

**ŞEHİRSEL HAVZALARDA OLUŞAN SU
KİRLİLİĞİNİN HSPF İLE MODELLENMESİ
VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN
BELİRLENMESİ-ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ**

Burcu ŞİMŞEK

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık - 2011

Bu tez çalışması 108Y091 No'lu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Burcu Şimşek' in “**Şehirsel Havzalarda Oluşan Su Kirliliğinin HSPF ile Modellenmesi ve İklim Değişikliği Etkilerinin Belirlenmesi-Eskişehir Örneği**” başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 02.11.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç.Dr. Mine ALBEK
Üye	: Yard.Doç.Dr.Serdar GÖNCÜ
Üye	: Yard.Doç.Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEHİRSEL HAVZALARDA OLUŞAN SU KİRLİLİĞİNİN HSPF İLE MODELLENMESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ-ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ

Burcu ŞİMŞEK

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mine ALBEK
2011, 119 sayfa

Sanayi devriminden sonra hızla gelişen teknoloji, fosil yakıtların kullanılması, arazi kullanım değişiklikleri, endüstriyel kaynaklardan atmosfere salınan sera gazlarının birikimleri küresel ısınma ve dolayısıyla iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklim değişikliğiyle birlikte hidrolojik ve ekolojik dengeler de değişim göstermektedir. Ayrıca hızla artan nüfus ve suyun bilinçsizce kullanılması su kaynaklarını yok etmektedir. Evsel ve endüstriyel kaynaklardan gelen kirlilik bunun en önemli sebeplerindedir.

Bu çalışmada, İç Batı Anadolu bölgesinde bulunan Porsuk Çayı havzasındaki Eskişehir kent merkezi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilen HSPF model programı kullanılarak su kirliliğine neden olan bazı parametreler (nitrat, ortofosfat, sediment, toplam koliform, çözülmüş oksijen) modellenmiştir. Bu çalışma iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde hidrolojik model ele alınmıştır, ikinci bölümde ise iklim değişikliği 2100 yılına kadar olabilecek etkileri senaryolar kullanılarak ortaya konmuştur. Ayrıca, şehirselle alanların model parametreleri değiştirilerek minimum ve maksimum derişim değerleri bulunmuştur. Böylece, şehirselle alanların hem havza hidrolojisine hem de su kalitesi üzerine olan etkileri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: HSPF, iklim değişikliği, Porsuk Çayı, Hidrolojik model

ABSTRACT

Master of Science Thesis

MODELING OF WATER POLLUTION IN URBAN WATERSHEDS WITH HSPF AND DETERMINATION OF CLIMATE CHANGE EFFECTS ESKİŞEHİR MODEL

Burcu ŞİMŞEK

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mine ALBEK
2011, 119 pages

Technological advances which especially accelerated after industrial revolution, using fossil fuel usage, land use changes, emissions of greenhouse gases from industrial sources contribute to global warming and consequently climate change. Climate change affects hydrological and ecological processes significantly. Besides, population is increasing and inefficient water use contributes to depletion of water sources. Pollution from domestic and industrial sources is also stress water sources.

In this study, the study area is the city of Eskişehir which is located in the Porsuk Stream Watershed in Western Inner Anatolia. The HSPF model (Hydrological Simulation Program-Fortran) developed by United States Environment Protection Agency-EPA has been used to model water pollution arising from impervious areas. The study has two major parts. The first part deals with the hydrologic model and the second part with climate change effects. Scenarios till 2100 are investigated. Besides, minimum and maximum concentration values for model parameters in urban watershed are found. By this way, effects of urban centers are determined both on watershed hydrology and water quality.

Keywords: HSPF, climate change, Porsuk Stream, hydrologic model

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ETKİLERİ	2
2.1. İklim Değişikliğinin Su Sistemlerine Etkileri	7
2.1.1. Yağışlar	8
2.1.2. Akışlar	9
2.1.3. Buharlaşma.....	11
2.1.4. Kar ve buz	11
2.1.5. Yer altı suyu	12
2.2. Hayvan Populasyonları	14
2.3. Bitkiler Üzerine Etkileri.....	15
2.4. Kuraklık ve Toprak Nemi Üzerine Etkileri.....	16
2.5. Erozyon Üzerine Etkileri	19
2.6. Ekosistemler Üzerine Etkileri	20
3. İKLİM SENARYOLARI VE MODELLERİ	22
3.1. IS92 Senaryoları.....	22
3.2. SRES Senaryoları.....	22
3.2.1. A1 Senaryosu	22
3.2.2. A2 Senaryosu	23
3.2.3. B1 Senaryosu	24
3.2.4. B2 Senaryosu	24
3.3. GCM-Küresel İklim Modelleri	25

4. HSPF PRORAMI TANITIMI	28
4.1. Geçirimli Kara Parçalarının Modellenmesi(PERLND Modülü).....	28
4.2. Geçirimsiz Kara Parçalarının Modellenmesi(IMPLND Modülü).....	30
4.2.1. Yükseklik farkına göre hava sıcaklığının düzeltilmesi	32
4.2.2. Kar ve buzun erime ve depolanmasının modellenmesi.....	33
4.2.2.1. Meteorolojik koşulların tahmini.....	34
4.2.2.2. Yağışın örtüye etkisinin belirlenmesi.....	34
4.2.2.3. Örtünün sıkışması	35
4.2.2.4. Kar örtüsünden buharlaşma.....	35
4.2.2.5. Isı değişim hızının tahmini.....	35
4.2.2.6. Kar örtüsünden ısı kaybının simülasyonu	36
4.2.2.7. Kar örtüsünün ısınması	36
4.2.2.8. Kalan herhangi bir ısıyı kullanarak örtünün erimesi.36	
4.2.2.9. Örtüdeki sıvı suyun hesaplanması.....	36
4.2.2.10. Örtüde buz oluşumunun simülasyonu	37
4.2.2.11. Yerden ısı alarak örtünün erimesi	37
4.2.3. Geçirimsiz kara parçası için su bütçesi simülasyonu	38
4.2.3.1. Su bütçesinin akış simülasyonu	39
4.2.3.2. Sediment birikimi ve uzaklaşması simülasyonu	41
4.2.3.3. Su sıcaklığı ve çözülmüş gaz konsantrasyonu simülasyonu	43
4.2.3.4. Su kalitesi bileşenlerinin simülasyonu	44
4.3. Serbest Akışlı Bir Akarsuyun yada Tam Karışmış Bir Rezervuarın Modellenmesi (RCHRES Modülü)	46
4.3.1. Hidrolik davranışın modellenmesi	47
4.3.2. Tümüyle tutunmuş bileşenlerin adveksiyon modellenmesine hazırlanması	49
4.3.3. Konservatif bileşenlerin modellenmesi.....	50
4.3.4. Isı değişimi ve su sıcaklığının modellenmesi	50
4.3.5. İnorganik sediment davranışının modellenmesi.....	51
4.3.6. Genel kalite bileşenlerinin davranışlarının modellenmesi	51
4.3.7. Biyokimyasal dönüşümlerdeki bileşenlerin modellenmesi... 53	

4.4. HSPF ile Yapılan Çalışmalar	53
5. ÇALIŞMA ALANI	58
5.1. Bölgenin ve Çalışma Alanının Tanıtımı	58
5.2. Topografya ve Jeomorfolojik Durum.....	60
5.3. İklim	62
5.4. Doğal Bitki Örtüsü	62
5.5. Tarımsal Faaliyetler	62
5.6. Meteorolojik Veriler.....	63
5.3. Havzada Yürütülen Çalışmalar	64
6. MODELİN UYGULANMASI	69
7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	73
7.1. Geçirimsiz Kara Parçasının Model Sonuçları	73
7.2. Geçirimsiz Kara Parçasının Etkileri.....	78
7.3. İklim Senaryoları Sonuçları	87
7.4. İklim Senaryolarına Göre Kirlilik Parametrelerinin Maksimum ve Minimum Değerleri.....	106
8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	115
KAYNAKLAR	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Küresel sera gazları emisyonları.....	4
2.2. 1880-2000 yılları arası sıcaklık değişimi.....	6
3.1. SRES senaryoları şematik gösterimi	23
3.2. SRES senaryolarının niceliksel açıdan incelenmesi.....	24
3.3. İklim senaryolarına göre CO ₂ ve SO ₂ emisyonlarındaki değişim	25
3.4. SRES A2 ve farklı iklim modellerinin dünya çapında benzeştirilmiş şekli ile ortalama yıllık akıştaki değişiklikler.....	26
4.1. HSPF genel hidrolojik modeli	29
4.2. PERLND modülünün yapısı	30
4.3. IMPLND bölümünün işlemi	31
4.4. IMPLND modülünün yapısı	32
4.5. IMPLND modülünün IWATER bölümü için akım şeması	38
4.6. RCHRES modülünün yapısı	47
4.7. HYDR bölümü akım şeması.....	48
5.1. Porsuk Çayı.....	61
5.2. Çalışma alanı	61
5.3. Meteoroloji istasyonları	64
5.4. Aşağı Porsuk Çayı Havzası ve Eskişehir.....	65
7.1. Geçirimsiz kara parçasında ortofosfat derişimleri.....	74
7.2. Geçirimsiz kara parçasında nitrat derişimleri.....	75
7.3. Geçirimsiz kara parçasında koliform sonuçları	75
7.4. Geçirimsiz kara parçasında sediment derişimleri.....	76
7.5. Geçirimsiz kara parçasında klorür derişimleri.....	77
7.6. Geçirimsiz kara parçasının yüzeysel akışa etkisi.....	79
7.7. Geçirimsiz kara parçasının ortofosfat derişimine etkisi	81
7.8. Geçirimsiz kara parçasının nitrat derişimine etkisi	82
7.9. Geçirimsiz kara parçasının koliform sonuçlarına etkisi	84
7.10. Geçirimsiz kara parçasının sediment derişimine etkisi	86
7.11. C3A1B iklim senaryosuna göre ortofosfat derişimleri.....	88

