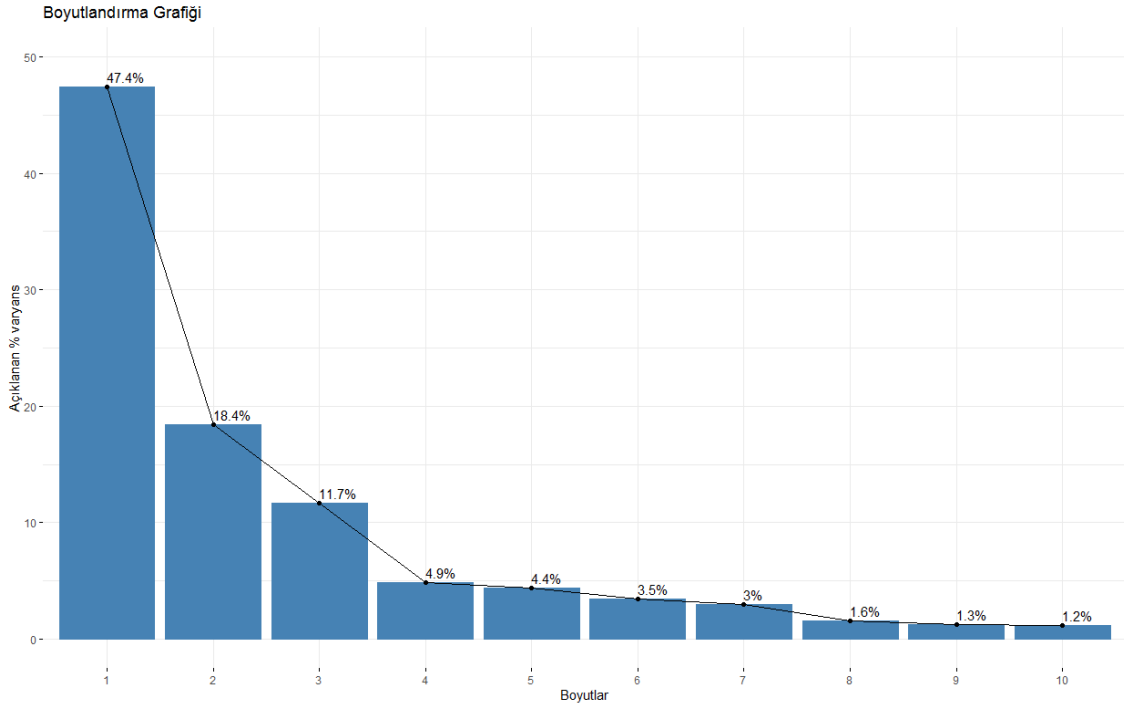
Arazi Kullanımı mekânsal veri seti altında yer alan kum_yapay, kum_tarim, kum_orman, CN ve tok değişkenleri ile en kuvvetli ilişki su_sicaklik ile kum_orman arasında +0,27 r değerinde pozitif yönlüdür. Çözünmüş oksijen parametresi ile kum_yapay, kum_tarim ve kum_orman parametreleri arasında tespit edilen ilişki ise 0,18 – 0,23 r değerindedir. Alkalinite parametresi ile tok parametresi arasında -0,70 r değerinde negatif yönde kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Bununla birlikte, kum_yapay, kum_tarim ve kum_orman değişkenlerinin birbirine çok yakın r değerinde bir eğilim gösterdiği görülmektedir.

Sicaklik ve yagis olarak 2 ayrı iklimsel değişkenler ile su kalitesi parametreleri arasında çok kuvvetli bir ilişki gözlemlenmemiştir. Su sıcaklığı ve sicaklik arasında +0,39 r değerinde pozitif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Alkalinite ile yagis arasında -0,58 r değerinde negatif bir ilişki bulunmaktadır. Jeolojik değişkenlerden kum_silis ve kum_kalker, su sıcaklığı ve çözünmüş oksijen parametresi haricinde 0,95 güven aralığında herhangi ilişki görülmemektedir. Çözünmüş oksijen ve su sıcaklığı açısından ise +0,18 – +0,27 arasında değişen r değerinde ilişkiler gözlemlenmektedir.

5.2.3.2. Temel bileşen analizi

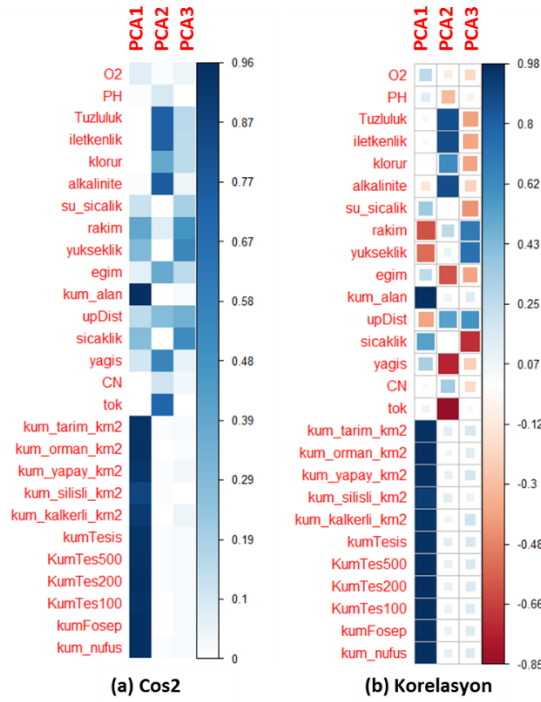
Çoruh Nehir Ağı üzerindeki 224 adet ölçüm ve bu ölçümlerin ilişkilendirildiği mekânsal veri setindeki çoklu değişkenler temel bileşen analizi ile indirgenerek gruplanmıştır. Modele girdi sağlayacak ortak değişkenlerin seçimi kapsamında gerçekleştirilen analiz tüm veri seti ile değerlendirildiğinde mekânsal varyansın maksimum olduğu su kalitesi değişkenlerini birbirinden ayırmaktadır.

27 değişken kullanılarak yapılan temel bileşen analizinde, birinci bileşen için %47,4, ikinci bileşen için %18,4 ve üçüncü bileşen için ise %11,7 olarak veri setini açıklayan varyans görülmektedir. Bileşenlerin açıklanan varyansı gösterildiği grafik Şekil 5.24'te verilmektedir.



Şekil 5.24. Çoruh Nehir Ağı temel bileşen analizi boyutlandırma grafiği

Kümülatif açıklanan varyans %77,6 bir orana karşılık gelmekte olup söz konusu veri setini 3 bileşende incelemek yeterli olmaktadır.



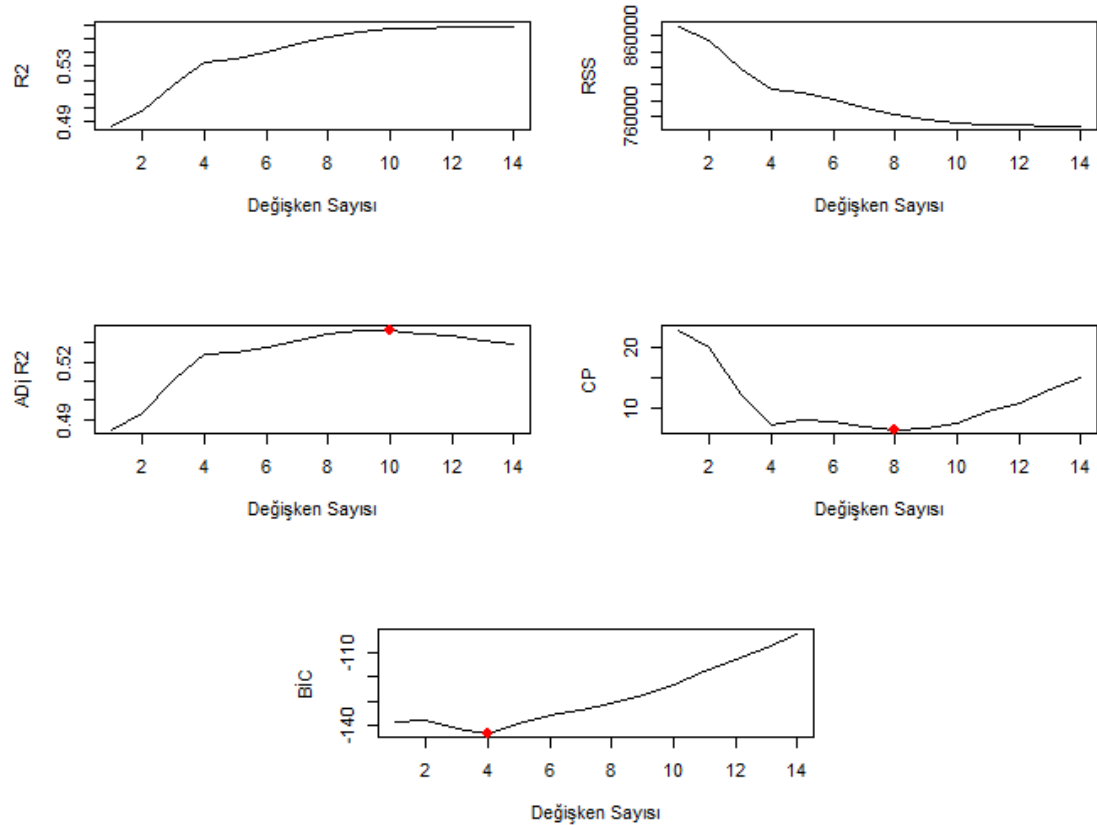
Şekil 5.25. Çoruh Nehir Ağı temel bileşen analizi cos2 (a) ve korelasyon (b) grafikleri

görülmektedir. İkinci kümenin zıttı yönde görülen birinci küme ise pH, su_sicaklik, O2 parametreleriyle birlikte tok, egim, yagis, sicaklik değişkenleriyle korele olduğu görülmektedir. Üçüncü küme olarak kümülatif değişkenler kendi aralarında yüksek derecede korele olarak ayrılmışlardır.

5.2.3.3. Mekânsal ortak değişken seçimi

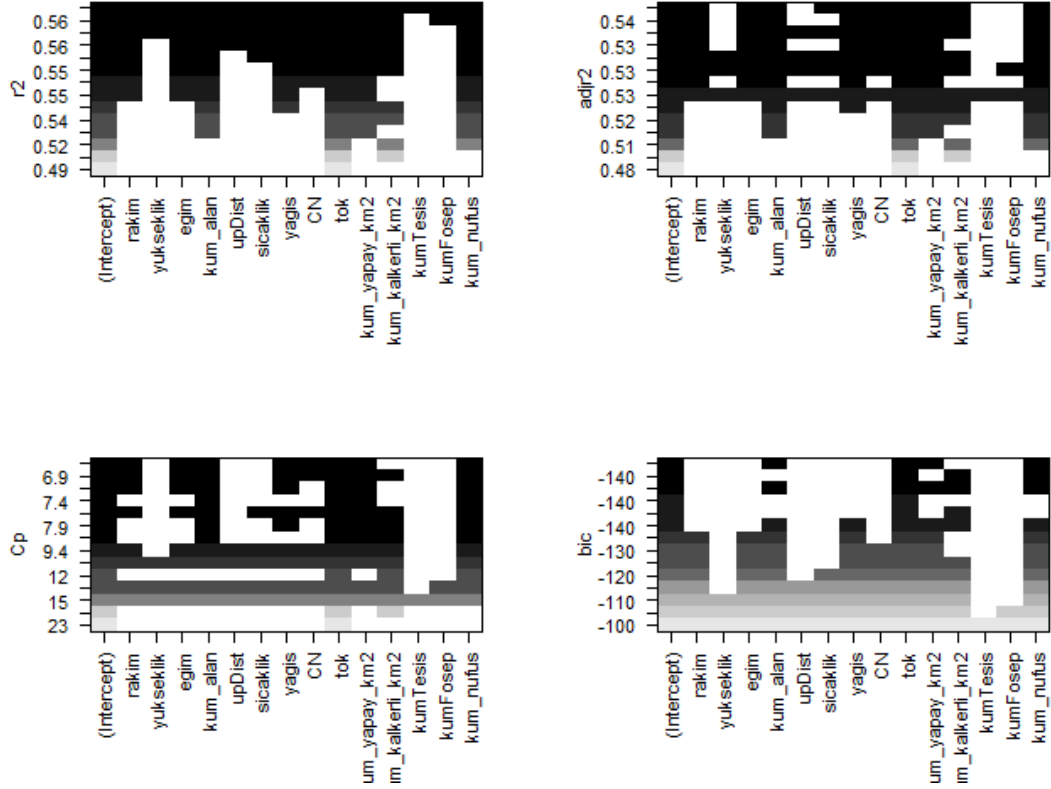
Çoruh Havzası için mekânsal değişkenlerin seçiminde altkümeler kullanılarak en uygun değişkenlerin belirlenmesi için Küçük Menderes Nehir Havzası'nda olduğu gibi leaps and bounds algoritması kullanılmıştır.

Alkalinite parametresi için korelogram ve temel bileşen analizi sonuçları da göz önünde bulundurularak KumTes500, KumTes200, KumTes100, kum_silisli_km2, kum_orman_km2 ve kum_tarim_km2 değişkenleri düşürülmüştür. Böylece, 14 mekânsal değişken üzerinden koşturulan algoritmaya ait sonuçlar Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.27. Çoruh Nehir Ağı alkalinite-leaps and bounds kriterler grafiği

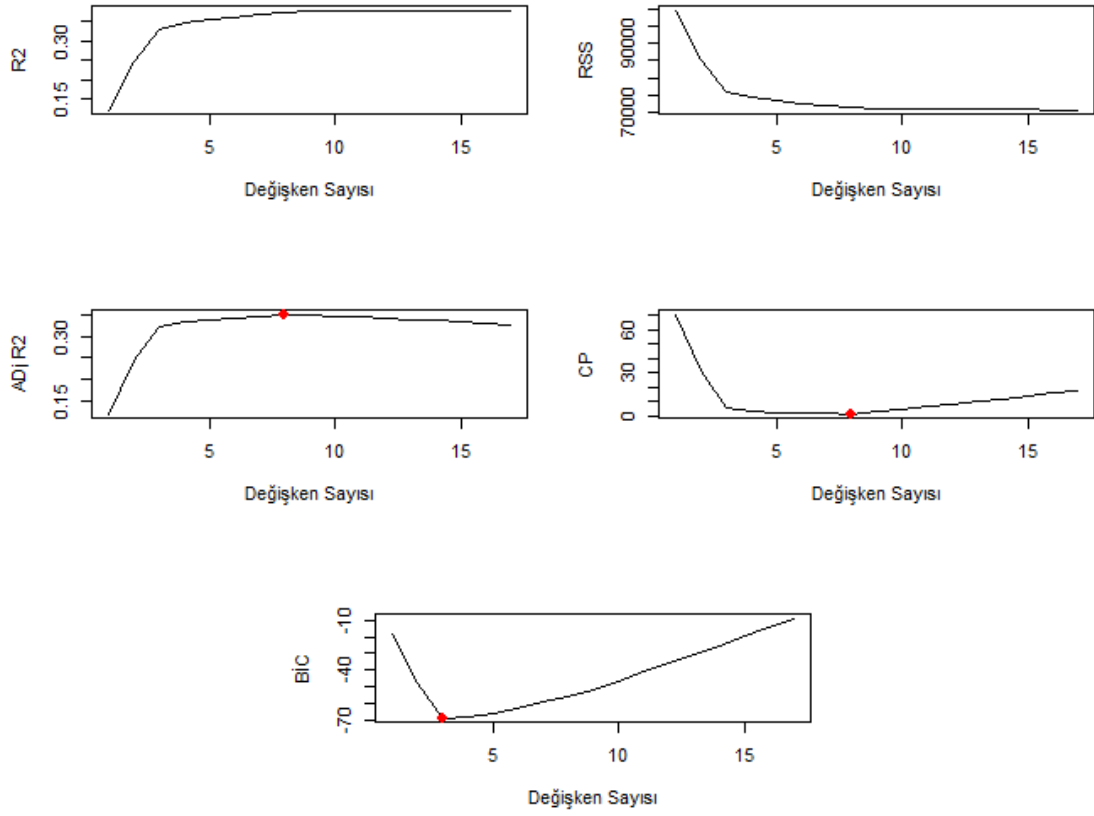
Şekil 5.27’de görüldüğü üzere 5 farklı optimum model kriteri için grafikler oluşturulmuş olup $adjr^2$, cp ve bic kriterlerinin kırılım gösterdikleri maksimum-minimum noktalara karşılık gelen değişken sayıları optimum model parametre sayısını vermektedir. Söz konusu, kriterlerin ortaya koyduğu optimum sayıların değişkenler ve kriterler bazında inceleneceği grafikler üretilmiştir.



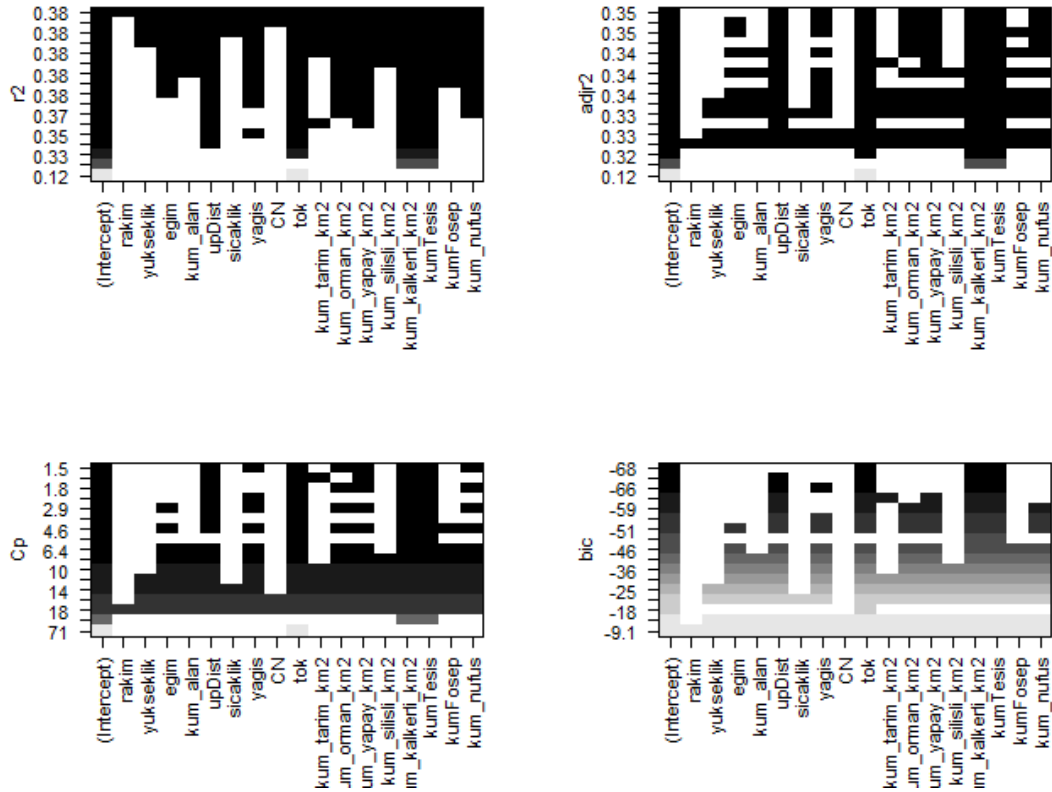
Şekil 5.28. Çoruh Nehir Ağı alkaninite-leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği

Alkaninite için Şekil 5.28’de verilen r^2 , $adjr^2$, cp ve bic kriterleri ile belirlenen 3 değişkenli model kombinasyonu tok, kum_kalkerli_km2 ve kum_nufus mekânsal değişkenlerini içermektedir.

Klorür parametresi için ise KumTes500, KumTes200, KumTes100 değişkenleri düşürülerek 17 farklı değişken üzerinden, optimum model 3 değişkenli model kombinasyonu olarak (Şekil 5.29) belirlenmiştir. Temsiliyet açısından BIC kriterinin de gösterdiği üzere 3 değişkenli model, ortak değişkenlerin seçimi için yeterli olacağı öngörülmektedir.



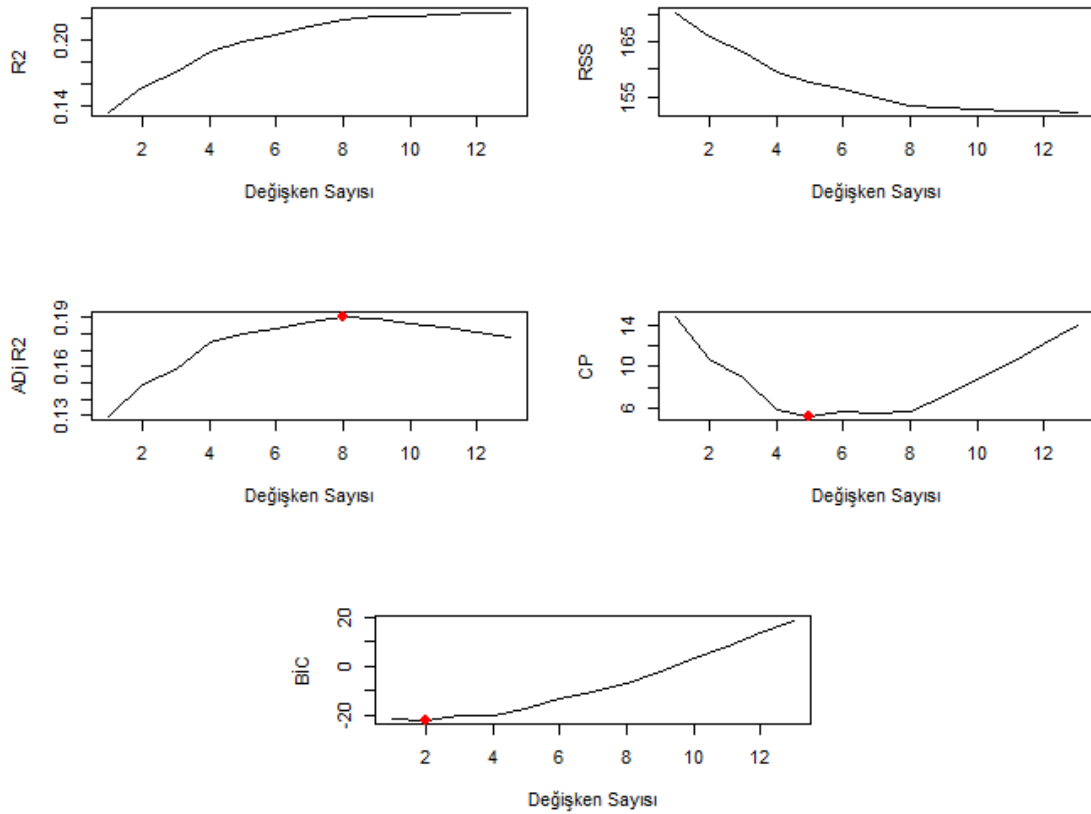
Şekil 5.29. Çoruh Nehir Ağı klorür-leaps and bounds kriterler grafiği



Şekil 5.30. Çoruh Nehir Ağı klorür-leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği

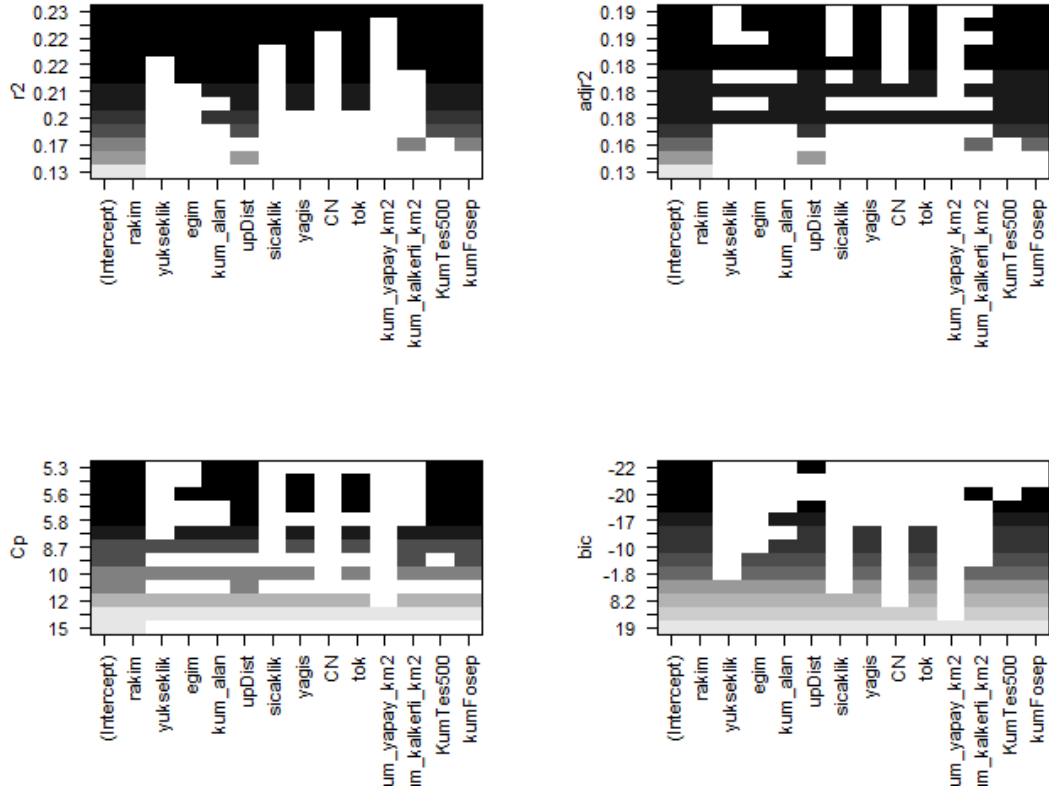
Tok, kum_kalkerli_km2 ve kumTesis mekânsal değişkenleri, klorür parametresi için söz konusu 3 değişkenin optimum ortak değişken olarak belirlenebileceğini göstermektedir (Şekil 5.30).

Çözünmüş oksijen parametresi için 20 değişken üzerinden uygulanan algoritma sonuçları, korelogramlar ve temel bileşen analizi de göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş olup kumTesis, KumTes200, KumTes100, kum_orman_km2, kum_tarim_km2, kum_silisli_km2 ve kum_nufus değişkenleri çıkarılmıştır. Özellikle, söz konusu değişkenler arasında yer alan jeolojik değişkenler; gerek çıkartılan diğer kümülatif değişkenler gibi birbirleri arasında yüksek korelasyon göstermesi ve aynı zamanda kavramsal açıdan da çözünmüş oksijen-mekânsal değişken ilişkisinde sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde Çoruh Nehir Ağı için daha zayıf bir ilişki gösterdiğinden çıkartılmıştır. Kalan 13 değişken ile koşturulan algoritmaya ilişkin sonuçlar Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5.31. Çoruh Nehir Ağı çözünmüş oksijen-leaps and bounds kriterler grafiği

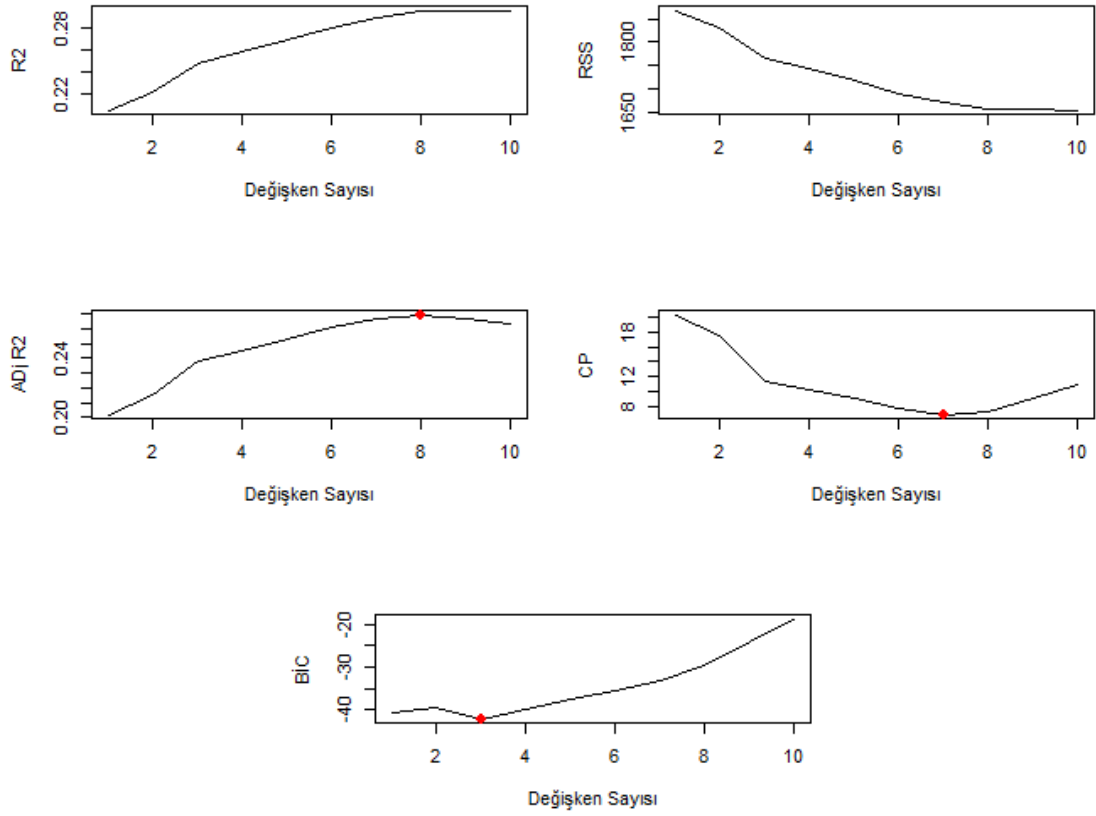
Şekil 5.32’de yer alan değişkenlere karşı kriterler bazında tüm model kombinasyonları göz önüne alındığında rakim, kum_kalkerli_km2 ve kumFosep olarak 3 değişkenin optimum model kombinasyonu olarak kabul edilmiştir.



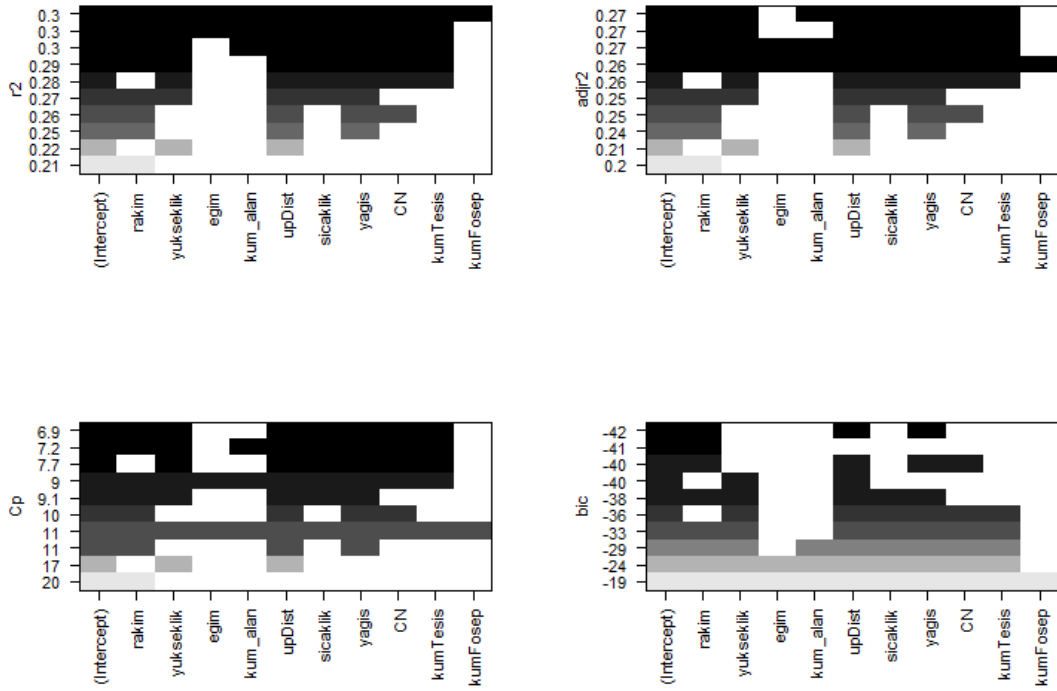
Şekil 5.32. Çoruh Nehir Ağı çözülmüş oksijen-leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği

Su sıcaklığı parametresi için üzerinde etkisi olabilecek 10 mekânsal değişken kullanılarak algoritma koşturulmuştur. Optimum model kriterleri için oluşturulan grafikler Şekil 5.33’te verilmektedir.