7.12. C3A2 iklim senaryosuna göre ortofosfat derişimleri	88
7.13. H3B2 iklim senaryosuna göre ortofosfat derişimleri	89
7.14. C3A1B iklim senaryosuna göre nitrat derişimleri.....	90
7.15. C3A2 iklim senaryosuna göre nitrat derişimleri.....	90
7.16. H3B2 iklim senaryosuna göre nitrat derişimleri.....	91
7.17. C3A1B iklim senaryosuna göre sediment derişimleri	91
7.18. C3A2 iklim senaryosuna göre sediment derişimleri.....	92
7.19. H3B2 iklim senaryosuna göre sediment derişimleri.....	92
7.20. C3A1B iklim senaryosuna göre koliform sayıları	93
7.21. C3A2 iklim senaryosuna göre koliform sayıları.....	93
7.22. H3B2 iklim senaryosuna göre koliform sayıları.....	94
7.23. C3A1B iklim senaryosuna göre klorür derişimleri.....	94
7.24. C3A2 iklim senaryosuna göre klorür derişimleri	95
7.25. H3B2 iklim senaryosuna göre klorür derişimleri	95
7.26. C3A1B iklim senaryosuna göre ortofosfat derişimleri ortalaması	96
7.27. C3A2 iklim senaryosuna göre ortofosfat derişimleri ortalaması.....	96
7.28. H3B2 iklim senaryosuna göre ortofosfat derişimleri ortalaması.....	97
7.29. C3A1B iklim senaryosuna göre nitrat derişimleri ortalaması	97
7.30. C3A2 iklim senaryosuna göre nitrat derişimleri ortalaması	98
7.31. H3B2 iklim senaryosuna göre nitrat derişimleri ortalaması	98
7.32. C3A1B iklim senaryosuna göre sediment derişimleri ortalaması	99
7.33. C3A2 iklim senaryosuna göre sediment derişimleri ortalaması.....	99
7.34. H3B2 iklim senaryosuna göre sediment derişimleri ortalaması.....	100
7.35. C3A1B iklim senaryosuna göre klorür derişimleri ortalaması.....	100
7.36. C3A2 iklim senaryosuna göre klorür derişimleri ortalaması.....	101
7.37. H3B2 iklim senaryosuna göre klorür derişimleri ortalaması.....	101
7.38. C3A1B iklim senaryosuna göre koliform sayıları ortalaması	102
7.39. C3A2 iklim senaryosuna göre koliform sayıları ortalaması.....	102
7.40. H3B2 iklim senaryosuna göre koliform sayıları ortalaması.....	103
7.41. Ortofosfat derişiminin C3A2 senaryosu ve gözlem sonuçları.....	103
7.42. Nitrat derişiminin C3A2 senaryosu ve gözlem sonuçları	104
7.43. Sediment derişiminin C3A2 senaryosu ve gözlem sonuçları	104

7.44. Klorür derişiminin C3A2 senaryosu ve gözlem sonuçları.....	105
7.45. C3A1B iklim senaryosuna göre max ve min ortofosfat derişimleri.....	106
7.46. C3A2 iklim senaryosuna göre max ve min ortofosfat derişimleri.....	107
7.47. H3B2 iklim senaryosuna göre max ve min ortofosfat derişimleri.....	107
7.48. C3A1B iklim senaryosuna göre max ve min nitrat derişimleri	108
7.49. C3A2 iklim senaryosuna göre max ve min nitrat derişimleri.....	108
7.50. H3B2 iklim senaryosuna göre max ve min nitrat derişimleri.....	109
7.51. C3A1B iklim senaryosuna göre max ve min sediment derişimleri	109
7.52. C3A2 iklim senaryosuna göre max ve min sediment derişimleri.....	110
7.53. H3B2 iklim senaryosuna göre max ve min sediment derişimleri.....	110
7.54. C3A1B iklim senaryosuna göre max ve min klorür derişimleri.....	111
7.55. C3A2 iklim senaryosuna göre max ve min klorür derişimleri	111
7.56. H3B2 iklim senaryosuna göre max ve min klorür derişimleri	112
7.57. C3A1B iklim senaryosuna göre max ve min koliform sayıları	113
7.58. C3A2 iklim senaryosuna göre max ve min koliform sayıları.....	113
7.59. H3B2 iklim senaryosuna göre max ve min koliform sayıları.....	114

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Başlıca sera gazlarının değişim oranları ve kaynakları.....	5
2.2. Yağış şiddeti gruplarıyla erozyon arasındaki ilişkiler	20
4.1. Yüzey özelliklerine göre Manning n değerleri.....	40
6.1. Meteoroloji istasyonları bilgileri.....	63
6.2. Laboratuarda gerçekleştirilen analizler	67
7.1. Şekerçiftliği istasyonunun yüzeysel akış için t testi sonuçları	79
7.2. Geçirimsiz bölgelerdeki ortofosfat derişimi için t testi sonuçları	80
7.3. Geçirimsiz bölgelerdeki nitrat derişimi için t testi sonuçları	81
7.4. Geçirimsiz bölgelerdeki koliform sayısı için t testi sonuçları.....	82
7.5. Geçirimsiz bölgelerdeki sediment derişimi için t testi sonuçları	83

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AKM	:Askıda Katı Madde
CGCM1	:Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (Kanada İklim Modelleme ve Analiz Merkezi)
DSİ	:Devlet Su İşleri
DMİ	:Devlet Meteoroloji İşleri
EİEİ	:Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GCM	:Genel Çevrim Modelleri
HSPF	:Hydrological Simulation Program- Fortran (Hidrolojik Modelleme Programı-Fortran)
IMPLND	:Impervious Land Segment (Geçirimsiz Kara Parçası)
IPCC	:Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli)
ISLSCP	:International Satellite Land Surface Climatology Project
KHGM	:Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
KOİ	:Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PERLND	:Pervious Land Segment (Geçirimli Kara Parçası)
SRES	:Special Report on Emissions Scenarios (Emisyon Senaryosu Özel Raporu)
USEPA	:United States Environmental Protection Agency, Birleşik Devletler Çevre Koruma Örgütü
WARMF	:Watershed Analysis Risk Management Framework (Havza analizi Risk Yönetim Çerçevesi)

1.GİRİŞ

İnsan faaliyetleri ilk çağlardan itibaren çevreyi olumsuz etkilemiştir. Bu etki başlarda göreceli olmuş ve çevre bu etkiyi doğal mekanizmasıyla tolere etmiştir. Fakat özellikle sanayi devriminden sonra insan aktiviteleri sonucu sera gazlarının artmasıyla iklim değişikliğinde de artış görülmektedir. İklimdeki değişimden mevcut su kaynakları da etkilenmektedir. Sıcak hava dalgaları, yağış, kuraklık, deniz seviyesinin yükselmesi, doğal afetler de iklim değişikliğinin sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel ısınmanın sürmesi durumunda, bazı bölgeler için aşırı yüksek sıcaklıklar, taşkınlar, yaygın ve şiddetli kuraklık olayları, orman yangınları gibi ekolojik dengeyi tamamen bozacak değişiklikler olması beklenmekte ve bunun sonucunda su kaynaklarının da olumsuz yönde etkileneceği düşünülmektedir.

Küresel ısınmanın yanı sıra sanayileşme, kentleşme, nüfusun artışı, tarım, erozyon gibi olaylar su kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle şehre yakın havzalarda evsel ve endüstriyel kaynaklardan gelen organik kirlilik ve buna bağlı olarak çözülmüş oksijendeki azalma ötrofikasyon sorununu ortaya çıkarmaktadır. Dünya nüfusunun her 45 yılda bir ikiye katlanması nedeniyle dünyadaki su ihtiyacı da giderek artmaktadır. Bu sebeple suyun kalitesi ve miktarı için gerekli kriterlerin göz önünde bulundurulduğu havza yönetim planlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Su kaynakları kaybına yol açan çevresel olaylar önem teşkil etmektedir; fakat Türkiye’de bu çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu tezin konusu, iklim değişikliğinin şehirselleşen havzalar üzerinde ne gibi etkiler oluşturabileceğini ve şehirselleşen havzaların su kirliliğine etkilerini HSPF (Hydrological Simulation Program- Fortran) model programı kullanarak incelemektir. Böylece, gelecekte iklim değişikliğinin yaratabileceği su kaynakları problemlerine karşın öngörüler yapılabilecektir. Ayrıca şehirselleşen bir havzada su kaynaklarının daha iyi bir biçimde yönetilmesi için planlanan projelere yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ETKİLERİ

Yüzyıllar boyunca süregelen insan kaynaklı aktiviteler dünya atmosferinin hassas kimyasal dengesini değiştirmektedir. Bilim adamları bu faaliyetlerin iklime olan etkilerini belirlemeye ve sınıflandırmaya çalışmaktadırlar. Özellikle sıcaklık ve yağıştaki ani değişimlere, büyük hava olaylarının sıklığına ve boyutuna dikkat çekmektedirler.

Çoğu insan iklimi basit bir süreç olarak görmektedir. Fakat, iklim sistemi kimyasal, fiziksel ve biyolojik birçok etkileşimi içermektedir (Hava, su, buz, kara yüzeyi, bitkiler ve hayvanlar arasında). Dünya ikliminin karışık doğası bilimsel bir zorluk oluşturmaktadır (Dimento ve Doughman, 2007).

İklim değişikliği ve sanayi, yerleşim alanları ve toplumla birçok sebepten dolayı bağlantılıdır. Karbon içeren emisyonların gittikçe artmasına nüfus artışı, ekonomik büyüme, teknolojik gelişme, göç ve yönetim programları gibi etkiler sebep olmaktadır. Böylece sanayileşmiş ülkelerin neden karbon salınımlarına en büyük katkıyı verdikleri anlaşılmaktadır. Bu tür etkiler aynı zamanda iklim değişikliği ile de ilişkilidir. Özellikle kalkınmakta olan ülkelerin bazı bölgeleri iklim değişikliğine daha fazla maruz kalmaktadır (Şen, 2009).

Sanayi, yerleşim alanları ve toplum için temel sorunlar arasında iklim değişikliği etkileri, maliyetlerin çeşitli şartlarda normal uyarlamaların ötesine geçmesi ihtimali her zaman bulunur. Bu gibi durumlarda insan hayat tarzının nesilden nesile sürdürülebilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır. İnsan yerleşim ve faaliyet alanlarının iklim değişikliğine maruz kalması yani korunmaya muhtaç halde olması bölgenin kurak, ılıman, kutup, kıyı, orman, tarım sahası gibi özellikleriyle doğrudan ilişkilidir (IPCC, 2007).

Belirli dönemlerde, dünyamızın unsurları arasındaki doğal dengenin çeşitli nedenlerle bozulmasına bağlı olarak, iklimde de büyük değişmeler olmuştur. İnsanlık tarihinin başladığı dönemden günümüze kadar olan süreçte, yeryüzünün buzullarla kaplandığı, buzul ve buzullar arası dönemlerde yaşanmış doğal ve beşeri çevre büyük ölçüde değişmiştir.

Bugün hemen hemen bütün iklim bilimciler tarafından, dünya iklim sisteminde bir bozulmanın olduğu kabul edilmektedir. Doğal dengenin

bozulmasına neden olan insanların, gerekli önlemler alınmadan çeşitli etkinliklerinin devam etmesi halinde iklimdeki bu bozulmaların artarak, sonucu olumsuz olabilecek küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliklerinin yaşanacağı, kesin bir dille ifade edilmektedir. Atmosferdeki sera gazı birikimlerinde ve partiküllerde meydana gelecek artış, doğal çevrenin tahribi, ozon tabakasındaki incelme, küresel boyutta sıcaklık artışına neden olacaktır (Öztürk, 2002).

1824'te Fransız bilim adamı Joseph Fourier dünya atmosferinde var olan sıcaklık fazla olduğundan gezegenimizin ortalama sıcaklığının arttığı hipotezinin kurmuştur. Nasıl bir bitki kapalı bir kabın içinde yaşadığında ısınırsa, atmosferin dünya yüzeyine ısınma etkisinin de aynı olacağını savunmaktadır. Bu "sera gazı etkisi" dir (Dimento ve Doughman,2007).

Zaman geçtikçe dünya atmosferindeki sera gazı konsantrasyonları doğal ve antropojenik olaylar nedeniyle değişime uğramaktadır ve bu değişimleri iklimlerin değişmesi sonucu takip etmektedir. Sıcaklık hava dalgaları atmosferde yüksek miktarda sera gazlarıyla, soğuk hava dalgaları ise düşük sera gazları varlığıyla ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte, bu değişimler doğal döngülerin de bir parçasıdır ve oluşumu yıllarca sürmektedir.

İnsan aktiviteleri iklim değişikliğinde payı olan çeşitli sera gazları üretmektedir. Bu gazların dünya iklimine olan bireysel ve kümülatif etkilerini belirlemek için, toplam miktarı, doğal ortamda kaybolma hızı, geçmiş zamandaki miktarı ve artış hızı, ısınma potansiyeli gibi bilgileri belirlememiz gerekmektedir.

Atmosfer, hacimsel olarak %99,9 gibi bir oranla %78,09 azot, %20,95 oksijen ve %0,93 oranında argondan meydana gelmektedir. Bununla birlikte çok az miktarda bulunan, karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kloroflorokarbon bileşikleri (CFCs) ve ozon iklimi en fazla etkileyen bileşenlerdir. Su buharı da oldukça değişken oranlarda bulunur (%0,5-4) ve iklimi önemli ölçüde etkiler.

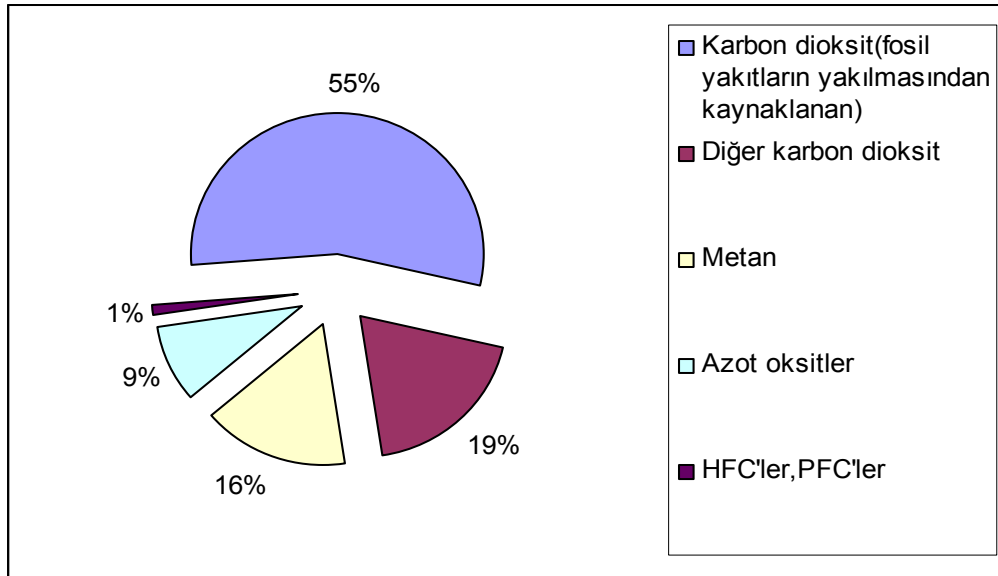
Karbon dioksit (CO₂) atmosferde doğal olarak bulunan bir bileşiktir ve çok reaktiftir. Geçtiğimiz 150 yıl boyunca ve özellikle son 30 yıldır insanlar atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunu arttırmaktadır. Fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımının değişmesi, endüstriyel üretim bu artışın başlıca nedenleridir (Hardy, 2004). 2005'te CO₂ konsantrasyonu 228 ppm'den 379 ppm'e çıkmıştır ve

her yıl yaklaşık %0,5 değerinde artış olmaya devam etmektedir. Tüm emisyon kaynakları bugün kesilse bile atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu düzeyi 100 ila 300 yıl devam edecektir (IPCC, 2007).

Metan (CH₄) oksijenin olmadığı ortamda organik maddenin bozunmasıyla oluşmaktadır. Fosil yakıtlar, pirinç tarlaları, atık sahaları, hayvancılık metanın oluşumunun nedenlerindedir. Konsantrasyonu son yıllarda nerdeyse %150 artmıştır ve her yıl %1,1 artmaya devam etmektedir.

Azot oksit (N₂O) gübreleme, endüstriyel süreçler ve yanma nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Konsantrasyonu geçtiğimiz 20-30 yıl boyunca 0,8 ppb artmıştır (IPCC, 2007).

Kloroflorokarbonlar ve hidrokloroflorokarbonların başlıca kaynakları sıvı soğutucular, köpükler, spreyler, ve temizleme çözeltileridir. Doğada uzun yarılanma süresine sahip olmaları nedeniyle önemli sera gazları olarak görülmektedir (Hardy, 2004). Şekil 2.1.'de sera gazları ve emisyon oranları verilmiştir.



Şekil 2.1. Küresel sera gazları emisyonları (Dimento ve Doughman, 2007)

Amerika'da yapılan ölçümlere göre sera gazları oranları karbon dioksit %84, metan %9, azot oksit %5, HFC'ler ve PFC'ler %2'dir. Çizelge 2.1.'de başlıca sera gazları değişim oranları ve kaynakları verilmiştir.