Antropojenik etkilerin ve kümülatif değişkenlerin birbirleri arasındaki korelasyonu göz önüne alındığında su sıcaklığı ile kavramsal ilişkisi açısından jeolojik değişkenlerin çıkarılması sonucunda 10 farklı mekânsal değişken optimum değişken modelinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Şekil 5.33 ve 5.34’te yer alan kriterler bazında optimum değişkenler grafiğinde de görüleceği üzere rakim, upDist ve yagis değişkenleri 3 değişkenli optimum model kombinasyonu olarak seçilmiştir.



Şekil 5.33. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı - leaps and bounds kriterler grafiği



Şekil 5.34. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı - leaps and bounds kriterler bazında optimum değişkenler grafiği

5.2.4. Model seçimi ve tahmin

Çoruh Nehir Ağında 224 noktada ölçümü gerçekleştirilen ve önceki başlıklarda bahsi geçen korelogram ve temel bileşen analizi sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda seçilen çözünmüş oksijen, klorür, alkalinite ve su sıcaklığı su kalite parametreleri için mekânsal istatistiksel modellerin oluşturulması R istatistik yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Her bir su kalitesi parametresi kapsamında, AIC ve RMSPE ölçütleri uygun modellerin seçiminde değerlendirilmiştir. Ayrıca, model performanslarının değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt olan LOOCV çapraz doğrulama gerçekleştirilmiştir. Seçilen modeller, nehir ağı modelleri için SSN paketine dahil özelleştirilmiş olan kriging fonksiyonu kullanılarak tahminlenmiştir. Modellerin önemli parametrelerinden biri olan katkı fonksiyonu olarak belirlenen AFV değerleri ile yüzeysel akış eğri numaralarından üretilen katkı fonksiyonu (afvCN) karşılaştırılmıştır.

5.2.4.1. Alkalinite

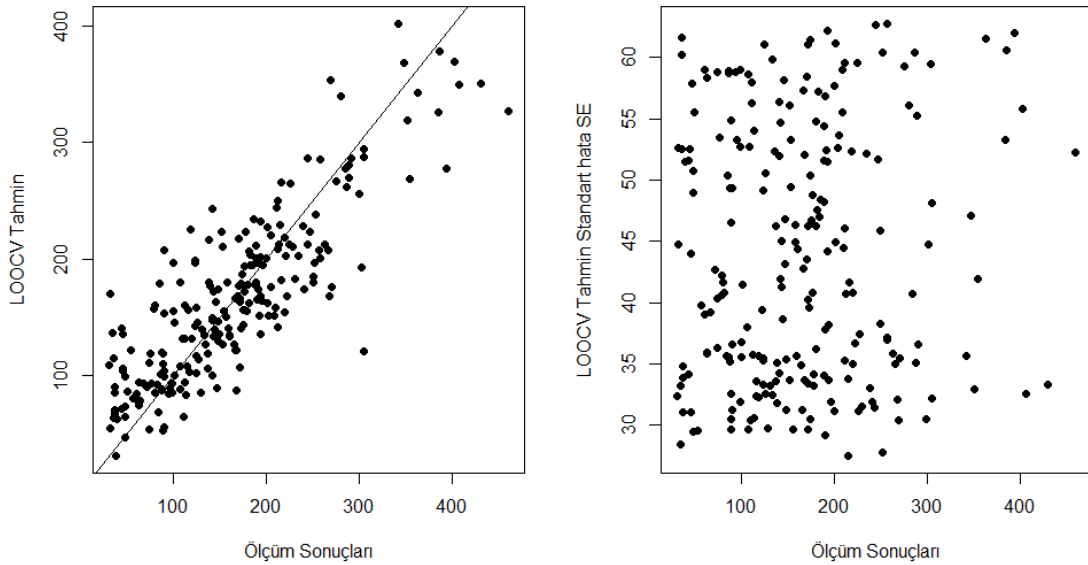
Alkalinite parametresi için Çoruh Nehir Ağı hidrolojik mesafeleri kullanılarak oluşturulan Şekil 5.22’de yer alan Torgegram; akış bağlantılı veri çiftlerinde otokorelasyonun varlığını göstermektedir. Tailup ve taildown modelleri alkalinite parametresi için karma modelin oluşturulması iteratif bir şekilde denenmiştir. Sonuç olarak iki model karma olarak kullanıldığında daha düşük standart hata değerleri verdiği görülmüştür. Mekânsal değişkenler olarak belirlenmiş olan tok, kum_kalkerli_km2 ve kum_nufus arasından karma model içerisinde anlamlılık değeri yüksek olan tok değişkeni kullanılarak model oluşturulmuştur.

Nehir ağlarında hareketli ortalama otokovaryans varyogram modelleri ve iki farklı katkı fonksiyonu arasından seçimin yapılabilmesi için gerçekleştirilen karşılaştırmalarda daha düşük AIC ve RMSPE değeri olan modeller değerlendirilerek seçim gerçekleştirilmiştir (Tablo 5.10).

Tablo 5.10. Çoruh Nehir Ağı alkalinite parametresi model seçimi

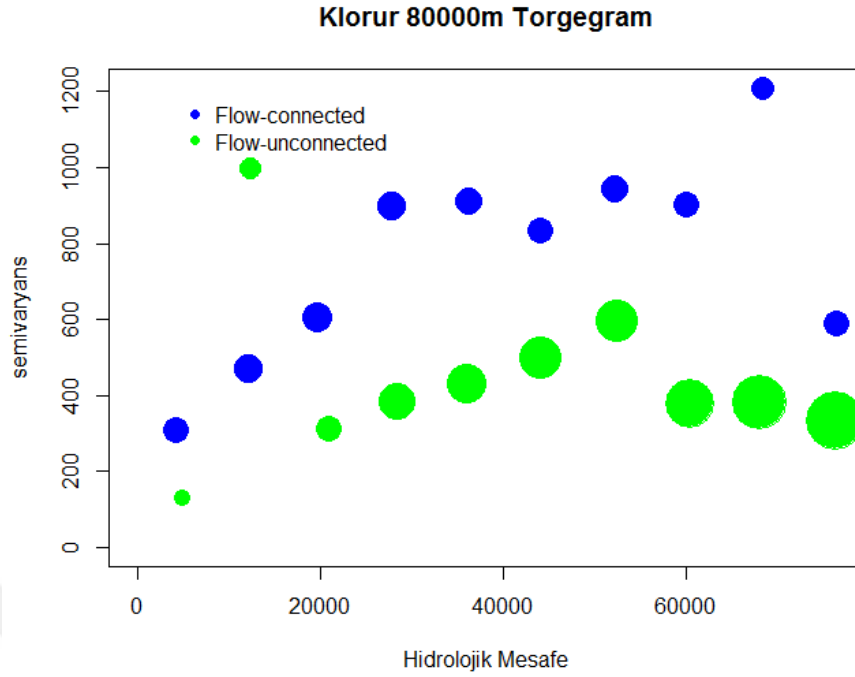
Model	Varyans Bileşenleri	Katkı Fonksiyonu	AIC	bias	RMSPE	cov.90	cov.95
alkalinite ~ tok	Exp.tailup + Exp.taildown+Nugget	afvArea	2359	2.175	45.81	0.895	0.951
	LinearSill.tailup + LinearSill.taildown+Nugget	afvArea	2364	1.982	46.88	0.872	0.946
	Mariah.tailup + Mariah.taildown+Nugget	afvArea	2360	2.302	46.16	0.872	0.955
	Spherical.tailup + Spherical.taildown+Nugget	afvArea	2359	2.254	45.98	0.895	0.941
	Epanech.tailup + Epanech.taildown+Nugget	afvArea	2360	2.257	46.15	0.861	0.937
	Spherical.tailup + Spherical.taildown+Nugget	afvCN	2359	2.265	45.93	0.895	0.941
	Exp.tailup + Exp.taildown+Nugget	afvCN	2358	2.186	45.75	0.884	0.951
	LinearSill.tailup + LinearSill.taildown+Nugget	afvCN	2362	1.79	46.77	0.872	0.941
	Mariah.tailup + Mariah.taildown+Nugget	afvCN	2360	2.252	46.08	0.872	0.955
	Epanech.tailup + Epanech.taildown+Nugget	afvCN	2360	2.254	46.11	0.861	0.937

Alkalinite parametresi için Tablo 5.10’da verilmekte olan varyans bileşenleri arasında Exp.tailup+Exp.taildown+Nugget karma bileşenleri ile afvCN katkı fonksiyonu en uygun model olarak seçilmiştir. Veri setindeki rassal etkiler yani mekânsal ortak değişkenlerin seçilen model üzerinde %8, taildown modelinin %50, tailup modelinin %34 ve külçe etkisinin %7 oranında etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. LOOCV çarpaz doğrulama model performans değerlendirmesine göre elde edilen ölçüm-tahmin ve standart hata grafikleri Şekil 5.35’te verilmektedir.



Şekil 5.35. Çoruh Nehir Ağı alkalinite LOOCV çarpaz doğrulama grafikleri

Alkalinite parametresi için modelin verimini açıklayabilmek açısından grafikte yer alan ölçüm – tahmin değerleri arasında RMSPE hesaplanmış olup **45,8** olarak tespit edilmiştir. Çoruh Nehir Ağı, topolojik ilişkileri ve hidrolojik mesafeleri üzerinden



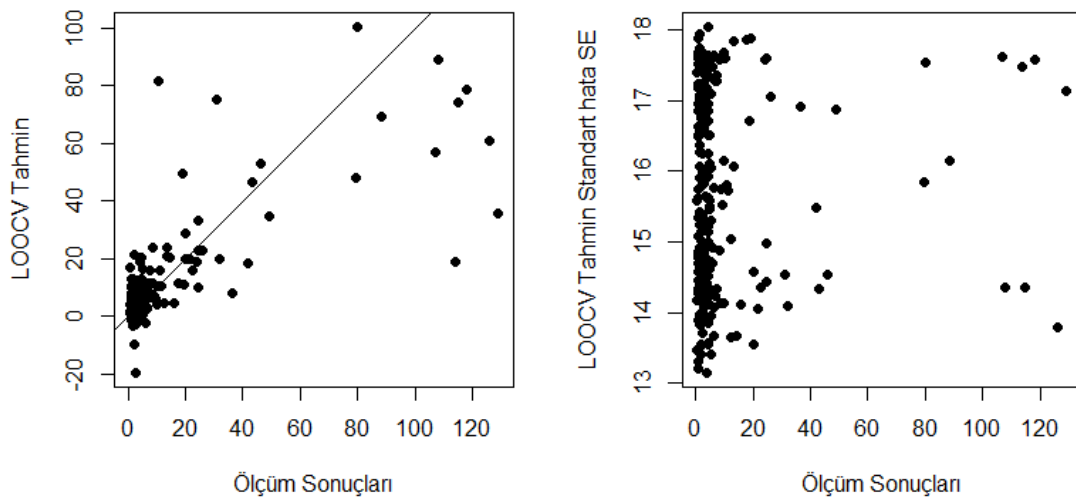
Şekil 5.37. Çoruh Nehir Ağı klorür - 80000 m lag mesafeli torgegram

Taildown modeli daha düşük eşik değerine sahip olmasından dolayı düşürülerek tailup modeli ve belirlenmiş olan tok, kum_kalkerli_km2 ve kumTesis ortak değişkenleri kullanılarak model koşturulmuştur. Tablo 5.11’de model seçimine yönelik karşılaştırmalar verilmektedir.

Tablo 5.11. Çoruh Nehir Ağı klorür parametresi model seçimi

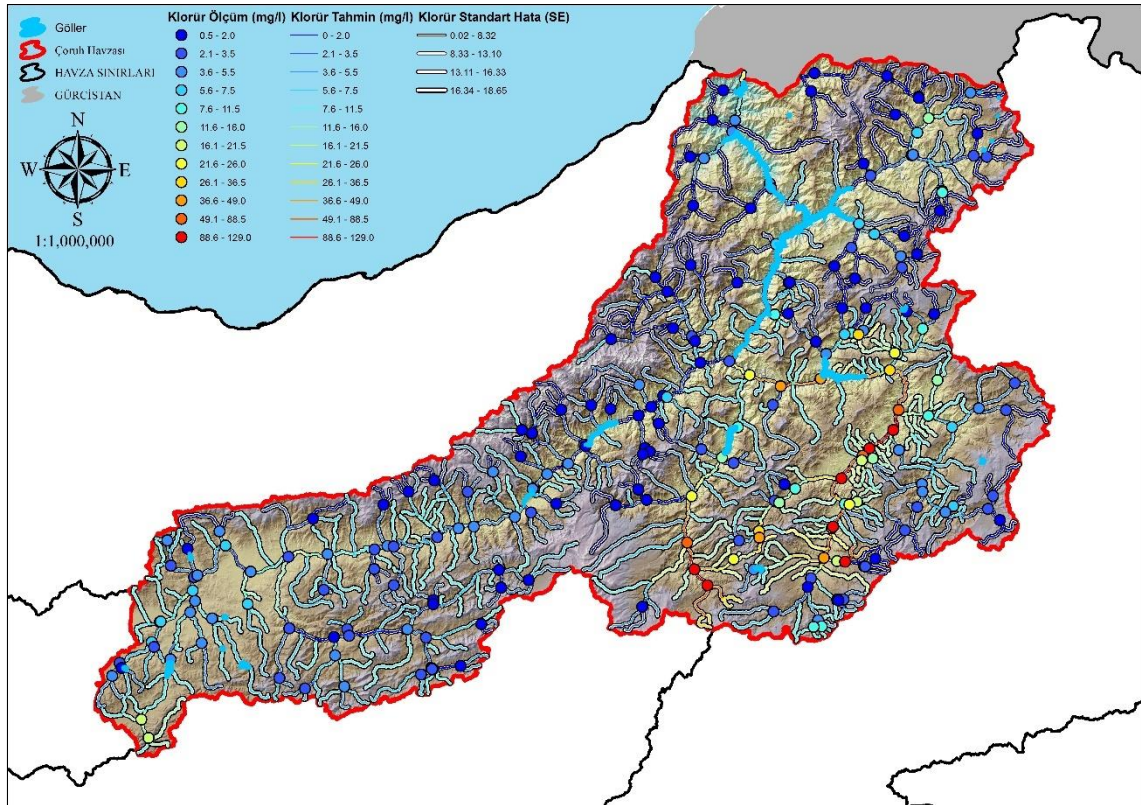
Model	Varyans Bileşenleri	Katkı Fonksiyonu	AIC	bias	RMSPE	cov.90	cov.95
klorur ~ tok + kum_kalker + kumTesis	Exponential.tailup+Nugget	afvArea	1898	0.2954	14.3	0.951	0.955
	LinearSill.tailup+Nugget	afvArea	1898	0.2821	14.3	0.951	0.955
	Mariah.tailup+Nugget	afvArea	1894	0.2908	14.9	0.942	0.946
	Spherical.tailup+Nugget	afvArea	1898	0.2874	14.3	0.951	0.96
	Epanech.tailup+Nugget	afvArea	1898	0.2816	14.3	0.951	0.96
	Spherical.tailup+Nugget	afvCN	1898	0.2875	14.3	0.951	0.96
	Exponential.tailup+Nugget	afvCN	1898	0.2954	14.3	0.951	0.96
	LinearSill.tailup+Nugget	afvCN	1898	0.2822	14.3	0.951	0.96
	Mariah.tailup+Nugget	afvCN	1894	0.2903	14.9	0.942	0.946
	Epanech.tailup+Nugget	afvCN	1898	0.282	14.3	0.951	0.96

Model seçimi neticesinde, Tablo 5.4'te verilmekte olan varyans bileşenleri arasında Mariah.tailup + Nugget bileşeni düşük AIC kriterine istinaden en uygun model olarak seçilmiştir. Aynı zamanda, katkı fonksiyonları arasında bir farklılık görünmediğinden afvCN katkı fonksiyonun dahil olduğu model ile devam edilmiştir. Veri setindeki rassal etkiler yani mekânsal ortak değişkenlerin seçilen model üzerinde %11, tailup modelinin %89 oranında etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. LOOCV çapraz doğrulama model performans değerlendirmesine göre elde edilen ölçüm- tahmin ve standart hata grafikleri Şekil 5.38'de verilmektedir.