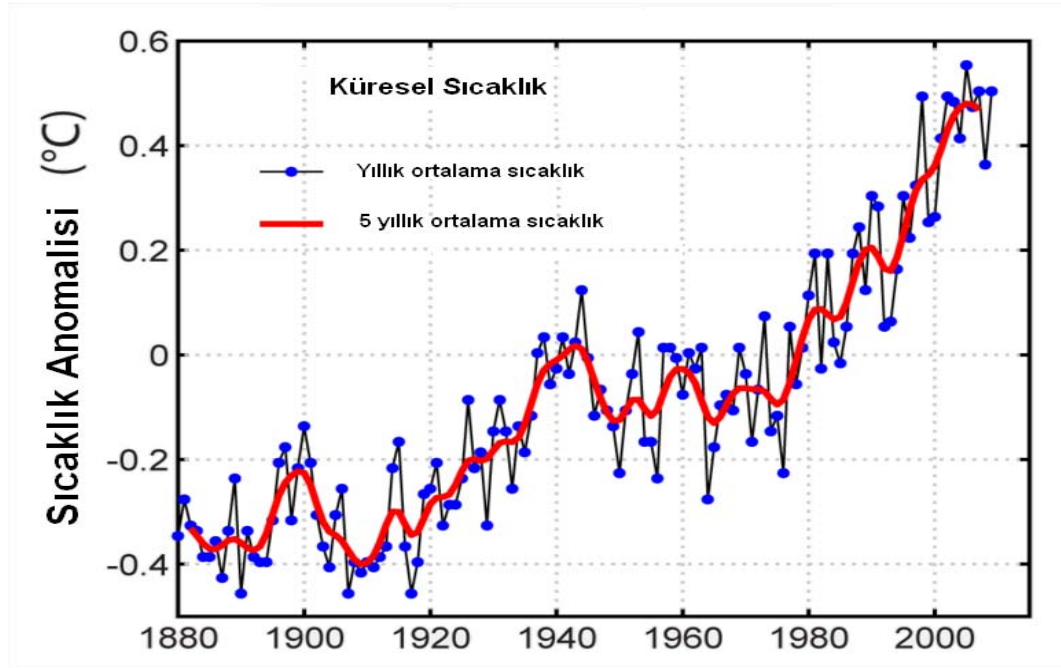
Çizelge 2.1. Başlıca sera gazlarının değişim oranları ve kaynakları (Dimento ve Doughman, 2007)

Sera Gazları	Yoğunluk (1750)	Yoğunluk (2003)	Değişim %	Doğal ve Suni Kaynaklar
Karbondiyoksit (CO ₂)	280ppm	376ppm	34	Organik çürüme, Orman yangınları, volkanlar, fosil yakıtların yanması, ormanların tahrip edilmesi, yanlış toprak kullanımı
Metan (CH ₄)	0,71ppm	1,79ppm	52	Islak alanlar, organik çürüme, termitler, doğal gaz ve petrol çıkartılması, pirinç üretimi
Azotoksit (N ₂ O)	270ppb	319ppb	18	Ormanlar, yeşil alanlar, okyanuslar, toprak işleme, gübreleme, fosil yakıtların yanması
Kloroflorokarbon (CFCs)	0	880ppt	-	Soğutucular, spreyler, kimyasal çözücüler
Ozon	-	Atmosferde enlemlere ve yükseltiyeye bağlı olarak değişmektedir	Stratosfer tabakasında azalmakta, yeryüzüne yakın alanlarda artmaktadır	Güneş ısınlarının direkt olarak oksijen molekülleri üzerine olan etkisi ile doğal olarak gerçekleşmektedir.

Bilim adamlarının ortak kararı insan kaynaklı sera gazı konsantrasyonlarında gözle görülür bir artışın olduğudur ve geçtiğimiz yüzyılda sıcaklıkta ortalama 0,74°C artış olduğu gözlenmiştir (Alley, 2001). Ayrıca 1850 yılından 2000 yılına kadar yüzey sıcaklığı 0,6 °C -1 °C artmıştır. Geçmiş elli yılın ısınma hızı ondan önceki yüz yılın neredeyse iki katıdır. Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi özellikle sanayi devriminden sonra sıcaklıkta 2000'li yıllara kadar ortalama 0.8°C artış olmuştur.

Sera gazlarındaki artış hidrolojik dengeyi önemli ölçüde etkilemektedir. Okyanuslarda iklim değişikliğine bağlı çeşitli değişimler gözlenmektedir. Dip

sularının yüzey suları ile karışmasını sağlayan Ekman taşınımları, iklim değişimi ile değişmektedir. Böylelikle bazı kıyı bölgelerinde daha az yağış ve artan bir rüzgar hızı oluşmaktadır. Diğer taraftan eriyen buzullardan okyanusa karışan tatlı su miktarının artışı Kuzey Atlantik'in ısınmasına yol açmaktadır (Hardy, 2004). 1950'den beri yapılan çalışmalarda okyanuslarda 300m'den yukarı kısımların sularında 0,31 °C sıcaklık artışı olduğu belirlenmiştir (Levitus ve ark., 2000). Bunun yanı sıra yine buzulların erimesiyle deniz seviyelerinde yükselmeler görülmektedir. 1961-2003 yılları arasında yapılan çalışmalarda deniz seviyesinde 1,3-2,3 mm yükselme belirlenmiştir. Ayrıca 2100 yılına kadar deniz seviyesinin 0,28-0,43 m yükseleceği öngörülmüştür. Bilgisayar modelleri de Arktik okyanusunun buzunun inceleceğini, Greenland buzullarının eriyeceğini ve buzsuz deniz alanlarının artacağını tahmin etmiştir. Deniz kenarında yaşayan çoğu insan suyun yükselmesi nedeniyle yaşam alanlarını değiştirmek zorunda kalacaktır (Hardy, 2004).



Şekil 2.2. 1880-2000 yılları arası sıcaklık değişimi

Artan kentleşme ve modern sanayinin gelişimi ile birlikte hava kalitesi birçok kent bölgesinde daha belirgin bir sorun haline gelmiştir. Londra, Chongqing, Lanzhou ve Meksiko City gibi birçok kent hava kirliliği sorunları

yaşamaktadır. Genel kural olarak iklim değişikliğinin bu sorunlarla nasıl karşılıklı etkileşime gireceği belirgin değildir. Ancak hava sıcaklığı artışlarının birçok kentteki ozon kirlenmesini artırması beklenmektedir (Şen, 2009).

Her yıl, sel ve sıcak dalgaları gibi büyük hava olayları yaşanmaktadır ve bunlar milyonlarca insanın hayatını kaybetmesine, milyon dolarlarca hasara ve değiştirilemez çevresel zararlara yol açmaktadır (Hardy, 2004). IPCC 20.yüzyıl boyunca kuzey yarım kürede yoğun yağış olaylarının sayısında %2-4 artış olduğunu belirtmiştir.

2.1. İklim Değişikliğinin Su Sistemlerine Etkileri

Küresel ısınma potansiyel buharlaşmayı ve havanın su buharı tutma kapasitesini arttırmaktadır. Bilim adamları hava sıcaklığındaki her 1 °C 'lik artışın %4'lük bir buharlaşma artışı oluşturacağını öngörmüştür. Bununla birlikte, artan sıcaklığın etkileri, net ışınım, nem ve rüzgar hızı değişimleri ile örtüşmektedir. Artan bulutluluk net ışınımın azalmasına yol açmakta ve mutlak nemi arttırmaktadır. Bu yüzden buharlaşma ihtiyacı azalır, fakat yüksek sıcaklık söz konusu olduğunda havadaki doymunluk buhar basıncı artacağından, mutlak nemdeki artış bağıl nemde azalmaya neden olur ve böylece buharlaşma ihtiyacında artış meydana gelir. Aynı şekilde atmosferdeki CO₂ seviyesindeki artış ve sıcaklık artışıyla bitki örtüsü büyüme miktarı tipi ve hızı etkilenmesi nedeniyle potansiyel buharlaşma + terleme de değişmektedir.

Nemli sıcak bölgelerde, akışa geçen su genelde toprağa sızan ve toprak içinde hareket eden su tarafından oluşturulur ve yağmur doymun buhar basıncına yakın nem oranına sahip bölgelerin üzerine yağar. Toprak özellikleri, suyun sızması ve toprağın doymun hale gelme süresi gibi parametreleri etkiler. Yüksek sıcaklık ve fazla yağış toprağın organik içeriğinin azalmasına neden olur ve toprağın nem tutma kapasitesini azaltır. Yaz aylarındaki artan kuraklıkla birlikte toprak çatlar ve bu da toprağa suyun sızma hızını çok arttırır. Artan yağış toprak içinde katmanların oluşmasına neden olarak aşağı doğru sızmayı sınırlandırır.

Tatlı su kaynaklarının içinde hareket ettiği coğrafi konum, yüzey şekilleri ve iklim özelliklerine göre bir bölgede etkili olan çevrime hidrolojik çevrim adı

verilir. Bu çevrim sadece su miktarı bakımından değil, aynı zamanda doğal olarak tuzlu ve kirli suları bile buharlaşma yoluyla saflaştırarak yeniden canlıların hizmetine sunan bir arıtma vazifesi de görmektedir.