Şekil 5.38. Çoruh Nehir Ağı klorür LOOCV çapraz doğrulama grafikleri

Klorür parametresi için modelin verimini açıklayabilmek açısından grafikte yer alan ölçüm – tahmin değerleri arasında RMSPE hesaplanmış olup **14,9** olarak tespit edilmiştir. Ancak, uydurulan model kapsamında Şekil 5.38’de görüldüğü üzere bazı tahmin noktalarında eksi değerlerde ölçümler gözlemlenmektedir. Çoruh Nehir Ağı, üzerinde tahminlenen klorür parametresine üretilen tahmin ve standart hata değerlerinin gösterildiği harita Şekil 5.39’da verilmektedir.



Model sonuçları incelendiğinde, Çoruh Nehri'nin membası ve ana kolu boyunca klorür değerlerinin çok düşük seviyeler yer aldığı gözlemlenmektedir. Alkalinite parametresinde olduğu gibi havzanın güney doğusunda kalan Erzurum ili Tortum, Narman ve Oltu ilçelerinden geçmekte olan nehir ağı üzerinde yüksek değere sahip ölçüm noktalarının kısa hidrolojik mesafelerde değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Ölçüm noktalarının üzerinde bulunduğu kolları besleyen yan kollardaki tahmin değerlerinin ölçüm sonuçlarından daha düşük değerlerde tahmin edildiği ortaya koyulmaktadır. Tok, kum_kalkerli_km2 ve kumTesis değişkenlerini de dahil edildiği model klorür tahminlerinde diğer parametrelere göre daha az başarılı bir uyum göstermektedir.

5.2.4.3. Çözünmüş oksijen

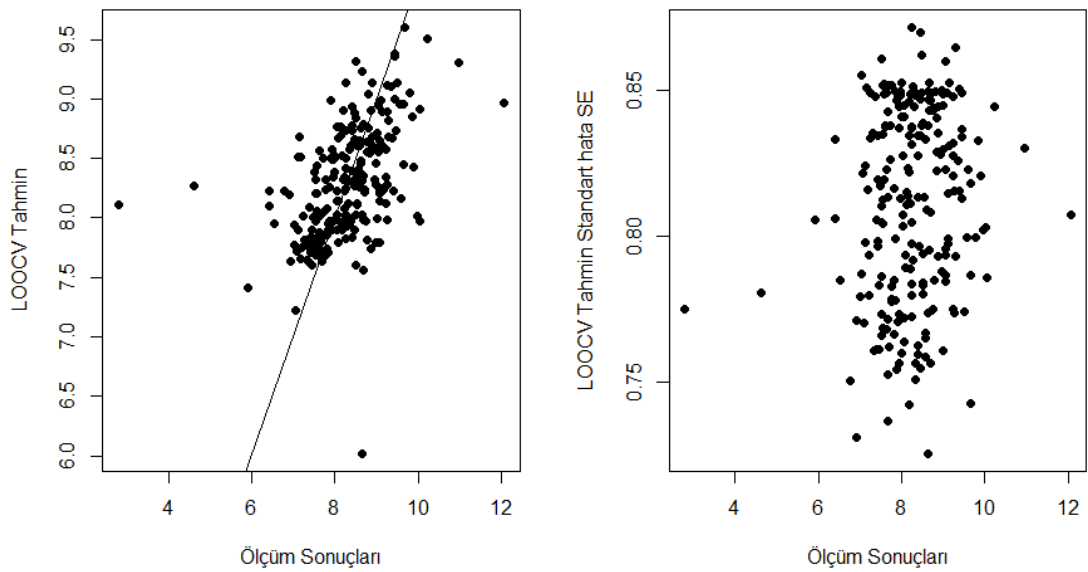
Çözünmüş oksijen parametresi için oluşturulan Şekil 5.22’de yer alan Torgegramda görüldüğü üzere 100.000 metreye varan hidrolojik mesafelerde akış bağlantılı veri çiftlerinde otokorelasyonun varlığı gözlemlenmektedir. Model seçiminde, taildown modeli daha düşük eşik değerine sahip olmasından dolayı düşürülerek tailup modeli seçilmiştir. Ayrıca, mekânsal ortak değişkenlerin seçimi kapsamında uygun olarak

belirlenen rakim, kum_kalker, kumFosep ortak değişkenleri tailup modeli ile birlikte kullanılmıştır. Tablo 5.12’de model seçimine yönelik karşılaştırmalar verilmektedir.

Tablo 5.12. Çoruh Nehir Ağı çözülmüş oksijen parametresi model seçimi

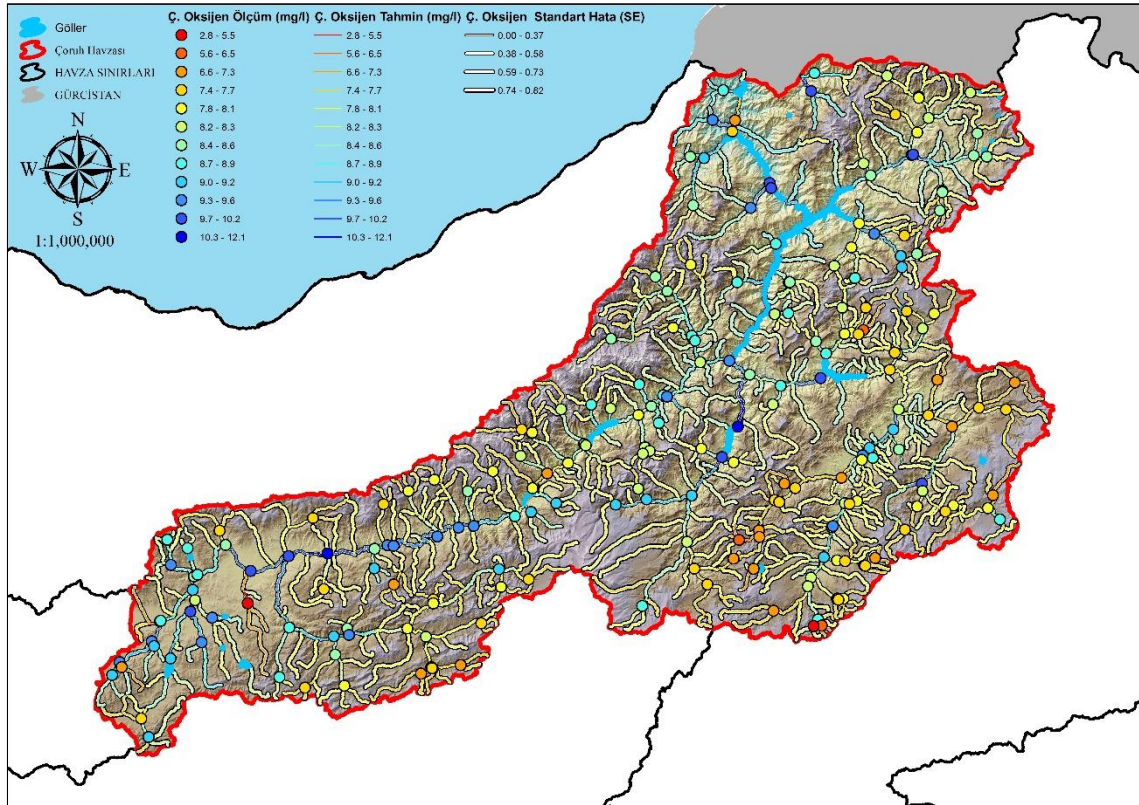
Model	Varyans Bileşenleri	Katkı Fonksiyonu	AIC	bias	RMSPE	cov.90	cov.95
O2 ~ rakim + kum_kalker + kumFosep	Exponential.tailup+Nugget	afvArea	535	-0.003	0.695	0.901	0.937
	LinearSill.tailup+Nugget	afvArea	532	-0.006	0.687	0.892	0.933
	Mariah.tailup+Nugget	afvArea	539	-0.001	0.699	0.906	0.946
	Spherical.tailup+Nugget	afvArea	534	-0.006	0.692	0.892	0.937
	Epanech.tailup+Nugget	afvArea	532	-0.008	0.689	0.883	0.924
	Spherical.tailup+Nugget	afvCN	534	-0.006	0.692	0.892	0.933
	Exponential.tailup+Nugget	afvCN	536	-0.003	0.696	0.91	0.937
	LinearSill.tailup+Nugget	afvCN	532	-0.006	0.687	0.892	0.933
	Mariah.tailup+Nugget	afvCN	539	-0.001	0.699	0.906	0.946
	Epanech.tailup+Nugget	afvCN	533	-0.008	0.69	0.883	0.924

Model seçimi kapsamında, Tablo 5.12’de verilen model kombinasyonları arasında varyans bileşeni LinearSill.tailup+Nugget olarak belirlenmiştir. Katkı fonksiyonu açısından afvCN ve afvArea katkı fonksiyonlarının her ikisinin de aynı AIC ve RMSPE sonuçları verdiği görülmektedir. Seçilen model üzerinde, veri setindeki rassal etkiler yani mekânsal ortak değişkenlerin %15 ve tailup modelinin %85 oranında etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. LOOCV çapraz doğrulama model performans değerlendirmesine göre elde edilen ölçüm-tahmin ve standart hata grafikleri Şekil 5.18’de verilmektedir.



Şekil 5.40. Çoruh Nehir Ağı çözülmüş oksijen LOOCV çapraz doğrulama grafikleri

Çözünmüş oksijen parametresi için Şekil 5.18’de yer alan ölçüm – tahmin değerleri grafiğinde RMSPE hesaplanmış olup **0,7** olarak tespit edilmiştir. Çoruh Nehir Ağı, üzerinde tahminlenen çözünmüş oksijen parametresine üretilen tahmin ve standart hata değerlerinin gösterildiği harita Şekil 5.19’da verilmektedir.



Şekil 5.41. Çoruh Nehir Ağı çözünmüş oksijen tahmin haritası

Model sonuçları incelendiğinde, nehir ağı üzerinde maksimum ve minimum çözülmüş oksijen değerlerinin nispeten tekil olarak dağılım gösterdiği gözlemlenmektedir. Kum_alan ve egim değişkenlerinin de dahil edildiği model söz konusu uç değerlerin tahminlerinde olduğundan düşük değerler vermektedir.

5.2.4.4. Su sıcaklığı

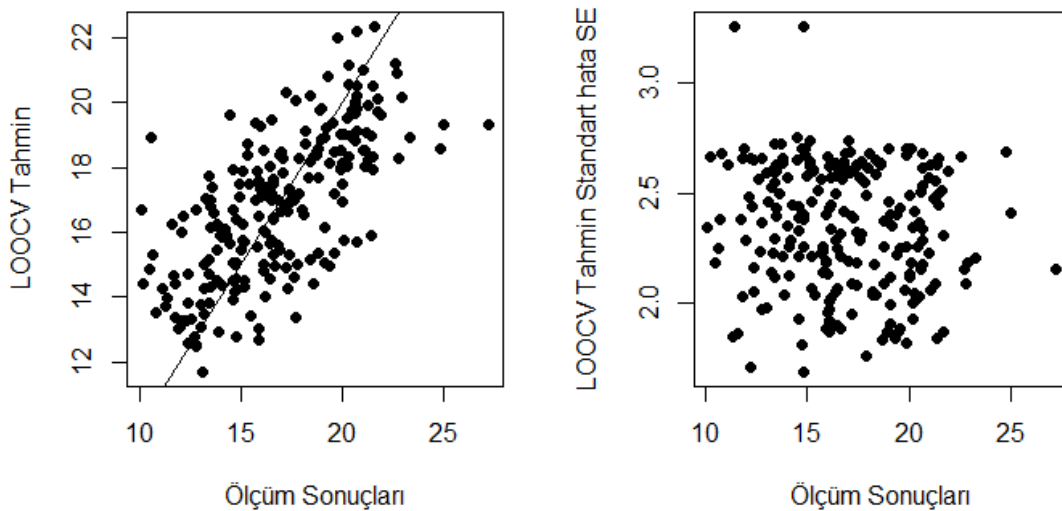
Su sıcaklığı parametresi için oluşturulan Şekil 5.22’de yer alan Torgegramda görüldüğü üzere hidrolojik mesafelerde akış bağlantılı veri çiftlerinde otokorelasyon tespit edilmektedir. Model seçiminde, tailup ve taildown modellerinin karma olarak kullanılmasının varyansı daha iyi açıkladığı görülmüştür. Mekânsal ortak değişkenlerin seçimi kapsamında karma modelde anlamlılık düzeyi en uygun olarak belirlenen rakim

değişkeni modele dahil edilmiştir. Tablo 5.13'te model seçimine yönelik karşılaştırmalar verilmektedir.

Tablo 5.13. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı parametresi model seçimi

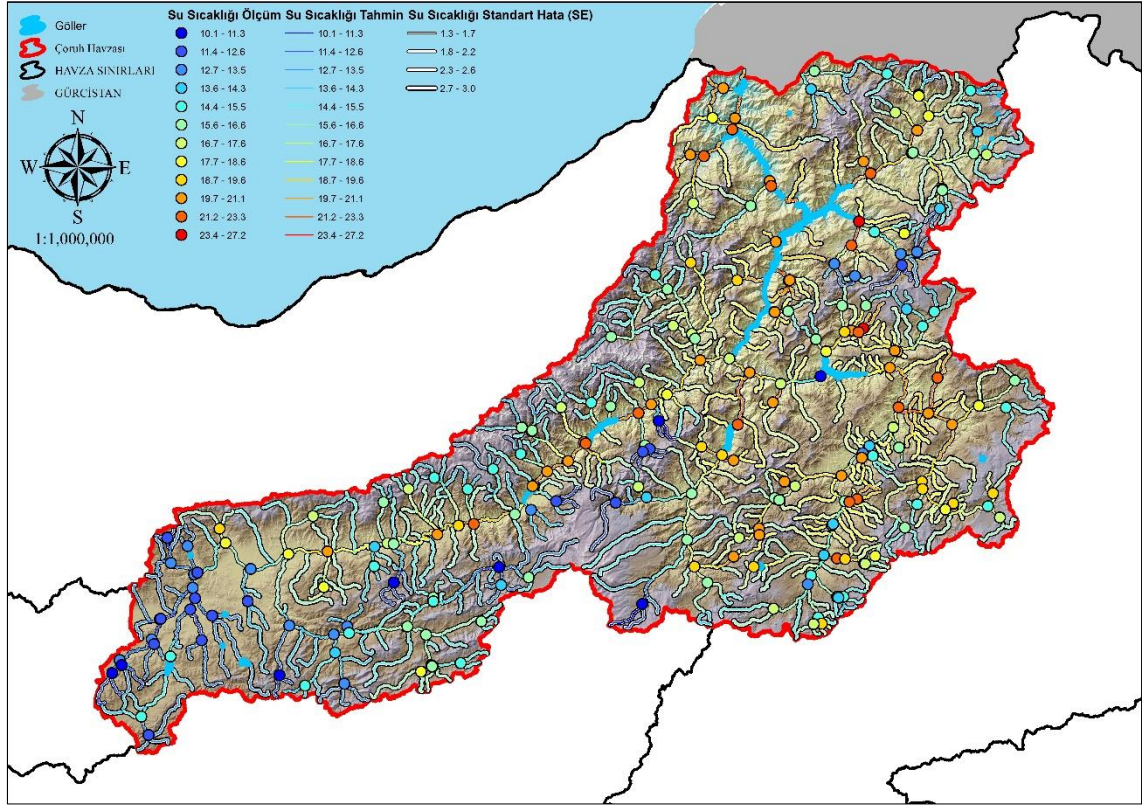
Model	Varyans Bileşenleri	Katkı Fonksiyonu	AIC	bias	RMSPE	cov.90	cov.95
su_sicaklik ~ rakim	Exp.tailup + Exp.taildown+Nugget	afvArea	1070	-9E-04	2.37	0.906	0.96
	LinearSill.tailup + LinearSill.taildown+Nugget	afvArea	1071	0.002	2.36	0.902	0.96
	Mariah.tailup + Mariah.taildown+Nugget	afvArea	1073	0.0041	2.36	0.92	0.964
	Spherical.tailup + Spherical.taildown+Nugget	afvArea	1070	-0.001	2.37	0.906	0.96
	Epanechnikov.tailup + Epanechnikov.taildown+Nugget	afvArea	1070	0.0001	2.38	0.902	0.964
	Spherical.tailup + Spherical.taildown+Nugget	afvCN	1070	-0.001	2.37	0.906	0.96
	Exp.tailup + Exp.taildown+Nugget	afvCN	1070	7E-05	2.37	0.902	0.955
	LinearSill.tailup + LinearSill.taildown+Nugget	afvCN	1071	0.0039	2.38	0.902	0.96
	Mariah.tailup + Mariah.taildown+Nugget	afvCN	1073	0.0041	2.36	0.92	0.964
	Epanechnikov.tailup + Epanechnikov.taildown+Nugget	afvCN	1071	-0.002	2.36	0.902	0.964

Model seçimi kapsamında, Tablo 5.13'de verilen model kombinasyonları arasında katkı fonksiyonunun modeller üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı görülmekle beraber varyans bileşeni Exponential.tailup+Exponential.taildown+Nugget olarak belirlenmiştir. Seçilen model üzerinde, veri setindeki rassal etkiler yani mekânsal ortak değişkenlerin %13, tailup modelinin %40, taildown modelinin %32 ve külçe etkisinin %15 oranında etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. LOOCV çapraz doğrulama model performans değerlendirmesine göre elde edilen ölçüm-tahmin ve standart hata grafikleri Şekil 5.42'de verilmektedir.



Şekil 5.42. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı LOOCV çapraz doğrulama grafikleri

Su sıcaklığı parametresi için şekil 5.42’de yer alan ölçüm-tahmin değerleri grafiğinde RMSPE hesaplanmış olup **2.4** olarak tespit edilmiştir. Çoruh Nehir Ağı, üzerinde tahminlenen su sıcaklığı parametresine üretilen tahmin ve standart hata değerlerinin gösterildiği harita Şekil 5.43’te verilmektedir.



Şekil 5.43. Çoruh Nehir Ağı su sıcaklığı tahmin haritası

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, araştırmacı izleme olarak değerlendirilebilen ve bir döneme ait su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, alkalinite, klorür, tuzluluk, iletkenlik ve pH su kalitesi gösterge parametrelerine ait izleme sonuçları değerlendirilmiştir. Keşifsel veri analizleri neticesinde; Tuzluluk, iletkenlik ve pH verilerine ait Çoruh Nehir Ağı'nda otokorelasyon tespit edilemediğinden olayı 4 parametre için (su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, alkalinite ve klorür) memba mansap ilişkilerini içeren hidrolojik mesafeye bağlı otokorelasyona dayanan nehir ağı modelleri kurulmuştur. Söz konusu modellerle su kalitesi parametreleri bazında mekânsal abiyotik değişkenler üzerinden havzaların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, 4 farklı parametre için nehir ağı üzerinde her bir kolu temsil edecek şekilde tahminleme yapılmıştır.

Çalışmanın bütüncül olarak değerlendirilebileceği model yapılarına ait sonuçlar, tespit edilen otokorelasyonlara ait menzil değerleri ve varyans bileşenlerinin etki oranları Şekil 6.1'de verilmektedir.

Küçük Menderes Nehir Ağı								Çoruh Nehir Ağı							
Model	Kovaryans Bileşenleri	bias	RMSPE	Rassal Varyans Etki	Kovaryans Etki	Külçe Etki	menzil (m)	Model	Kovaryans Bileşenleri	bias	RMSPE	Rassal Varyans Etki	Kovaryans Etki	Külçe Etki	menzil (m)
alkalinite ~ sıcaklık + CN + kum_silis + KumTes500	LinearSill.tailup + Nugget	-2,977	72,97	39%	61%		34.532	alkalinite ~ tok + Nugget	Expl.tailup + Exp.taildown + Nugget	2,186	45,75	8%	84%	7%	144.995
klorur ~ egim + kum_yapay	LinearSill.tailup + Nugget	-0,8614	23,91	75%	25%		9.945	klorur ~ tok + kum_kalker + kumTesis	Mariah.tailup + Nugget	0,2903	14,91	11%	89%		30.270
O2 ~ kumTesis	LinearSill.taildown + Nugget	0,029	1,51	52%	41%	7%	9.582	O2 ~ rakim + kum_kalker + kumFosep	LinearSill.tailup + Nugget	-0,006	0,687	15%	85%		18.635
su_sıcaklık ~ egim + kum_alan	Exp.taildown + Nugget	0,022638	1,985	47%	39%	14%	26.413	su_sıcaklık ~ rakim + Nugget	Exp.tailup + Exp.taildown + Nugget	0,000074	2,37	13%	72%	15%	51.633

Şekil 6.1. Parametre ve nehir ağı bazında karşılaştırmalı model sonuçları

Mekansal veri yapılarının kullanıldığı nehir ağı modelleri; her bir kovaryans bileşeni, rassal varyansın etkisi ve otokorelasyon menzil sonuçları açısından nehir ağlarında ilgili su kalitesi parametreleri hakkında yeni mekânsal bilgilerin üretimini sağlamıştır.

Özetle sonuçlar, iki farklı karakteristikte olan havza yapılarının su kalitesi üzerindeki mekânsal çıkarımlarını yansıtmıştır. Rassal varyansların diğer bir deyişle

mekânsal ortak değişkenlerin modeller üzerinde; Küçük Menderes Nehir Havzası için %40-75, Çoruh Havzası için %8-15 oranında tespit edilen etkisi su kalitesi parametrelerinin Küçük Menderes Nehir Havzası'nda dış etmenlerden daha fazla etkilendiğini göstermiştir.

6.1. Su Kalitesi Parametreleri bazında Mekansal Kovaryans Modellerinin ve Otokorelasyonun Değerlendirilmesi

Çalışmada, etkin olarak kullanılan CBS'nin sağlamış olduğu topolojik ilişkiler ve mekânsal analiz yetkinliklerinden yararlanılarak modellerin temelinde yer alan nehir ağlarında hidrolojik mesafeler belirlenmiş olup su kalitesi parametreleri bazında otokorelasyonun varlığı araştırılmıştır. Karma modeller kapsamında bir bileşen olarak yer alabilen öklid mesafeleri bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

Küçük Menderes Nehir Ağı'nda, ölçüm noktaları arasında akış bağlantılı azami hidrolojik mesafe 135 km ve akış bağlantısız azami hidrolojik mesafe 181 km olarak hesaplanmıştır. Çoruh Nehir Ağı için ise ölçüm noktaları arasında akış bağlantılı azami hidrolojik mesafe 400 km ve akış bağlantısız azami hidrolojik mesafe 447 km olarak tespit edilmiştir.

Torgegramlar ile yapılan keşifsel analiz neticesinde, Çoruh Havzası'nda iletkenlik, tuzluluk ve pH parametreleri haricinde her iki nehir ağında da akış bağlantılı farklı hidrolojik mesafelerde otokorelasyonun varlığı tespit edilmiştir. Bununla beraber, Çoruh Havzası'nda otokorelasyonun azami hidrolojik mesafelere ulaşmadığı gözlemlenmiştir.

Tailup ve taildown modelleri daha önce de bahsedildiği üzere nehir ağı topolojisi üzerinden memba mansap ilişkilerini kullanmaktadır. Tailup modeli sadece akış bağlantılı veri çiftlerini kullanırken taildown modeli hem akış bağlantılı hem de akış bağlantısız çiftleri birlikte kullanmaktadır. Tailup modeli; dendritik nehir ağ yapısında bileşim noktalarında kesintiye uğrayan kovaryans yapısını ağırlıklandırmak için kullanılan katkı fonksiyonu ile memba-mansap yönündeki akış büyüklüğünü de hesaba katmaktadır. Bahse konu özelliği ile tailup modeli, konservatif su kalitesi parametrelerinin modellenmesi için önem taşımaktadır. Ancak, konservatif yapıdaki su kalitesi parametreleri de nehir içindeki biyotik yaşam, abiyotik çevresel etkenler ve antropojenik faaliyetlerden farklı ölçeklerde etkilenebilmektedir. Bu nedenle, bir nehir ağı üzerindeki su kalitesinin mekânsal değişkenliğinin nedenlerinin tespiti ve

karakterizasyonu detaylı ölçekte çalışmalara ihtiyaç duyabilmektedir. Söz konusu faktörlerden dolayı, nehir ağı içerisinde akış bağlantısız veri çiftleri arasında da otokorelasyon yakalanabilmektedir. Taildown modeli gerek tekil bileşen gerekse karma modellerde parametrenin mekânsal değişkenliği hakkında bir öngörü yaratabilmektedir. Karma modellerin avantajlarından biri, karmaşık su kalitesi ölçümleri gösteren nehir ağlarında akış bağlantısı bulunmayan yan kollardaki değişkenliği de hesaba katmasıdır. Her iki havza için de oluşturulan modellerin kovaryans bileşenleri ve menzilleri su kalitesi parametresi bazında değişkenlik göstermiştir (şekil 6.1).

Alkalinite aısından Küçük Menderes Nehir Ağı'nda akış bağlantılarının dominant olduğu söylenebilirken Çoruh Nehir Ağında Oltu Çayı yan kolu üzerinde yer alan yüksek ölçümlerin de etkisiyle karma modelin optimum olarak ortaya çıkmış olabileceği söylenebilir. Model menzillerine bakıldığında, iki havzada da azami hidrolojik mesafelerin yaklaşık %25-30'una yakın bir mesafede otokorelasyon oluştuğu görölmektedir.

Klorür parametresi için akış bağlantılı otokorelasyon iki nehir ağında da ön plana çıkmakta olup hidrolojik mesafe menzilleri azami değerlerin yaklaşık %7'sine denk gelmektedir.

Çözünmüş oksijen ölçümleri değerlendirildiğinde, Küçük Menderes Nehir Ağı'nda azami hidrolojik mesafenin yaklaşık %7 menziline sahip taildown modelinde oluşan otokorelasyonun, çözünmüş oksijen üzerinde yan kollardaki değişkenlikle birlikte baskı altında olduğu söylenebilir. Çoruh Nehir Ağı'nda ise, sadece akış bağlantılı veri çiftleri yaklaşık azami değerlerin %4,7'sine karşılık gelen menzilde otokorelasyona sahip olduğu görölmektedir. Ayrıca, yan kollarda çözünmüş oksijen ölçümlerinin ana kola karşın daha düşük değerler alması, yüksekliği fazla olan Çoruh Nehir Havzası için doğal yapının etkili olduğu ve nehir ağı özelinde nispeten kısa hidrolojik mesafe menziline sahip olması da bölgesel değişkenliğin farklı faktörlerden etkilendiği konusunda altlık oluşturmaktadır.

Su sıcaklığı parametresi için Küçük Menderes Nehir Ağı'nda azami değerlerin yaklaşık %20 menziline sahip akış bağlantısız veri çiftlerinin de dahil olduğu otokorelasyon oluşmaktadır. Çoruh Nehir Ağı'nda ise, karma model ile azami hidrolojik mesafenin yaklaşık %13'sine karşılık gelen menzilde otokorelasyona sahip olmaktadır.

Model menzilleri göz önüne alındığında, farklı karakterlere sahip iki havzada alkalinitenin diğer parametrelere göre akış ağları üzerinde daha yüksek hidrolojik mesafelerde mekânsal bağımlılık gösterdiği görölmektedir. Bu durum, alkalinitenin nehir

akışı dışındaki etmenlerden diğer parametrelere göre daha az etkilendiğine işaret etmektedir. Çözünmüş oksijen ve klorür parametrelerinin ise nehir akışına etkiyen dış etmenlerden alkaliniteye göre daha çok etkilendiği söylenebilir. Su sıcaklığının, alkaliniteden daha düşük ancak diğer parametrelerden daha yüksek menzile mesafesi ile yan kolların da dahil olduğu dış etmenlerden nispeten etkilendiği görülmektedir.

6.2. Nehir Ağı Modellerinde Mekânsal Ağırlıklandırma Açısından Katkı Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi

Bu tez çalışması kapsamında, modellerde nehir ağı üzerindeki ağırlıklandırmayı sağlayan katkı fonksiyonu olarak su toplama alanı etki ağırlığı kullanılmıştır. Literatürde yer alan su kalitesi parametreleri ile ilgili pek az sayıda çalışma söz konusu katkı fonksiyonlarının etkileri hakkında değerlendirmeleri ele almıştır. Bu çalışmayla beraber, her iki havzada da 4 farklı su kalitesi parametresi için oluşturulan modellerde, mekânsal ağırlıklandırma için karşılaştırılan eğri numarası yöntemi akış katkı değerlerinin model doğruluğunu arttıran yönde etkilendiği görülmüştür.

6.3. Su Kalitesi Parametreleri – Model Bileşenleri Düzleminde Havzaların Karşılaştırmalı Mekânsal Karakterizasyonu

Nehir ağı modellerine mekânsal ortak değişkenler iki nedenle dahil edilmektedir. Bunlardan ilki rassal etkilerin modele dahil edilmesi, ikincisi ise mekânsal otokorelasyonun çalışılan havzada azami hidrolojik mesafelere ulaşmadığı noktaların ötesindeki konumların tahmin doğruluğunun artırılmasıdır. Su kalitesi parametreleri için gerçekleştirilen mekânsal ortak değişkenlerin seçimi için STA, üst riparyan bölge ve izleme noktası bazında 20 farklı mekânsal değişken (Tablo 5.3) üretilmiştir. Korelogramlar, temel bileşen analizi ve Leaps and Bounds optimum değişken seçimi algoritması kullanılarak söz konusu değişkenler değerlendirilmiş olup her parametre bazında ve havza özelinde modele girdi olarak hazırlanmıştır.

Her iki havzada su kalitesi parametreleri için iteratif süreçler neticesinde en uygun modeller belirlenmiştir. Model bileşenleri ve sonuçlarının havzalar bazında varyansa etkisi incelendiğinde mekânsal değişkenlerin varyansa etkisinin Küçük Menderes Nehir Ağı'nda Çoruh Nehir Ağı'ndan daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, su kalitesi parametrelerinin havza alanı açısından daha büyük ancak antropojenik etkilerin daha az olduğu Çoruh Havzası modelinin nehir ağı mekânsal otokorelasyonuna daha bağlı

olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, Çoruh Havzası modeli mevcut değişkenlerle memba mansap ilişkileri üzerinden daha iyi karakterize edilebilmektedir.

Tablo 6.1. Küçük Menderes ve Çoruh Nehir Ağı modellerinde kullanılan mekansal ortak değişkenler

Mekansal Veri Seti	Ortak değişken	Küçük Menderes Nehir Ağı		Çoruh Nehir Ağı	
		Çözünmüş oksijen	Su Sıcaklığı	Klorür	Alkalinite
Topografya	rakim				
	yukseklık				
	Eğim				
	upDist				
	Kum_alan				
İklim	sıcaklık				
	yagis				
Arazi Kullanım	CN				
	tok				
	kum_tarım				
	kum_yapay				
	kum_orman				
Jeoloji	kum_silis				
	kum_kalker				
Antropojenik	kumTesis				
	KumTes500				
	KumTes200				
	KumTes100				
	kumFosep				
	kum_nufus				

Mekânsal analizler neticesinde elde edilen değişkenler açısından model sonuçları; (Tablo 6.1) topografya, iklim, arazi kullanımı, jeoloji ve antropojenik veri setlerinin en az birinin her iki havza 4 su kalitesi parametresi için uygulanan 8 farklı modelde yer aldığını göstermektedir. Nehir ağı modellerine girdi olarak oluşturulan mekânsal değişkenlerin kovaryans modelleriyle beraber değerlendirilmesi sonucunda su kalitesi parametreleri ile anlamlı ilişkileri ortaya koyacak kombinasyonlarda mekânsal ortak değişkenler karma model bileşeni olarak kabul edilmiştir.

Alkalinite için oluşturulan modeller kapsamında, Küçük Menderes Nehir Havzası'nda uzun yıllar ortalama hava sıcaklık, yüzey akış eğri numarası, kümülatif silisli

jeolojik formasyon ve nehir ağına 500 m mesafedeki kümülatif tesis sayısının birlikte kullanıldığı model bileşeni ortaya çıkmıştır. Antropojenik etkilerle birlikte jeolojik ve iklimsel faktörlerin Küçük Menderes Havzası'nda etkili olduğunu söylenebilir. Aynı zamanda alkalinitenin yüzey akış eğri numarası ile negatif yönlü gösterdiği ilişki, hidrolojik geçirimsizliğin artmasıyla alkalinitenin de arttığı yönünde bir öngörü yaratmaktadır. Çoruh Havzası'nda ise model varyansı üzerinde etkisi %8 gibi düşük bir değer olan toprak organik karbonu alkaliniteyle ortak değişken olarak modele dahil edilmiştir.