İklim ve su sistemleri karmaşık bir biçimde birbirleriyle bağlantılıdır. Bu yüzden bu sistemlerin herhangi birindeki bir değişiklik bir başkasını tetiklemektedir. Hidrolojik sistemlerdeki orantılı olmayan tepkiler, karşılıklı ilişkiler, geri beslemeler sebebiyle iklimdeki değişiklikleri hızlandırabilir.

Her ne kadar 20.yüzyıl boyunca yapılan gözlemlerde her yerde atmosfer su buharı içeriğinde önemli bir artış gözlemlenmemişse de atmosferin özellikle alt kısımlarındaki su buharı içeriği sıcaklığın yükselmesiyle birlikte artmaktadır. Su içeriğinin büyümesi yağışın meydana gelmesi potansiyelini arttırmaktadır. Değişikliklerin dağılımı tekdüze olmasa da genel olarak yağış küresel ölçekte artmaktadır (Şen, 2009).

2.1.1. Yağışlar

Yağışlar, mekan ve zaman içinde, su dengesindeki değişkenliğin belli başlı kaynağıdır. Yağışlarda meydana gelen değişimler, hidroloji ve su kaynakları için çok önemli sonuçlar doğurabilir. Belli bir su havzasında zaman içinde meydana gelen hidrolojik değişkenlik, günlük, mevsimsel, yıllık ve onyıllık zaman dilimleri içinde yağışlarda başgösteren değişkenlik tarafından etkilenmektedir. Sel sıklığı, yıllar arasında (yıldan yıla) yağışlarda gözlenen değişkenlikle kısa vadeli yağış miktarlarında meydana gelen değişimler (sağanak yağış gibi) tarafından etkilenmektedir. Düşük veya kuraklık düzeyinde olan yüzey akışlarının sıklığı, en çok yağışların mevsimsel dağılımında meydana gelen değişimler, yıldan yıla değişkenlik ve uzun kuraklık dönemleri tarafından etkilenmektedir.

İklim değişiminin, dere akışları ve zemin suyu beslenmesi üzerindeki etkisi her bölgede yağışlarda görülen değişimlere göre etkisi vardır. Dünyanın bazı bölgelerinde senaryolar arasında değişimin yönü tutarlıdır ama değişimin büyüklüğü tutarlı değildir. Dünyanın bazı bölgelerinde ise, değişimin yönü belli değildir. Kar yağışının, su dengesinin halen önemli bir unsuru olduğu pek çok bölgede, en yüksek yüzey akış hacmi ilkbahar aylarından kışa doğru kayabilir.

Son yıllarda dünyanın çeşitli yerlerinde hem çok şiddetli hem de nadir yağış etkinliklerinde hissedilir bir artış olduğu belirlenmiştir. Japonya gibi dünyanın bazı bölgelerinde uzun dönemde yıllık yağış miktarında azalma kaydedilmiştir. Aşırı yağışta istatistik olarak anlamlı gidişler belirlemek kolay olmasa da son araştırmalar yağışın 20.yüzyılın sonlarında daha yoğun hale geldiğini göstermektedir.

Az ya da hiç kar yağışı olmayan bölgelerde akış değişiklikleri hava sıcaklığındaki değişikliklerden çok yağmur yağışındaki değişikliklere bağlıdır. Yağmurun etken olduğu birçok toplama havzasındaki araştırmalardan çıkarılacak genel sonuç akış mevsimselliğinin arttığı ve yağış zirvesi mevsiminde yüksek akışlar ve düşük akış ya da uzayan kurak dönemlerde düşük akışlar görülmekte olduğudur (Boorman, 2003).

İklim hidrolojik rejimler üzerinde önümüzdeki birkaç asır içinde değişebilecek tek etki değildir ve birçok toplama havzasında arazi kullanımı, toprak örtüsü, bentler ve su çekmeler veya taşınımları gibi diğer doğrudan insan müdahalelerinde değişiklikler olabilir (Şen, 2009).

Artan sıcaklıklar ile birlikte yağışların daha küçük bir bölümü kar şeklinde olacağı anlamına gelebilir. Şu sıralarda kar yağışının olduğu bölgelerde kar artık yağmayabilir ve bunun hidrolojik rejimler için çok önemli sonuçları mutlaka olacaktır. Bu tahminler, yağış büyüklüğünde meydana gelebilecek mümkün değişmelerden daha az belirsizdir.

2.1.2. Akışlar

Yerüstü su sistemleri insan faaliyetleri ve ekolojik hizmetler için gerekli dünya su kaynaklarının büyük bir yüzdesini meydana getirmektedir.

Göl seviyeleri ve bölgelerinin evrimini doğal değişiklikler ve insan faaliyetleri etkilemektedir. Yapılan araştırmalar, göl düzeyleri ve bölgelerindeki üç değişken içermektedir. Birincisi, iklim değişikliğiyle bağlantılıdır, ikincisi kuraklık ve insan faaliyetleri bileşenleriyle ilişkilidir ve üçüncüsü tarımsal ve yapay göllere aşırı yönlendirmeyle ilişkilidir. Sulak alan kayıpları 20.yüzyılın

başından bu yana dünyanın çeşitli yerlerindeki birçok nehir sisteminde meydana gelmektedir.

Rusya ve komşu ülkelerin su ölçüm ağlarından elde edilen uzun dönem gözlem verilerinin analizleri yıllık ve mevsimlik nehir debilerinde, yıl boyunca akarsu debi dağılımında ve su yapılarındaki buz rejimlerinde geçen 20-30 yılda önemli değişiklikler göstermektedir. Kuzey Buz Denizi geçtiğimiz 12 yıl içinde Rusya topraklarından 2500 km³ su almıştır (Shiklomanov, 2003). Ayrıca 1986-2003 döneminde Rusya'daki toplam yıllık nehir akışı %5 artmıştır.

Özellikle kışın düşük su dönemleri Rusya, Ukrayna ve Beyaz Rusya'nın büyük bir kısmında su rejimlerindeki mevcut değişikliklerin yaygın bir özelliğidir. Kış akışında artış son 20-30 yıl boyunca her yerde gözlemlenmiş ve birçok bölgede uzun dönem ortalamasının %60-100'üne ulaşmıştır.

Hava sıcaklığının Rusya ve komşu ülkelerde son 20 yıl boyunca artması; daha kısa sürede buzla kaplı dönemi buz etkinliklerini ve geniş nehirler, göller ve biriktirme haznelerinde daha ince buz tabakası meydana gelmesine sebep olmuştur (Şen, 2009).

Yıllık nehir debi değişikliği yıllık yağış ve buharlaşmadaki değişiklikten çok etkilenmektedir. Güneydoğu Amerika ve Güney Amerika'da Mississippi gibi nehir havzalarında yıllık nehir debisi artan gidişler göstermekte ise de bu kıtaların kuzeybatısında azalmalar kaydedilmiştir. Kuzeydoğu Avrupa'da artan gidişler bulunurken İberya Yarımadası (İspanya, Portekiz), Afrika ve Asya'da azalan gidişler yaygındır (Şen, 2009).

Sovyetler Birliği'nde Shiklomanov ve Linss (1991) sıcaklığın 1°C artması durumunda toplam yıllık akışa geçen su miktarında %7'lik bir artışın görüleceğini, 2°C'lik artışta büyük akarsularda akışa geçen su miktarında %10-20 artış olacağını öngörmüşlerdir. Bu çalışmayı esas alarak Volga, Dnieper ve Don nehirleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda yıllık değişimlerin yanında, mevsimsel akışa geçen su miktarlarında da önemli değişimler, kış akışlarında ani artışlar ve kış aylarında yoğun kar erimesi nedeniyle bahar aylarında kar erimelerinde azalmalar görülmüştür.

2.1.3. Buharlaşma

Karalardaki buharlaşmanın sistematik ölçümü nadiren mevcut olduğundan buharlaşmanın uzun dönem değişimi ve değişkenliği dolaylı olarak yani bazı göstergeler ya da bütçe yaklaşımları kullanılarak araştırılmaktadır. Tava buharlaşmasının dünya bölgelerinin büyük bir kısmında Amerika'da, Rusya'da, Hindistan'da, Tayland'da, Japonya'da ve Avustralya'da 20.yüzyılın ikinci yarısında azalma eğilimi gösterdiği konusunda bir fikir birliği vardır.

Kara buharlaşmasının uzun dönem değişkenliğini hesaplamının ikinci dolaylı yaklaşımı nehir akış ve yağış gözlemleri ve akarsu havzaları su bütçesi dengesi yoluyla hesaplanır. Bazı araştırmalar ABD sınırları içinde havza ölçütünde buharlaşmayı ortaya koymaktadır.

2.1.4. Kar ve buz

Buzulların ve dağlardaki kar kümesinin değerlendirilmesi dünyadaki küresel ısınmanın iyi bir göstergesidir. 20.yüzyıl boyunca dünyanın çeşitli bölgelerindeki dağ buzullarının dinamikleri konusunda son yıllarda çok sayıda araştırma yayınlanmıştır. Kuzey Avrasya ve Himalaya dağ bölgeleri için çok önemli bilgiler mevcuttur. Bölgelerin büyük çoğunluğunda 20.yüzyılın ikinci yarısı boyunca özellikle de son 20-30 yılda buzullaşmış bölgeler ve buzul kitlelerinde azalma görülmüştür. Örneğin, 1953-2001 döneminde Kutup Uralları buzullarının %55'ini kaybetmiştir. Benzer olarak 1960-1977 döneminde Tamir (Taimyr) Yarımadası içindeki Byrranga Dağlarında sabitlenmiş 97 küçük buzuldan 10'dan fazlası eriyip yok olmuştur (Şen, 2009).

Geçen yüzyılın ikinci yarısında Orta Asya'da, Tanrı Dağları (Tien Shan) ve Pamir Dağlarında buzullaşmış bölge ve buzul hacimleri %15-32 oranında azalmış ve Altay Dağlarındaki buzullar hacimlerinin yaklaşık %10'unu kaybetmiştir.

Geçen 20 yıl içinde Himalayalar'ın farklı bölgelerinde yapılan hacim dengesi araştırmaları Himalayalar'daki buzul bozulmasına bağlı yıllık ortalama akışın batıda 528 mm ve doğuda 266 mm arasında değiştiğini göstermektedir.

Karakurum (Karakoram) Himalayalar'ındaki en büyük buzullarından birisi olan Siachen buzulu 1400 mm yaz akışı üretmektedir (Şen,2009).

İklimin ısınmasına bağlı olarak buzul hacminde önemli azalma Alaska' da, Patagonya' da, Kuzeybatı Amerika'da ve Kanada'da görülmektedir. Buna göre dünyadaki en yoğun dağ buzulu azalması %10 oranıyla 1980 yılı sonundan bu yana gözlemlenmektedir.

Küresel hava sıcaklığındaki değişiklik mevsimsel kış örtüsünün durumunu etkilemiş ve bu durum Avrasya ve Amerika'nın kuzey bölgeleri için önemli sonuçlar doğurmuştur. Kar örtüsünde mevcut değişiklikler meteoroloji istasyonlarındaki uzun dönem gözlem verileri ve uydulardan alınan verilerin analizi yoluyla araştırılmaktadır (Şen, 2009).

Tropik dağ buzulları yaşlı olup binlerce yıllık doğal iklim iniş çıkışlarına rağmen hayatta kalmış olmaları yüzünden yaygın buzul gerilemesi çok daha dikkat çekicidir. Klimanjaro'daki kuzey buzulu on bin yıllık geçmişte hayatta kalmayı başarmış olmasına rağmen yirmi yıl gibi kısa bir süre içinde kaybolmuştur.

Eğer yakın dönemdeki iklim şartları sürerse Bolivya'daki küçük Chacaltaya Buzulu 2015 yılına kadar tamamen ortadan kalkacaktır (Francou ve Coudrain, 2005). Yakın gelecekte bu buzulların yol oması hidrolojik rejimi ve su kaynaklarını ciddi biçimde etkileyecektir (Ramirez ve ark., 2001).

2.1.5.Yeraltı suyu

Son 20 yıldan fazla süredir, dünyanın her yerindeki yarı kurak bölgelerde kuraklık, ısınma ve insan faaliyetleri yüzünden akiferlerdeki su düzeylerinde azalma görülmektedir. Yeraltı suyu ve iklim birçok yönden bağlantılıdır. Yeraltı suyu sistemleri iklim şartlarındaki değişkenliğe yüzeysel su sistemlerinden daha yavaş tepki verir. Hızlı akış unsurunun yeraltı suyu taban akışı üzerindeki etkisi sebebiyle su toplama bölgeleri iklim değişikliğine diğerlerinden daha duyarlıdır. Kentlerde, tarımda, sanayide başka amaçlı su taleplerini karşılamak büyük ölçüde akiferlere bağımlıdır. Yağışın akışa ve akışın sızma ve yataktan su kaçışı ile akifer

beslemesine dönüşmesinde yağış ile yeraltı suyu arasında güçlü bir bağlantı vardır.

Geçmişte gözlemlenmiş hava sıcaklığı zaman dizinlerinin bulunduğu Kanada'nın Winnipeg bölgesindeki bir araştırmada yağış ve yeraltı suyu seviyeleri analiz edilmiş ve yeraltı su seviyelerindeki değişkenliğin %75'ten fazlasının 105 yılda, %6'sının 3 yılda bir değişen ortalama yıllık değişiklikle açıklanabileceği gösterilmiştir (Chen ve ark., 2004). Ortalama yıllık hava sıcaklığı ne kadar yüksek olursa hava sıcaklığının yeraltı suyu düzeyi üzerindeki etkisi de o kadar güçlü olmaktadır.

Azalan yeraltı suyu seviyeleri artan kuraklıkla ve iklim değişikliğiyle bağlantılıdır. İklim değişikliği sonucu dünyadaki birçok akiferde ilkbahar beslenmesi kışa doğru kaymakta, fakat yaz beslenmesi azalmaktadır. İklim değişikliği yeraltı su kaynaklarının hem niceliği hem niteliği üzerinde etkiye sahiptir. Sığ akiferler için hava sıcaklığı yeraltı suyu düzeyleri üzerinde yağıştan daha fazla etkiye sahiptir. Kanada'da Güney Manitoba'da yapılan bir araştırma iklim eğilimlerinin yeraltı suyu seviyesi değişimleri ile paralellik gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuçlar bu bölge için küresel iklim modellerinin tahmin ettiği gibi artan hava sıcaklığının net besleme ve yeraltı suyu seviyelerini azaltabileceğini göstermektedir (Chen, 2004).

Yüzeysel suların buharlaşma ile daha çok kaybedilmesi kış ve ilkbaharda daha az yağışa bağlı olarak yeraltı suyunun daha az beslenmesine neden olur. Özellikle uzun kuraklıktan sonra akiferlerin hidrolik özelliklerindeki değişikliklere bağlı olarak yeraltı suyunun kalma zamanı da daha uzundur. Eğer iklim değişikliğine tepki olarak tatlı yer altı suyu kaynağının başlangıcı tuzlu su seviyesinin altına düşerse tuzlu su karışmasının sonucu olarak yer altı suyu kalitesi bozulabilir. Deniz seviyesi yükselmesi yeraltı suyu akiferlerini ve tatlı su kıyı ekosistemlerini ters yönde etkilemektedir. Yükselen deniz seviyesinin diğer etkileri arasında haliçlerdeki tuzluluk dağılımında değişiklikler, alçak bölgelerde taşımacılık alt yapısı imkanının azalması ve kıyı sahil sistemleri üzerindeki baskının artması yer alır.

Daha az yağışı ve daha çok kış yağışı tahmin eden iklim modelleri için Belçika'daki bir yer altı havzasında toprak modeli ve yer altı suyu çifti

kullanılarak gelecekte yer altı suyu yeniden beslenmesinin azalacağı (kurak yıllarda daha fazla azalacağı) öngörülmüştür (Şen, 2009).

Nemli kuzey doğu ABD’de bulunan yüksek derecede geçirgen basınçsız akiferde 2030 ve 2100’de iklim değişikliği sonucu yıllık yeniden besleme ve yer altı suyu yükselmesinden ya biraz yüksek ya farksız ya da önemli ölçüde azdır. Bu durum sulak alan su temin potansiyelini düşürmektedir (Kirshen ve ark., 2005).

Deniz suyu seviyesine ek olarak yer altı suyunun yeniden beslenmesindeki herhangi bir artış tatlı su/tuzlu su ara yüzeyinin yerini etkilemekte ve yer altı suyunun yeniden beslenmesi azaldığında tuzlu su karışımının artması beklenmektedir (Chen ve ark., 2004).

Toplam akışın (yer altı suyunun yeniden beslenmesi, yüzeysel ve yer altı akışı toplamı) 1961-1990 iklim normalleriyle 2050’li yıllar arasında %9 oranında artacağı (SRES A2 senaryosunun ECHAM4 için yorumu) buna karşın yer altı suyunun yeniden beslenmesinin yalnızca %2 artacağı hesaplanmıştır. Bu durumun ana sebebi toprağın sınırlı süzme kapasitesidir (Şen, 2009).

2.2. Hayvan Populasyonlarına Etkileri

Deniz ortamında çoğu organizmanın büyümesi, gelişmesi ve çoğalması için optimum bir sıcaklık bulunmaktadır. 1951-1993 yılları arasında Kaliforniya kıyılarında zooplanktonların sayısında azalma görülmüştür. Bu azalma su sıcaklığının 1.2-1.6 °C artışıyla ortaya çıkmıştır. Ayrıca okyanuslardaki su sıcaklığının artması çevresel açıdan büyük öneme sahip mercan kayalıklarını da tehdit etmektedir (Goreau ve ark., 1994).

1980’den 1990’a kadar buzulların %6 oranında erimiş olması kutup ayılarının yaşamlarını tehlikeye sokmaktadır (Hardy, 2004).

Kuşlarla ilgili İngiltere’de yapılan bir çalışmada, 25 yıllık bir periyotta (1971-1995) 65 kuş türünden 45’inin yumurtlama mevsiminin, normal döneminden 4-17 gün öncesine kaydığı belirlenmiştir (Şen, 2009).