Klorür parametresi açısından, Küçük Menderes Nehir Havzası için oluşturulan modelde eğim ve kümülatif yapay alan değişkenlerinin modelde yüksek bir varyansa sahip olduğu görülmüştür. Pek çok çalışmada, iç sulardaki klor konsantrasyonunun şehirleşmeyle ilişkili olduğu ve doğal klorür girdilerinin denizden taşınma, yağıştan ve bazı durumlarda jeolojiden kaynaklandığı gösterilmektedir (Smart vd., 2001). Küçük Menderes Nehir Havzası'nın yüksek oranda ovalar ve düzlük alanlardan oluştuğu göz önüne alındığında; yüksek eğim dolaylı olarak topografyadaki antropojenik faaliyetlerden uzal alanları temsil etmekte olup ortak değişken kapsamında klorürle negatif ilişki göstererek modelde yerini almıştır. Küçük Menderes Nehir Havzası'nda ortak değişkenlerin model bileşeni olarak yüksek oranda varyansa sahip olması mevcut verilere dayanarak klorür parametresi üzerinde antropojenik baskının etkili olduğunu göstermektedir. Çoruh Havzası'nda klorür için model sonucu ortak değişkenlerin düşük bir varyans içerdiğini göstermektedir. Bununla beraber, toprak organik karbonu, kümülatif su toplama alanı bazında kalkerli jeolojik formasyon ve kümülatif su toplama alanı bazında tesis sayısı doğal ve antropojenik baskıların klorür parametresi üzerinde etkili olabileceğini göstermekte olup mekânsal değişkenlerin model üzerindeki düşük varyansı söz konusu değişkenlerin yeterli temsiliyete sahip olmadığını göstermektedir. Model sonuçları, Erzurum ili Oltu, Narman ve Tortum ilçelerinde yüksek ve değişken değerlerin daha detaylı ölçekte araştırılması ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Çözünmüş oksijen, Küçük Menderes Nehir Havzası model bileşeninde ortak değişken olarak kümülatif su toplama alanı bazında tesis sayısı ile %52 seviyesinde bir varyansı açıklamaktadır. Model kapsamında, antropojenik etkiler altında endüstriyel faaliyetlerin çözünmüş oksijen parametresini mekânsal olarak baskıladığı öngörülebilir. Çoruh Havzası'nda, izleme noktası bazında rakım, kümülatif su toplama alanı bazında kalkerli jeolojik formasyon ve kümülatif su toplama alanı bazında foseptik sayısı ortak

değişkenleri modelde birlikte kullanılmıştır. Diğer parametrelerde olduğu gibi bu mekânsal değişkenlerin modelin açıkladığı varyanstaki etkisi %15 olarak düşük seviyede kalmaktadır. Doğal yapının ve antropojenik faktörlerin model üzerinde karma bir etkisi söylenebilir ancak çözünmüş oksijen açısından havzanın karakterizasyonu kapsamında yeterli temsiliyette görülmemektedir.

Su sıcaklığı parametresi için Küçük Menderes Nehir Havzası'nda oluşturulan model; eğim ve su toplama alanı bazında kümülatif alan değişkenleri ile modeli %47 oranında varyansı açıklayan model bileşeni olarak belirlenmiştir. Havzadaki mekânsal değişkenler arasında doğal yapının baskın olduğu su sıcaklığı parametresi, nehir ağı üzerinde su toplama alanını temsil eden kümülatif alan ve negatif yönlü ilişki bulunan eğim değişkenleri birlikte kullanılarak modellenmiştir. Çoruh Havzası modelinde, izleme noktası bazında rakım değişkeni kullanılmış olup söz konusu değişkenin de model varyansı üzerinde %13 oranında düşük bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

6.4. Nehir Ağı Üzerinde Ölçüm Olmayan Kollarda Su Kalitesi Parametre Tahminlerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, oluşturulan modellerle her bir kenarın orta noktası temel alınarak Küçük Menderes Nehir Ağı'nda 297, Çoruh Nehir Ağı'nda ise 1023 noktada su kalitesi parametrelerinin tahminlenmesi gerçekleştirilmiştir.

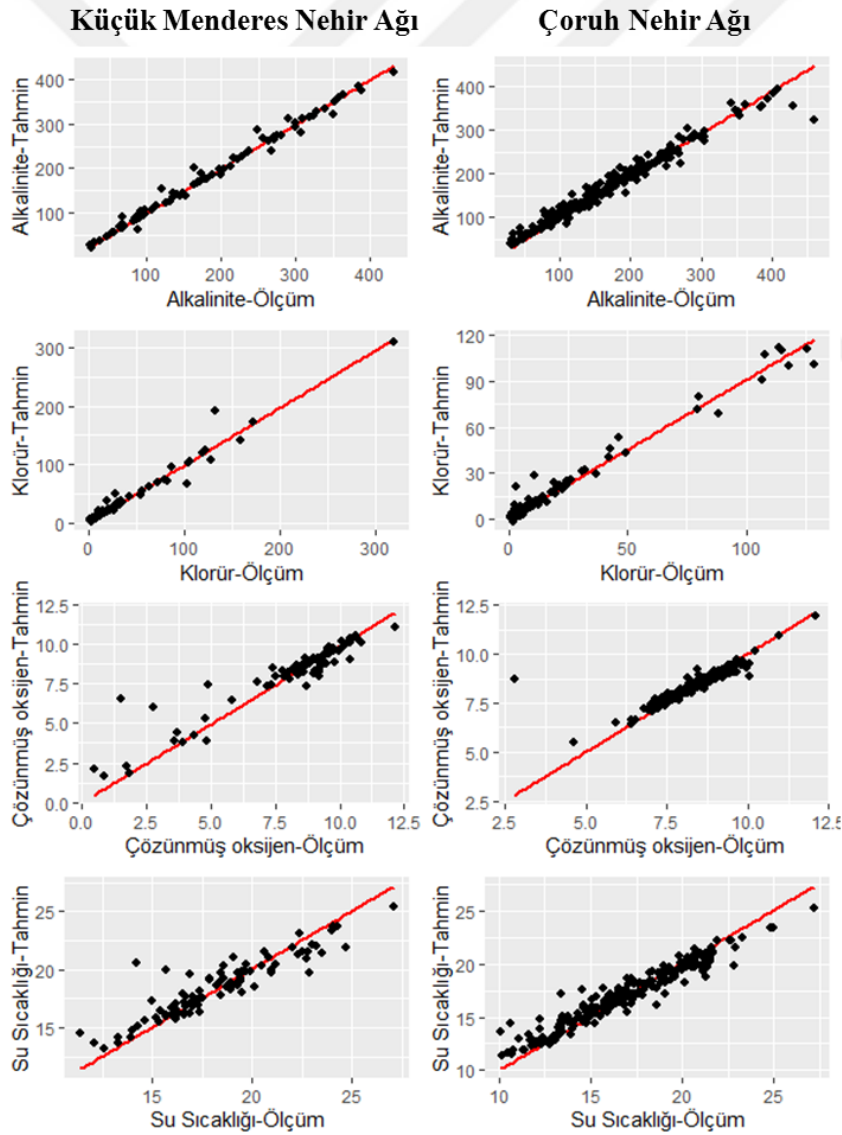
Model tahmin sonuçlarının değerlendirilmesi kapsamında, standart hata değerleri oluşturulan modellerin performansını, ölçüm noktaları bazında tahmin sonuçlarına ait RMSPE ve yüzde yanlılık (pbias) değerleri ise model tahmin doğruluğunu ortaya koymak üzere kullanılmıştır. Söz konusu kriterler, su kalitesi model çıktılarının değerlendirilmesinde yaygın olarak literatürde yer almaktadır.

Standart hata değerleri, istatistiksel modellerde ölçüm değerleri kullanılarak oluşturulan modellerin performansını, diğer bir açıdan tahmin belirsizliğini ortaya koyan bir kriter olarak kullanılmıştır. RMSPE kriteri, model ile gerçek ölçüm değerleri arasında uç değerlere hassas olarak hataları hesaplamakta olup 0'a yakın değerler yüksek tahmin doğruluğunu işaret etmektedir. Pbias kriteri, modellenen verilerin tahminlerde daha büyük veya daha küçük olma ortalama eğilimini ölçmektedir. Optimum olarak 0 olması gereken bu değer, negatif olması durumunda tahminlerin olduğundan fazla, pozitif olması durumunda ise tahminlerin olduğundan düşük ortaya koyulduğu göstermektedir. Çoruh ve Küçük Menderes Nehir Ağları su kalitesi parametrelerine ait tahmin sonuçlarına dair

kriterler bazında değerler Tablo 6.2’de, ölçüm noktaları bazında tahmin grafikleri ise Şekil 6.2’de verilmektedir.

Tablo 6.2. Parametre ve havza özelinde tahmin sonuçlarının değerlendirilmesi

Parametre	K. Menderes Nehir Ağı				Çoruh Nehir Ağı			
	RMSPE	pbias	Min-Mak SH	Ort SH	RMSPE	pbias	Min-Mak SH	Ort SH
Alkalinite	0,08	0,10	0,85-151,7	52,4	0,14	-0,20	23,75-64,4	41,9
Klorür	0,34	1,40	0,42-23,9	18,0	0,75	1,00	0,016-18,7	14,5
Çözünmüş Oksijen	0,56	0,30	0,77-1,6	1,2	0,15	0,60	0,0006-0,82	0,60
Su Sıcaklığı	0,08	1,00	1,37-2,12	1,9	0,07	0,90	1,29-2,96	2,3



Şekil 6.2. Havza ve parametre özelinde ölçüm – tahmin sonuçları grafikleri

Çoruh Nehir Ağı'nda tahminlere ait ortalama standart hata değerleri, Küçük Menderes Nehir Ağı'ndaki tahminlere karşı sıcaklık parametresi hariç daha düşük elde edilmiştir. Buradan hareketle, Çoruh Nehir Ağı'nda model performanslarının alkalinite, klorür ve çözülmüş oksijen için daha verimli olduğunu söylenebilir. Ölçüm noktaları bazında tahminler açısından bakıldığında, alkalinite ve klorür için Küçük Menderes Nehir Ağı'nda, diğer parametreler için Çoruh Nehir Ağı'nda daha doğru tahminler verdiği görülmektedir. Klorür ve su sıcaklığı parametrelerine ait her iki havzadaki genel eğilimin daha düşük tahmin değerlerine sahip olduğu yönündedir.

Bu genel değerlendirmelerle birlikte, nehir ağlarında mekânsal otokorelasyon ve değişkenler temelinde kurulan modeller üzerinde her bir parametre için gerçekleştirilen ölçüm değeri olmayan nehir kollarındaki tahminlerin daha yüksek standart hatalara sahip olduğu bir önceki bölümde verilen tahmin haritalarında incelenebilmektedir. Parametrelerde, en düşük ve en yüksek ölçümlerin yani uç değerlerin tahmininde standart hataların maksimize olduğu görülmektedir. Bu noktada, istatistiki modeller üzerinde yanlılık ve çarpıklığa neden olabilecek uç değerler, su kalitesi gözlemlerinde dış etkenler dolayısıyla gerçek durumu yansıtabilmektedir. Bu açıdan keşifsel veri analizi kapsamında nehir ağları üzerinde uç değerler incelenmiştir. Memba mansap ilişkileri değerlendirilerek Küçük Menderes Nehir Ağı'nda, alkalinite; Çoruh Nehir Ağı'nda, çözülmüş oksijen ve su sıcaklığı ölçümlerindeki uç değerler modellere dahil edilmiştir.

6.5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, nehirlerde su kalitesinin havza ölçeğinde modellenmesine yönelik yeni bir yaklaşım olarak ortaya koyulan mekânsal nehir ağı modellerinin Türkiye'de birbirinden farklı iki nehir havzasında karşılaştırılarak uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda çalışmanın hedeflediği nehir ağlarında topolojik ilişkiler ve hidrolojik mesafeleri temel alan mekânsal otokorelasyon; alkalinite, klorür, su sıcaklığı ve çözülmüş oksijen su kalitesi gösterge parametreleri için iki farklı havzada da tespit edilmiştir. Mekânsal nehir ağı modelleri kullanılarak ölçüm bulunmayan konumlarda su kalitesi parametrelerinin tahminlenmesi ve bununla birlikte üretilen bilgiler neticesinde parametre bazında mekânsal ortak değişkenler ile havzaların karakterizasyonu da bu çalışmada değerlendirilmiştir. Literatüre, önemli bir katkı sağlayacağı düşünülen akış ağırlıklandırmasına yönelik parametrelerin karşılaştırılması gerçekleştirilmiş olup

önerilen eğri numarası yöntemi kullanılarak akış ağırlıklarının modelleri iyileştirdiği ortaya koyulmuştur.

Doğanın ve sucul ekosistemlerin en önemli kaynaklarından olan nehirlerimizin durumu günden güne gerek miktar gerekse kalite açısından kötüleşmektedir. Sürdürülebilir su yönetiminin önemi de aynı derecede artmaktadır. Doğru kararlar, fayda/maliyeti göz önünde tutan tedbirler ve uygulanabilir önlemlerin alınması, su kaynakları ve içinde bulunduğu mekân ile ilişkilerini karakterize etmekten geçmektedir. Özellikle, suyun yönetilebilir en küçük birimleri olan su kütlelerinin bütüncül değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Karar destek sistemlerinin bir parçası olan modelleme araçları, su kalitesindeki mevcut durumun ve değişimin senaryolar bazında ortaya konulabilmesi için karar vericilere bilimsel bir altlık sağlamaktadır. Dünyanın pek çok ülkesinde, 1900'li yılların başından beri su kalitesine dair gerçekleştirilen model çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Su kalitesi modelleri, farklı karmaşıklık seviyelerinde olmakla beraber ekosistemi basitleştirilmiş olarak ele almalarına rağmen birçok kabul ve varsayıma dayanmaktadır. Çalışma alanlarının geniş yüz ölçümlere sahip olduğu modellerde, ihtiyaç duyulan model veri ve kabulleri çok yüksek boyutlara ulaşmaktadır. Bu verilerin toplanması ve işlenmesi, söz konusu büyük alanlar için su kalitesine etkiyen sistemin açıklanması için mümkün olmamaktadır. Gerçekleştirilen pek çok çalışma, model verimlerinin belirli bir mertebede sınıfsal olarak yeterli olduğunu göstermektedir. Su kalitesi hakkındaki çalışmalar, son yüzyıl içerisinde öğrenilegelen genel model parametreleri ve kabullerin ötesinde bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle birlikte veri madenciliği, yapay sinir ağları, makine öğrenmesi gibi tahmin doğruluğuyla ilgilenen modellere yönelmektedir. Geleneksel fiziksel modeller ile söz konusu algoritmik modeller arasında suyun doğal sınırlarını göz önüne alan nehir ağı mekânsal istatistikî modelleri son yıllarda ortaya çıkmış olup geliştirilmektedir. Söz konusu modeller, deterministik yaklaşımda veri ihtiyacı karşılanamayacak ölçüde büyük alanlar için su kalitesi tahminlerini tatmin edici olarak sunabilmekle beraber, CBS'nin yetenekleriyle üretilen ve analiz edilebilen mekânsal veriyle su kalitesi parametrelerini karakterize edebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Tobler tarafından Coğrafya'nın ilk kanunu olarak ortaya atılan *"Her şey diğer her şeyle ilgilidir, ama yakın şeyler uzak şeylerden daha fazla ilişkilidir."* düşüncesiyle doğan mekânsal otokorelasyonun temelinde olduğu mekânsal istatistikî nehir ağları modelleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, su kalitesi gösterge

parametreleri olan çözünmüş oksijen, klorür, alkalinite, su sıcaklığı, pH, tuzluluk ve iletkenlik için farklı hidrolojik mesafelerde akış bağlantılı otokorelasyonun varlığını göstermiştir. Su kalitesinde gösterge parametrelerini etkileyen 5 farklı mekânsal veri sınıfı altında raster ve vektör olarak 20 farklı veri; su toplama alanı, kümülatif su toplama alanı, üst riparyan bölge ve izleme noktası bazında olmak üzere üretilmiş olup korelogram, temel bileşen analizi ve leaps and bounds optimum model seçimi algoritması sonuçları değerlendirilerek mekânsal ortak değişkenler belirlenmiştir. Karma modele dahil edilen kovaryans bileşeni ve rassal etkiler ile en anlamlı parametreler seçilerek su kalitesi parametresi bazında havzalar karakterize edilerek karşılaştırılmıştır.