Amerika’da yapılan bir çalışmada CO₂ derişimi iki katına çıkacağını öngören senaryoya göre ılıman göllerde buz oluşumu 20 gün gecikecek ve buz kaplı dönem 58 gün kısacaktır. Kanada ve Alaska’da gerçekleştirilen

çalışmalarda 50 yıla kadar sıcaklık artışlarının olması kutup göllerindeki besin ağının değişeceğini ortaya koymuştur.

Akarsu sıcaklığındaki artışlar balıkların ve omurgasız canlıların nüfus yoğunluğunu, boyutlarını ve üremelerini azaltabilir. Genelde yeraltı suyu sıcaklığı kışın hava sıcaklığından daha fazladır ve küresel ısınma ile artacağı tahmin edilmektedir. Hava sıcaklığındaki dalgalanmalar toprağın kök bölgesinin sıcaklığında da dalgalanmalara neden olur. Dağlık bölgelerde, artan yükseklik ile yeraltı suyu sıcaklığı azalır (Hardy, 2004).

Tatlı su balıkçılığının iklim değişikliğine, coğrafi bakımdan ayrı oluşu nedeniyle daha fazla duyarlı olduğu bilinmektedir. Hava sıcaklığındaki artış yerel balık türlerinin neslinin tükenmesine neden olmaktadır. Balıkçılık besinler, sıcaklık katmanlaşması, pH ve buz örtüsündeki değişikliklerden etkilenecek olan plankton üretimine bağlıdır. Planktonların gelecekteki değişikliklerin ölçeği ve boyutu çok az bilinmektedir. Plankton dağılımları hava sıcaklığının arttığı orta ve yüksek enlemlerde hızlı kaymalarla birlikte değişmektedir.

2.3. Bitkiler Üzerindeki Etkileri

Karasal bitkilerdeki beklenmeyen değişimler iklim değişikliğinin başka bir belirleyicisidir. Kuzey bölgelerde, 1880'den beri yaklaşık 2°C sıcaklık artışı görülmüştür ve bununla beraber Moğolistan merkezindeki çam ağaçları da ısınmayla beraber çoğalmışlardır. Alaska'daki beyaz ladinler hızla büyümektedir. Ayrıca ısınma kuzey bölgelerdeki fotoplanktonların ekolojisini değiştirmektedir.

İklim değişikliğine bağlı olarak değişim gösteren yağış, yüzeysel akış ve toprak nemi doğal sistemler üzerinde büyük etkiye sahip olacaktır. Karada, akarsularda ve göllerdeki yaşam tatlı su miktarına bağlıdır. Günümüzde 1.7 milyar insan su kıtlığı yaşamaktadır ve bu nüfus yenilenebilir su kaynaklarının %20'sinden fazlasını kullanmaktadır.

Küresel ısınma göllerde termal yapı ve canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. İklim değişikliği her canlıyı ve beslenme biçimini değiştirecektir. Böylece, ısınma canlı bileşimini, durağanlığı ve su ekosistemindeki besin ağını da etkileyecektir. İklim değişikliğinin etkisi, sıcaklığın, su seviyesinin, buzsuz

okyanus periyodunun ve çözünmüş gazların değişmesi şeklindedir. Artan sıcaklık oksijenin sudaki çözünürlüğünü azaltır ve mikrobiyal oksijen ihtiyacını artırır. Değişen yağış ve buharlaşma da özellikle yarı kurak kıta ortalarında bulunan göllerin kimyasını değiştirir. İklim senaryolarına göre göllerin tuzluluğu artacak, bu da fitoplankton türlerinin ve besin ağının değişmesine neden olacaktır (Hardy, 2004).

Kısa vadede iklim değişikliğinin gıda niteliğindeki bitkisel ürünler üzerindeki etkisi ılıman enlemlerdekine göre ekvator ve kurak tropik bölgelerde daha ağırdır. Gıda güvenliğinin zaten tehlikede olduğu ve doğal kaynak tabanının zayıf olduğu bazı bölgelerde potansiyel olumsuz ürün etkileri özellikle belirgindir.

Uluslararası tarım ticaret akışının dramatik ölçüde yükseleceği tahmin edilmektedir. İklim değişikliğinin etkisi, ılıman bölge ürünlerinin ılıman bölgelerden tropik bölgelere akışının artmasına yol açacaktır.

İklim değişikliğinin başlattığı bitki türü kompozisyonu değişikliği mera üretimini değiştiren önemli bir mekanizma olacaktır. Hava sıcaklığında son zamanlarda gözlemlenen artışlar ılıman ve kuzey ekosistemlerinde büyüme mevsimlerini uzatmaktadır. Azalan yağmur ve artan hava sıcaklığına bağlı buharlama artışının kombinasyonu yüzünden dünya bölgelerinin çoğunluğunda sulama talebi artmaktadır. Bu durum azalan su varlığı ile birleştiğinde gelecekte su ve gıda güvenliği açısından önemli bir tehlike oluşturmaktadır.

Birçok orman ısınmaya ayak uyduramayacak ve yerini otlaklar gibi daha yüksek hava sıcaklıklarına uyum sağlayabilen türler alacaktır. Isınma sürdükçe birçok ağaç türü daha yüksek rakımlara ve enlemlere kayacaktır. Artan hava sıcaklığı ve değişen yağış ormanlarda yangın riskini arttırmaktadır.

2.4. Kuraklık ve Toprak Nemine Etkileri

Yirminci yüzyıl boyunca yağış ve yüksek akarsu akışı olaylarında on yıllar arasında değişiklik belirlenmiştir. Taşkınlar ve bundan kaynaklanan toprak kaymaları ve kış fırtınaları, altyapı ve ekosistemler üzerinde ağır etkiler yapmakta, pek çok kişinin hayatını kaybetmesine neden olmaktadır. Örneğin, Haiti ve

Dominik Cumhuriyeti'nde 2004 mayısta yaşanan yağmurlar sayısız toprak kaymasına neden olarak 1000'den fazla kişinin ölümüne yol açmıştır.

Toprak nemi, yeraltı suyu seviyesinin üstündeki toprak bölümünün içinde depolanan sudur. Bu kısımda hava ve su karışık biçimde gözeneklerin boşluklarını doldurur. Toprak nemindeki uzun dönem eğilimleri tıpkı okyanustaki deniz yüzey sıcaklığı gibi toprak yüzeyindeki meteorolojik şartların uzun dönem gidişlerinin bir göstergesidir (Şen, 2009).

Suyun hidrolojik çevriminde önemli bir yer tutan buharlaşma+terleme (evapotranspirasyon) sayesinde suyun bir kısmı atmosfere geri döner. Solunum ile su kaybı atmosferdeki CO₂ derişimi ile yakından ilişkilidir. Model çalışmaları, sıcaklık ve evaporasyondaki artış ile yağıştaki azalışın çeşitli su sıkıntlarına neden olacağını göstermektedir. Sıcaklıktaki ufak bir artış bile, yağıştaki değişim ile yüzeysel akışta oldukça büyük değişimlere neden olabilecektir. CO₂ derişiminin iki katına çıkması, yağışta bölgesel olarak $\pm\%20$ 'lik bir değişime neden olurken, yüzeysel akış ve toprak neminde $\pm\%50$ 'lik bir değişime neden olabilecektir (Hardy, 2004).

Küresel ısınma bazı bölgelerde yüksek yüzey sıcaklıklarına neden olacak ve buna bağlı olarak evapotranspirasyon değerleri artacak ve toprak nemi azalarak daha sık kuraklıklar yaşanacaktır. Toprak nemi bitki büyümesi ve tarımsal etkinlikler için oldukça önemlidir. Kuzey Amerika'da gerçekleştirilen bir çalışmaya göre Güney Teksas ve Kuzey Meksika'da Mayıs-Eylül ayları arasında yağış 5cm'den daha az düşecek ve pik yaz buharlaşma+terlemesi %27 oranında artacaktır. 12 küresel bölge incelendiğinde potansiyel buharlaşma+terleme değerlerinde bir artış gözlemlenmektedir. Düşük sıcaklıklar nedeniyle, yüksek bölgelerde kışın buharlaşma+terleme ısınmadan çok az etkilenecektir. Bu nedenle yıllık su noksanlığında artış gözlemlenecektir.

Bir başka bulgu kıyı veya yakınlarındaki yerleşim yerlerindeki insanların yağışla ve yağışla bağlantılı iklim parametrelerinden etkileneceğini göstermektedir. Özellikle büyük kent bölgeleri arazi yüzeyinin kaplanması yüzünden taşkın ve sellere karşın artan oranda korunmaya muhtaç hale gelmekte ve akıntının artması ile aşağı bölgelere doğru etkileri yayılmaktadır. Öte yandan bazı mevsimlerde yağıştaki azalmalar ve kurak ve yarı kurak alanlar kırsal

bölgelerde elde edilen ürün miktarında azalmaya sebep olmaktadır. Böylece kırsal yerleşim alanı alt yapıları şimdiden etki altında bulunan kent bölgelerine göç etmeye teşvik etmektedir (Şen, 2009).