Küçük Menderes ve Çoruh Nehir Havzaları gerek doğal gerekse antropojenik etkiler itibariyle farklı karakterde olduğundan su kalitesi parametreleri için oluşturulan karma modellerin mekânsal ve rassal bileşenleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, tüm parametreler özelinde oluşturulan modeller Çoruh Nehir Ağı'nın Küçük Menderes Nehir Ağı'na kıyasla daha doğal yapılardan oluştuğunu ve akış bağlantılı olduğunu kanıtlamaktadır. Alkalinite parametresi tüm modeller içerisinde Çoruh Nehir Ağı'nda akış bağlantılı en yüksek otokorelasyonu göstermiştir. Küçük Menderes Nehir Ağı modelleri; mekânsal değişkenlerin model varyansı üzerinde daha etkili olduğunu ve her bir parametre için en az bir antropojenik mekânsal değişkenin bulunmasından dolayı kirletici faktörlerin etkili olduğunu işaret etmiştir.

Bu tez kapsamında, nehir ağlarında ölçüm olmayan kollarda gerçekleştirilen tahmin sonuçları, standart hata aralıklarında değerlendirilerek farklı çalışmalarda kullanılabileceğini göstermektedir. Model performansları, yeni ölçüm verileri ve farklı mekânsal veri setlerinden elde edilecek değişkenler ile arttırılabilecektir. İzleme programlarının tasarımı ve izleme konumlarının belirlenmesi açısından önemli bir değerlendirme aracı olarak söz konusu model ve tahminlerin kullanılması mümkün olmaktadır. Özellikle, havza izleme faaliyetlerinde yüksek maliyetlerin azaltılması için optimum sayıda konumun seçilmesi ve sonrasında nehir ağlarının model sonuçları ile takip edilmesi sağlanabilecektir.

Türkiye'de havza bazlı su yönetimi çalışmaları, 2000'li yıllarda Avrupa Birliği tarafından yasal bir çerçeve olarak ortaya koyulan Su Çerçeve Direktifi (SÇD) ile büyük bir ivme kazanmıştır. Bu kapsamda, nehir havzalarında yerüstü sularının ve sucul ekosistemlerin korunması, iyi ekolojik kaliteye ulaşmasını hedefleyen stratejiler SÇD tarafından kılavuz ve teknik dokümanlarla ortaya koyulmuştur. Su yönetiminde,

tipolojiye özgü belirlenen yerüstü su kütlelerini temel alan izleme çalışmalarının yürütülmesi çerçevesinde metodolojik öneriler sunan dokümanlar, bahse konu çalışmaların havza bazlı gerçekleştirilmesinde CBS ve modelleme çalışmalarını önemli kılmıştır. Ayrıca SÇD, tipe özgü referans koşullara sahip su kütlelerin belirlenmesi için mekânsal değişkenlerin, modellerin ve kombinasyonlarının kullanılabileceğine değinmektedir (European Commission, 2003). Tez çalışması ile uygulanabilirliği ortaya koyulan bu modellerin, yeterli veriler ve multidisipliner uzmanların bir araya gelerek tipe özgü referans koşulların belirlenmesinde uygun bir yöntem olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, tipoloji çalışmalarının gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan su kalitesi gösterge parametrelerine ve mekânsal değişkenlere ait verilerin üretilmesinde önemli bir araç olarak kullanılabilecektir.

Bu tez çalışması, Türkiye'de nehir ağları üzerinde topolojik ilişkileri, hidrolojik mesafeleri, mekânsal otokorelasyonu ve verileri dikkate alan, buna bağlı su kalitesi gösterge parametrelerinin tahminini yapan ilk araştırmadır. Bu kapsamda, Küçük Menderes ve Çoruh Nehir Havzalarında hidrografik ağlar oluşturulmuştur. Havza ölçeğinde, su kalitesi üzerinde bu araştırmaların yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle, bu tür çalışmalara altlık sağlayacak hidrografik ağların ve mekânsal veri setlerinin gerçekleştirilecek farklı çalışmaların da karşılaştırılabilmesi için tekil ve standart olarak CBS ortamında üretilmesi, güncellenmesi ve paylaşımının sağlanması elzemdir. Bu konuda, entegrasyon çalışmaları devam eden Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi kapsamında söz konusu mekânsal veri setlerinin ve hidrografik ağ verilerinin üretimi desteklenmelidir.

KAYNAKÇA

- Al-Bahrani, H. S. (2014). Spatial prediction and classification of water quality parameters for irrigation use in the Euphrates River (Iraq) using GIS and satellite image analyses. *Int. J. Sus. Dev. Plann.*, 9(3), 389-399. doi:10.2495/SDP-V9-N3-389-399
- Alexander, R., Johnes, P., Boyer, E., & Smith, R. (2002). A Comparison of Models for Estimating the Riverine Export of Nitrogen From Large Watersheds. *Biogeochemistry*, 295–339. doi:DOI: 10.1023/A:1015752801818
- Al-Musawi, N., & Al-Rubaie, F. M. (2018). Prediction and assessment of water quality index using neural network model and GIS case study: Tigris River in Baghdad city. *The Journal of Applied Research*, 3(11), 343-353.
- Alp, E., Özcan, Z., & Yücel, Ö. (2014). Phosphorus Budget for Lake Mogan, Ankara, Turkey. *8th Shallow Lake Conference*. Antalya.
- Alparslan, E., Aydoğan, C., Tufekci, V., & Tufekci, H. (2007). Water quality assessment at Ömerli Dam using remote sensing techniques. *Environmental Monitoring Assessment*, 135, 391-398. doi:10.1007/s10661-007-9658-6
- Angermeier, P., Krueger, K., & Dolloff, C. (2002). Discontinuity in stream-fish distributions: implications for assessing and predicting species occurrence. *Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale*, 519-527.
- Avila, R., Horn, B., Moriarty, E., Hodson, R., & Moltchanova, E. (2018). Evaluating statistical model performance in water quality prediction. *Journal of Environmental Management*, 206, 910-919. doi:10.1016/j.jenvman.2017.11.049
- Beaupré, L., St-Hilaire, A., Daigle, A., & Bergeron, N. E. (2020). Comparison of a deterministic and statistical approach for the prediction of thermal indices in regulated and unregulated river reaches: case study of the Fourchue River (Québec, Canada). *Water Quality Research Journal*, 55(4), 394-408. doi:10.2166/wqrj.2020.001
- Chilès, J.-P., & Delfiner, P. (1999). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. New York: Wiley. doi:doi.org/10.1002/9780470316993

- Copeland, C. (2006). 'Water Quality: Implementing the Clean Water Act'. Congressional Research Service.
- Cressie, N., Frey, J., Harch, B., & Smith, M. (2006). Spatial Prediction on a River Network. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 11(2), 127-150. doi:10.1198/108571106X110649
- Dale, M., & Fortin, M.-J. (2010). From Graphs to Spatial Graphs. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 21-38. doi:doi:10.1146/annurev-ecolsys-102209-144718
- Detenbeck, N. E., Morrison, A. C., Abele, R. W., & Kopp, D. A. (2016). Spatial statistical network models for stream and river temperature in New England, USA. *Water Resources Research*, 52(8), 6018-6040. doi:10.1002/2015WR018349
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2016). *Küçük Menderes Master Plan Hidrojeoloji Raporu*. İzmir: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2. Bölge Müdürlüğü.
- El Saadani, M., Zimmerman, D. L., & Krajewski, W. F. (2018). River network based characterization of errors in remotely sensed rainfall products in hydrological applications. *Remote Sensing Letters*, 9(8), 743-752. doi:10.1080/2150704X.2018.1475768
- Erturk, A. (2010). A simple stream water quality modelling software for educational and training purposes. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(1), 61-70. doi:10.4194/trjfas.2010.0109
- European Commission. (2003). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. River and lakes – Typology, reference conditions and classification systems. Directorate General Environment of the European Commission.
- Fakioğlu, S., & Kağncıoğlu, N. (2009). Doğu Karadeniz ve Çoruh Havzalarının Hidroelektrik Enerji Üretimi Açısından Değerlendirilmesi. *Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri*. Trabzon.

- Falke, J. A., Dunham, J. B., Hockman-Wert, D., & Pahl, R. (2016). A simple prioritization tool to diagnose impairment of stream temperature for coldwater fishes in the Great Basin. *North American Journal of Fisheries Management*, 36(1), 147-160. doi:10.1080/02755947.2015.1115449
- Fausch, K., Torgersen, C., Baxter, C., & Li, H. (2002). Landscapes to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream reaches. *Bioscience*, 483–498.
- Figary, S., Detenbeck, N., & O'Donnell, C. (2021, Ocak). Guiding riparian management in a transboundary watershed through high resolution spatial statistical network models. *Journal of Environmental Management*, 278 (Pt 2), 111585. doi:10.1016/j.jenvman.2020.111585
- Filipe, A. F., Quaglietta, L., Ferraira, M., Magalhaes, M. F., & Beja, P. (2017). Geostatistical distribution modelling of two invasive crayfish across dendritic stream networks. *Biol Invasions*, 19, 2899-2912. doi:10.1007/s10530-017-1492-3
- French, D., Schindler, D. E., Brennan, S. R., & Whited, D. (2020). Headwater catchments govern biogeochemistry in America's largest free-flowing river network. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 125(12). doi:10.1029/2020JG005851
- Frieden, J. C., Peterson, E. E., Webb, J. A., & Negus, P. M. (2014). Improving the predictive power of spatial statistical models of stream macroinvertebrates using weighted autocovariance functions. *Environmental Modelling & Software*, 60, 320-330. doi:10.1016/j.envsoft.2014.06.019
- Garreta, V., Monestiez, P., & Ver Hoef, J. M. (2009). Spatial modelling and prediction on river networks: Up model, down model or hybrid? *Environmetrics*, 21(5), 439-456. doi:10.1002/env.995
- Gendaszek, A. S., Dunham, J. B., Torgersen, C. E., Hockman-Wert, D. P., Heck, M. P., Thorson, J., . . . Allai, T. (2020). Land-cover and climatic controls on water temperature, flow permanence, and fragmentation of Great Basin stream networks. *Water*, 12(7), 1962. doi:10.3390/w12071962

- Girgin, S., Akyürek, Z., & Usul, N. (2004). Türkiye için coğrafi bilgi sistemi tabanlı su kalitesi veri analiz sistemi geliştirilmesi. 3. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri*. İstanbul.
- Grant, E., Lowe, W., & Fagan, W. (2007). Living in the branches: population dynamics and ecological processes in dendritic networks. *Ecology Letters*, 75-165.
- Guillemette, N., St-Hilaire, A., Ouarda, T. B., Bergeron, N., Robichaud, É., & Bilodeau, L. (2009). Feasibility study of a geostatistical modelling of monthly maximum stream temperatures in a multivariate space. *Journal of Hydrology*, 364(1-2), 1-12. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.10.002
- Hatzopoulos, J. N. (2002). Geographic Information Systems (GIS) in Water Management. In *Proceedings of the Thirs International Forum, Integrated Water Management: The key to Sustainable Water Resources*. Atina.
- Herlihy, A. T., Larsen, D. P., Paulsen, S. G., Urquhart, N. S., & Rosenbaum, B. J. (2000). Designing a spatially balanced, randomized site selection process for regional stream surveys: the EMAP Mid-Atlantic pilot study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 63(1), 95-113.
- Herrell, M., Skeries, K., Vandenberg, J., Faithful, J., Hayward, A., & Novy, L. (2018). Influence of probability distribution function sampling frequency on stochastic water quality model predictions. *11th ICARD | IMWA | WISA MWD 2018 Conference – Risk to Opportunity*, 2. Pretoria.
- Holcomb, D. A., Messier, K. P., Serre, M. L., Rowny, J. G., & Stewart, J. R. (2018). Geostatistical prediction of microbial water quality throughout a stream network using meteorology, land cover, and spatiotemporal autocorrelation. *Environ. Sci. Technol.*, 52(14), 7775-7784. doi:10.1021/acs.est.8b01178
- http-1. (2020). *SSN & STARS: Tools for Spatial Statistical Modeling on Stream Networks*. Ekim 22, 2020 tarihinde Rocky Mountain Research Station Air, Water, and Aquatic Environments (AWAE): <https://www.fs.fed.us/rm/boise/AWAE/projects/SpatialStreamNetworks.shtml#> adresinden alındı

- http-2. (2020). *Historical climate data*, version 2.1. 2020 tarihinde WorldClim: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html> adresinden alındı
- Isaak, D. J., Peterson, E. E., Ver Hoef, J. M., Wenger, S. J., Falke, J. A., Tongersen, C. E., . . . Monestiez, P. (2014, Mayıs). Applications of spatial statistical network models to stream data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 1(3), s. 277-294.
- Isaak, D. J., Wenger, S. J., Peterson, E. E., Ver Hoef, J. M., Nagel, D. E., Luce, C. H., . . . Parkes-Payne, S. (2017). The NorWeST summer stream temperature model and scenarios for the western U.S.: A crowd-sourced database and new geospatial tools foster a user-community and predict broad climate warming of rivers and streams. *Water Resources Research*, 53, 9181-9205. doi:10.1002/2017WR020969
- Jiang, Y. (2011). GIS Stream Network Analysis for Huaihe River Basin of China. *Procedia Environmental Sciences*, 1553-1558.
- Laaha, G., Skøien, J., Nobilis, F., & Blöschl, G. (2013). Spatial prediction of stream temperatures using top-kriging with an external drift. *Environmental Modeling & Assessment*, 18, 671–683. doi:10.1007/s10666-013-9373-3
- Larsen, S. L., Christensen, S. C., Albrechtsen, H.-J., & Rygaard, M. (2017). Geospatial risk based analysis identifying water quality monitoring sites in distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(6). doi:doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000754
- Lindenschmidt, D.-I. K.-E. (2006). River water quality modelling for river basin and water resources management with a focus on the Saale River, Germany. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.
- Lintern, A., Webb, J. A., Ryu, A., Liu, S., Bende-Michl, U., Water, D., . . . Western, A. W. (2018). Key factors influencing differences in stream water quality across space. *WIREs Water*, 5(1).
- Lintern, A., Webb, J., Ryu, D., Liu, S., Bende-Michl, U., Waters, D., . . . Western, A. (2018). Key factors influencing differences in stream water quality across space. *WIREs Water*, 1-31. doi:doi: 10.1002/wat2.1260

- Lu, F., Zhang, H., & Liu, W. (2020). Development and application of a GIS-based artificial neural network system for water quality prediction: a case study at the Lake Champlain area. *Journal of Oceanology and Limnology*, 38, 1835-1845. doi:10.1007/s00343-019-9174-x
- Ma, M.-t., Gou, K.-c., & Sun, L. (2009). ArcGIS-based one dimension predictive model of river water quality and it's application. *First International Conference on Information Science and Engineering*, (s. 1999-2002). Nanjing. doi:10.1109/ICISE.2009.344
- Mainali, J., Chang, H., & Chun, Y. (2019, Haziran 26). A review of spatial statistical approaches to modeling water quality. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*.
- Marsha, A., Steel, E. A., Fullerton, A. H., & Sowder, C. (2018). Monitoring riverine thermal regimes on stream networks: Insights into spatial sampling designs from the Snoqualmie River, WA. *Ecological Indicators*, 84, 11-26. doi:10.1016/j.ecolind.2017.08.028
- McCullagh, P., & Nelder, J. (1965). A Simplex Method for Function Minimization. *Computer Journal*, 308-313.
- Myers, D. (2018). *Why monitor water quality?* USGS.
- Nawar, O.-M., & Fatima , M.-R. (2017). Prediction and Assessment of Water Quality Index Using Neural Network Model and GIS Case Study: Tigris River in Baghdad City. *Applied Research Journal*, 343-353,.
- Neill, A. J., Tetzlaff, D., Strachan, N. J., Hough, R. L., Avery, L. M., Watson, H., & Soulsby, C. (2018). Using spatial-stream-network models and long-term data to understand and predict dynamics of faecal contamination in a mixed land-use catchment. *The Science of the Total Environment*, 612, 840-852. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.08.151
- Pannatier, Y. (1996). *Variowin - Software for Spatial Data Analysis in 2D*. New York: Springer-Verlag New York. doi:10.1007/978-1-4612-2392-4

- Peterson, E. E., & Urquhart, N. S. (2006). Predicting water quality impaired stream segments using landscape-scale data and a regional geostatistical model: A case study in Maryland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 121(1), 615-638.
- Peterson, E. E., & Ver Hoef, J. M. (2014). STARS: An ArcGIS toolset used to calculate the spatial information needed to fit spatial statistical models to stream network data. *Journal of Statistical Software*, 1-17.
- Peterson, E. E., Ver Hoef, J. M., Isaak, D. J., Falke, J. A., Fortin, M.-J., Jordan, C. E., . . . Wenger, S. J. (2013). Modelling dendritic ecological networks in space: An integrated network perspective. *Ecology Letters*, 16(5), 707-719. doi:10.1111/ele.12084
- Peterson, E., & Ver Hoef, J. (2010). A mixed-model moving-average approach to geostatistical modeling in stream networks. *Ecological Society of America*, 644–651.
- Post, C., Cope, M., Gerard, P., Mastro, N., Vine, J., Stiglitz, R., . . . Mikhailova, E. (2018). Monitoring spatial and temporal variation of dissolved oxygen and water temperature in the Savannah River using a sensor network. *Environmental Monitoring Assessment*, 190:272. doi:https://doi.org/10.1007/s10661-018-6646-y
- Ramadas, M., & Samantaray, A. K. (2018). Applications of remote sensing and GIS in water quality monitoring and remediation: A state-of-the-art review. S. Bhattacharya, A. B. Gupta, A. Gupta, & A. Pandey (Dü) içinde, *Water Remediation* (s. 225-246). Springer, Singapore. doi:10.1007/978-981-10-7551-3_13
- Scown, M. W., McManus, M. G., Carson Jr., J. H., & Nietch, C. T. (2017). Improving predictive models of in-stream phosphorus concentration based on nationally-available spatial data coverages. *Journal of the American Water Resources Association*, 53(4), 944-960. doi:10.1111/1752-1688.12543
- Segura, C., Noone, D., Warren, D., Jones, J. A., & Tenny, J. (2019, Mayıs). Climate, landforms, and geology affect baseflow sources in a mountain catchment. *Water Resources Research*, 55(7). doi:10.1029/2018WR023551

- Skøien, J. O., Blöschl, G., Laaha, G., Pebesma, E., Parajka, J., & Viglione, A. (2014). rtop: An R package for interpolation of data with a variable spatial support, with an example from river networks. *Computers & Geosciences*, 67, 180-190. doi:10.1016/j.cageo.2014.02.009
- Skøien, J. O., Merz, R., & Blöschl, G. (2006). Top-kriging – geostatistics on stream networks. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10(2), 277-287. doi:10.5194/hess-10-277-2006
- Snowling, S., & Kramer, J. R. (2001). Evaluating modeling uncertainty for model selection. *Ecological Modelling*, 138(1-3), 17-30. doi:10.1016/S0304-3800(00)00390-2
- Sravva, P. V., & Sreejani, T. (2016). Water quality modelling-statistical approach. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3(2). doi:10.17148/IARJSET.2016.3202
- Steel, E. A., Sowder, C., & Peterson, E. E. (2016). Spatial and temporal variation of water temperature regimes on the Snoqualmie river network. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 52(3), 769-787. doi:10.1111/1752-1688.12423
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2018). *Küçük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı Stratejik Çevresel Değerlendirme Kapsam Belirleme Raporu*. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı .
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2019). *Küçük Menderes Havzası Nehir Havza Yönetim Planı Hazırlanması Projesi:Nehir Havza Yönetim Planı Nihai Raporu*. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı.
- Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 234-240. doi:10.2307/143141
- Tobler, W. (1999). Linear pycnophylactic reallocation comment on a paper by D. Martin. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1), 85-90. doi:10.1080/136588199241472

- Tsihrintsiz, V. A., Hamid, R., & Fuentes, H. R. (1996). Use of Geographic Information System (GIS) in water resources: A review. *Water Resources Management*, 10, 251-277. doi:10.1007/BF00508896
- Turschwell, M. P., Peterson, E. E., Balcombe, S. R., & Sheldon, F. (2016). To aggregate or not? Capturing the spatio-temporal complexity of the thermal regime. *Ecological Indicators*, 67, 39-48. doi:10.1016/j.ecolind.2016.02.014
- Urban, D. L., Minor, E. S., Treml, E. A., & Schick, R. S. (2009). Graph models of habitat mosaics. *Ecology Letters*, 12(3), 260-273. doi:10.1111/j.1461-0248.2008.01271.x
- Uyguçgil, H. (2007). Çok değişkenli maden yataklarında rezerv tenör tahmininde jeostatistik ve coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinin kullanımı. *Yayımlanmamış Doktora Tezi*. Eskişehir, Türkiye: Osmangazi Üniversitesi.
- Ünsal, V. (2006). *Tarihi ve Arkeolojik Yönüyle Çoruh Havzası (Bayburt, İspir, Yusufeli)*. Trabzon: Karadeniz Matbaacılık.
- Ver Hoef, J. M., Peterson, E. E., & Theobald, D. (2006). Spatial statistical models that use flow and stream distance. *Environ Ecol Stat*, 13, 449-464. doi:10.1007/s10651-006-0022-8
- Ver Hoef, J., & Peterson, E. (2010). A Moving Average Approach for Spatial Statistical Models of Stream Networks. 6-18. doi:http://dx.doi.org/10.1198/jasa.2009.ap08248
- Verro, R., Calliera, M., Maffioli, G., Auteri, D., Sala, S., Finizio, A., & Vighi, M. (2002). GIS-based system for surface water risk assessment of agricultural chemicals. 1. Methodological approach. *Environ. Sci. Technol.*, 36, 1532-1538. doi:10.1021/es010089o
- World Bank Group. (1998). Water quality models. *Pollution Prevention and Abatement Handbook* (s. 101-107). içinde doi:10.1596/0-8213-3638-X
- Xue, L., Jiao, W., Shuo, H., & Chunling, W. (2010). Stochastic modeling of river water quality and risk analysis. *2010 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 1, 186-190. doi:10.1109/ESIAT.2010.5568584

- Yang, X., & Jin, W. (2010). GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks: A case study in Iowa. *Journal of Environmental Management*, 91(10), 1943-1951. doi:10.1016/j.jenvman.2010.04.011
- Yuan, L. L. (2004). Using spatial interpolation to estimate stressor levels in unsampled streams. *Environmental Monitoring and Assessment*, 94(1-3), 23-38. doi:10.1023/B:EMAS.0000016877.52279.05



EKLER

EK 1- Modeller ve Çıktılarına İlişkin Kaynak Kodlar

```
#####  
### 1. Giriş  
#####  
## R kütüphanesinden SSN paketi yüklenir ve çalışılacak klasöre kopyalanır.  
library("SSN")  
ssnpath= setwd("C:/spmodels/KMN_300421/lsn")  
  
#####  
## 4. `SpatialStreamNetwork` Nesnesinin oluşturulması  
#####  
## 4.2. `SpatialStreamNetwork` nesnesinin yüklenmesi ve alt gruplandırılması  
#####  
## SSN objesi bir değişkene atanarak R ortamına alınır.  
## importSSN(Path, predpts = NULL, o.write = FALSE)  
  
kmp <- importSSN("lsn.ssn", predpts = "preds")  
names(kmp@data)  
#####  
### 4.3. Katkı fonksiyon değerinin üretilmesi  
#####  
### STARS aracı kullanılarak daha önce oluşturulmuş katkı fonksiyon değeri R'da da  
hesaplanabilmektedir.  
additive.function(kmp, "kum_alan", "areaAFV")  
  
names(kmp@data)  
head(kmp@data[, c("kum_alan", "afvArea")])  
kmp <- additive.function(kmp, "kum_alan", "computed.afv")  
  
names(kmp@data)  
head(kmp@data[, c("kum_alan", "afvArea", "computed.afv", "afvCN")])  
  
#####  
### 4.4. Mesafe Matrisinin Hesaplanması  
#####  
  
createDistMat(kmp, predpts = "preds", o.write = TRUE,  
              amongpreds = TRUE)  
distObs <- getStreamDistMat(kmp)  
str(distObs)  
#write.table(distObs, "C:/spmodels/KMN_300421/R MODEL/hydrdist_sites.txt",  
              sep="\t")  
  
## Ölçüm Noktaları mesafeleri Sütun değerlerinden >> satır değerlerine doğrudur.  
  
distObs$dist.net1[1:10,1:10]  
distpred <- getStreamDistMat(kmp, Name = "preds")
```

```

str(distpred)
#write.csv(distpred$dist.net1.a,"C:/spmodels/KMN_300421/RMODEL/hydrdist_preds.t
xt")
distpred$dist.net1.a[1:10,1:10]

#####
## 5. SSN kullanılarak Veri Analizi
#####
## 5.1. Keşifsel Veri Analizi
#####

names(kmp)

plot(kmp, lwdLineCol = "alkalinite ", lwdLineEx = 10, lineCol = "blue",
     pch = 19, xlab = "x-coordinate (m)", ylab = "y-coordinate (m)",
     asp = 1)

brks <- plot(kmp, "alkalinite", lwdLineCol = "afvArea",
             lwdLineEx = 15, lineCol = "black", xlab = "x-coordinate" ,
             ylab = "y-coordinate", asp=1 )
##Nehir çizgilerinin haritalanması
plot(as.SpatialLines(kmp), col = "blue")
## Ölçüm istasyonlarının sonuçlarına orantılı olarak eklenmesi
plot(as.SpatialPoints(kmp), pch = 19,
     cex = as.SpatialPointsDataFrame(kmp)$alkalinite /1000 , add = TRUE)
## Tahmin noktalarının eklenmesi
plot(as.SpatialPoints(kmp, data = "preds"), cex = 0.5, add = TRUE)

## Semivaryansın tahmini için kullanılan çift sayısı
EVout <- EmpiricalSemivariogram(kmp, "alkalinite", directions = 0, tolerance = 180,
                               nlag = 10)

## Semivaryansın tahmini için kullanılan çift sayısına bağlı olarak noktaların grafiğinin
çizilmesi
plot(EVout$distance, EVout$gamma, pch = 19, cex = EVout$np/550, ylim = c(0,18000),
     ylab = "Semivaryans sınıfı", xlab = "Mesafe", col = "blue",
     main = "Ampirik Semivaryogram - alkalinite ")

km.Torg <- Torgegram(kmp, "alkalinite", nlag = 10, maxlag = 150000)
plot(km.Torg)

plot(km.Torg, sp.relationship = "fc", col = "red", main = "Flow-connected Torgegram")
plot(km.Torg, sp.relationship = "fu", min.cex = .4, max.cex = 8,
     main = "Flow-unconnected Torgegram")
plot(km.Torg, min.cex = 2, max.cex = 5, col = c("blue", "green"),
     main = "alkalinite Torgegram", ylab = "semivaryans",
     xlab = "Hidrolojik Mesafe")
#####
### 5.2. Model uydurulması

```

```
#####
names(kmp)
  km.glmssn0 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500 , kmp,
                      CorModels = NULL, use.nugget = TRUE)
summary(km.glmssn0)

km.glmssn1 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500, kmp,
                    CorModels = c("LinearSill.tailup"), addfunccol = "afvArea")
summary(km.glmssn1)

#####
### 5.3. Bakiyeler ve Teşhisler
#####

km.resid1 <- residuals(km.glmssn1)
names( getSSNdata.frame(km.resid1))
plot(km.resid1)

par(mfrow = c(1, 2))
hist(km.resid1)
hist(kmp, "alkalinite")

ObsDFr <- getSSNdata.frame(km.resid1)
ObsDF <- getSSNdata.frame(kmp)
indOutlier <- ObsDFr["_resid_"] < 0 & ObsDFr["_resid_"] > -5
ObsDF[indOutlier, "alkalinite"] <- NA
kmc <- putSSNdata.frame(ObsDF, kmp)

kmc.glmssnAlk<- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500 , kmc,
                      CorModels = c("Exponential.taildown", "Exponential.tailup",
                                     "Exponential.Euclid"), addfunccol = "afvArea", EstMeth = "ML")
summary(kmc.glmssnAlk)
varcomp(kmc.glmssnAlk)

kmc.glmssn1 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500 ,kmc,
                    CorModels = c("LinearSill.tailup"), addfunccol = "afvArea", EstMeth =
"ML")
summary(kmc.glmssn1)
varcomp(kmc.glmssn1)

cv.out <- CrossValidationSSN(kmc.glmssn1)
par(mfrow = c(1, 2))
plot(kmc.glmssn1$sampinfo$z,
     cv.out[, "cv.pred"], pch = 19,
     xlab = "Ölçüm Sonuçları", ylab = "LOOCV Tahmin")
abline(0, 1)
plot( na.omit( getSSNdata.frame(kmc)[, "alkalinite"]),
     cv.out[, "cv.se"], pch = 19,
     xlab = "Ölçüm Sonuçları", ylab = "LOOCV Tahmin SE")
```

```
CrossValidationStatsSSN(kmc.glmssn1)
```

```
#write.table(cv.out,      "C:/spmodels/KMN_300421/R      MODEL/cv_alkalinite2.txt",  
sep="\t")
```

```
GR2(kmc.glmssn1)  
varcomp(kmc.glmssn1)
```

```
#####  
### 5.4. Model Seçimi  
#####
```

```
AIC(kmc.glmssnAlk)  
AIC(kmc.glmssn1)
```

```
kmc.glmssn1 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("Exponential.tailup"),  
  addfunccol = "afvArea", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn2 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("LinearSill.tailup"),  
  addfunccol = "afvArea", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn3 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("Mariah.tailup" ),  
  addfunccol = "afvArea", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn4 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("Spherical.tailup"),  
  addfunccol = "afvArea", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn5 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("Epanech.tailup" ),  
  addfunccol = "afvArea", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn6 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("Spherical.tailup"),  
  addfunccol = "afvCN", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn7 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("Exponential.tailup"),  
  addfunccol = "afvCN", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn8 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("LinearSill.tailup"),  
  addfunccol = "afvCN", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn9 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("Mariah.tailup" ),  
  addfunccol = "afvCN", EstMeth = "REML")  
kmc.glmssn10 <- glmssn(alkalinite ~ sicaklik + CN + kum_silis + KumTes500,kmc,  
  CorModels = c("Epanech.tailup" ),  
  addfunccol = "afvCN", EstMeth = "REML")
```

```
options(digits = 4)
```

```
InfoCritCompare(list(kmc.glmssn1, kmc.glmssn2, kmc.glmssn3, kmc.glmssn4,
kmc.glmssn5,kmc.glmssn6,kmc.glmssn7, kmc.glmssn8, kmc.glmssn9,kmc.glmssn10 ))
options(digits = 7)
```

```
summary(kmc.glmssn8)
GR2(kmc.glmssn8)
varcomp(kmc.glmssn8)
```

```
kmc.resid2 <- residuals(kmc.glmssn8, cross.validation = TRUE)
kmc.resid2.cv.std <-
  getSSNdata.frame(kmc.resid2)[, "_resid.crossv_"] /
  getSSNdata.frame(kmc.resid2)[, "_CrossValStdErr_"]
hist(kmc.resid2.cv.std)
```

```
plot(Torgegram(kmc.resid2, "_resid_", nlag =10, maxlag = 180000))
```

```
#####
### 5.5. Tahminleme
#####
```

```
kmc.preds <- predict(kmc.glmssn8,"preds")
```

```
plot(kmc.preds, SEcex.max = 1, SEcex.min = .5/3*2,
      breaktype = "user", brks = brks)
tahmin = getPreds(kmc.preds, pred.type = "pred")
write.table(tahmin, "C:/spmodels/KMN_300421/R MODEL/tahmin_alkalinite.txt",
sep="\t")
```

```
kmc.missingobs <- predict(kmc.glmssn8, "_MissingObs_")
getPreds(kmc.missingobs, pred.type = "pred")
```

```
with(getSSNdata.frame(kmp), alkalinite [pid==14158])
```