Suyun varlığı insan yerleşimlerini yere ve ölçüğe göre farklı biçimde etkilemektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak yerlerde tatlı su temini insan yerleşimlerinin varlığını sürdürebilmesinin anahtarıdır. Kuraklık gibi durumlarda iklimdeki yağışı daha da azaltacak olan her türlü değişiklik ciddi bir kaygı konusu olmaktadır. Su kaynakları bölgesel su toplama havzalarından temin edildiği için birçok yerde yerleşim yeri kar miktarındaki azalmalar ve buzulların uzaklara çekilmesinde etkilenecek ve yerleşim yerleriyle tarım arasında kıt su olduğu için ortaya çıkacak rekabet sosyal, ekonomik ve çevresel baskıları ortaya çıkaracaktır.

Son zamanlarda birkaç bölgede geniş alanı etkileyen kuraklıklar meydana gelmiştir. Kuraklık büyük alanları etkileyebilir ve yapıları itibarıyla zaman bakımından uzun yıllar sürebilir. Güney Afrika sahil bölgesi 1960'larda başlayan kuraklığı henüz atlatamamış ve 1990'lardaki tekil yağışlı yıllar uzun vadeli su eksikliğini gidermeye yetmemiştir.

Kuraklık ve bazı insan faaliyetleri korunmaya muhtaç bölgelerin çölleşmesine yol açmaktadır. Gelişmiş ülkelerde bile aşırı kuraklık önemli çevre, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olabilir. 2003 yazında Avrupa'da çok ağır, yaygın ve uzun süren bir yaz kuraklığı yaşanmıştır. Yüksek hava sıcaklığı, yetersiz yağışla birleştiğinde yangınlara, su temininde ve enerji üretiminde sorunlara ve ürün başarısızlıklarına yol açmıştır (Beniston ve Diaz, 2004).

Yıllık ve mevsimlik iklim değişikliği, su temin sistemlerini birçok yönden etkilemektedir ve bunun sonucu su talebi de etkilenmektedir. Artan hava sıcaklıkları ve yağıştaki değişiklikler içme suyu, soğutma sistemi suyu ve bahçe sulama suyu talebindeki artışlara neden olmaktadır. Yağış rejimlerindeki değişiklikler nehir akışlarında azalmalara, yeraltı suyu seviyelerinde düşmelere ve kıyı bölgelerde tuzlu su girişimlerine yol açmaktadır. İklim değişikliği aşırı şiddetli yağmurlar akışı ile su boru hatlarının aşınmasını hızlandırmaktadır (Şen, 2009).

İklim değişikliği nedeniyle etkilenen akarsu ve göller, taşımacılık, sulama, güç üretimi, atık giderimi gibi insan faaliyetlerini de etkileyecektir. Kuzey

Amerika’da bir çalışmada incelenen Büyük Göller dünyanın taze su rezervlerinin %20’sini depolamaktadır ve Amerika nüfusunun %12’si ve Kanada nüfusunun %27’si bu havzada bulunmakta ve yararlanmaktadır. CO₂ derişiminin iki katına ulaşacağını öngören senaryoya göre gölleri besleyen akarsu su miktarları %15-21 oranında azalacaktır. Buharlaşan su miktarı yüzeysel akışa geçen su miktarını aşacak ve göllerdeki su seviyesi yaklaşık 1.5 m azalacaktır. Bu azalma göllerdeki taşımacılık ve denizcilik faaliyetlerini engelleyecektir (Şen, 2009).

2.5. Erozyon Üzerindeki Etkileri

Hidroloji uzmanları arasında atmosferde su çevriminin daha güçlü hale geldiği konusunda bir fikir birliği vardır. Artan şiddetli yağışlar bunu daha da güçlendirmektedir. Yağmur miktarı ve şiddeti, iklim değişikliğinin etkisi olan erozyonu doğrudan kontrol eden önemli faktörlerdir.

Bugüne kadar toprak erozyonu konusunda yapılmış tüm araştırmalar, artan yağmur miktarı ve yoğunluklarının daha yüksek oranda erozyona yol açacağını öngörmektedir. Hem ortalama yağmur miktarları hem de yoğunluklarının dünya çapında yükselişte olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden iyileştirme önlemleri alınmadıkça erozyon da artacaktır.

Nearing (2001), İngiltere Hadley Merkezi modelinden (HadCM3) ve Kanada İklim Modellemesi ve Analiz Modeli Merkezinden (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, CGCM1) elde edilen çıktıları ve Renard ve Freidmund tarafından (1994) aylık yağışla yağmurun aşınma potansiyeli (yağmurun toprak aşınmasına sebep olma gücü) arasında kurulan ilişkileri kullanarak Amerika’daki yağmur erozyonunda olabilecek potansiyel değişiklikleri değerlendirmiştir. Tahmin edilen değişiklikler önemli ve birçok örnekte çok büyüktür. Ancak modellerin sonuçları hem boyut hem de bölgesel dağılım bakımından farklılıklar göstermektedir. Zhang (2005) Çin Sarı Irmak havzasındaki yağmur erozyonundaki potansiyel değişiklikleri değerlendirmek üzere Wang ve Jao’nun (1996) literatür verilerine dayalı ilişki ve HadCM2 verilerini kullanmıştır. Yağmur erozyonundaki artışın 2050 yılına kadar %11-22

oranında artması beklenmektedir. Çizelge 2.2.'de, yapılan bir araştırmaya göre yağış şiddeti gruplarıyla erozyon arasındaki ilişki verilmiştir.

Çizelge 2.2. Yağış şiddeti gruplarıyla erozyon arasındaki ilişkiler (Leibendgut,1975)

Yağış şiddeti grupları (mm/5 dakika)	Erozyonla taşınan toprak (Ton/saat-km ²)
0-25	372
26-51	595
52-101	1101
102-178	3609
229-254	4793

2.6. Ekosistemler Üzerine Etkileri

İklim değişikliğinin ekosistemleri etkilediğine ilişkin ve ekosistemlerin yapısı, işlevi ve tür kompozisyonu üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular genelde yerel ölçeklerle sınırlıdır. Yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre model ve gözlemler birbirine uymuştur. Bazı örneklerde gözlemlenen değişiklik etkilerin, önceden ekolojik modeller tarafından tahmin edildiğinden daha hızlı olduğu görülmektedir.

IPCC IS92a, SRES A ve B sınıfı iklim değişikliği senaryoları kullanılarak modellenen türler 2050 yılına kadar türlerin geniş ölçek değişiklikleri daha çok azalma şeklinde değiştiği öngörülmektedir. Dizin boyutundaki azalma bu yüzyıl boyunca yerli biotanın neslinin tükenmesi riskinin önemli ölçüde artarak yerli biotanın %15-40'ının tükenmesine neden olacaktır (Şen, 2009).

İklim değişikliği senaryoları altında ekosistemlerin yabancı yayılmacı türlere karşı artan yatkınlığı hem bioçeşitlilik hem de ekosistem işleyişi için büyük belirsizliktir.

İklim değişikliği haşereleri, hastalıkları veya patojenleri besleyebilir ve diğerlerinin ortaya çıkmasını azaltabilir. Bununla ilişkili belirsizlik önemli ölçüdedir ve masraflı ve yoğun bir araştırma yapılmadıkça durumun iyileştirilmesi ihtimali görülmemektedir.

Ağaçlandırma, deniz karbonunun uzaklaştırılması, deniz demir gübrelemesi gibi iklim değişikliğinin yumuşatılması girişimlerinin ekolojik etkileri, bunların bioçeşitlilik ve ekosistem işleyişi üzerindeki etkileri açısından belirsiz durumlardır.

Karasal türlerin davranışında, coğrafi sistem ve ekosistemdeki değişikliklere ilişkin sürekli artan bulgular iklim değişikliğinin erken işaretlerine atfedilmektedir. Bulgular iklim değişikliğinin yerel nüfusların (kelebek, kurbağa ve diğer birkaç türün) neslinin tükeneceğini belirtmiştir. Birçok böcek türü iklim değişikliğine coğrafi menzil kaymaları yoluyla hızlı karşılık verme yeteneğine sahiptir. Deniz gıda zinciri sistemleri önemli ve temel değişikliklerden geçmektedir. Buna karşın daha soğuk ve sıcaklık çeşitliliğini ortaya koyan kutup altı ve kutup bölgesi deniz türleri azalmıştır (IPCC, 2007). Şekil 2.3.'te iklim değişikliğinin olası etkileri özet olarak sunulmaktadır.

3. İKLİM SENARYOLARI VE MODELLERİ

Küresel bazda oluşturulan çevrim modellerinde kullanılan iklim senaryoları IS92 ve SRES olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

3.1. IS92 Senaryoları

1992 yılında 6 farklı IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) senaryosu, IPCC değerlendirme raporunda yayınlanmıştır. Bu senaryolar sera gazları ile ilgili yasaların yokluğunda ve sonrasında kabul edilmesi gibi bir dizi yaklaşım içermektedir. Senaryolar 1990-2100 yılları arası farklı ekonomik, sosyal ve çevresel koşullardaki dünya ortamları göz önüne alınarak olası sera gazlarının yayılımını incelemektedir. Ayrıca bu senaryolar bilim adamlarına atmosferik kompozisyon ve iklim değişikliği hakkında plan yapmalarına yardımcı olacaktır.

Birçok bakımdan IS92 senaryoları öncülük eden senaryolardır. Küresel sera gazlarını tahmin etmek ve belirlemek açısından ilk senaryolardır.

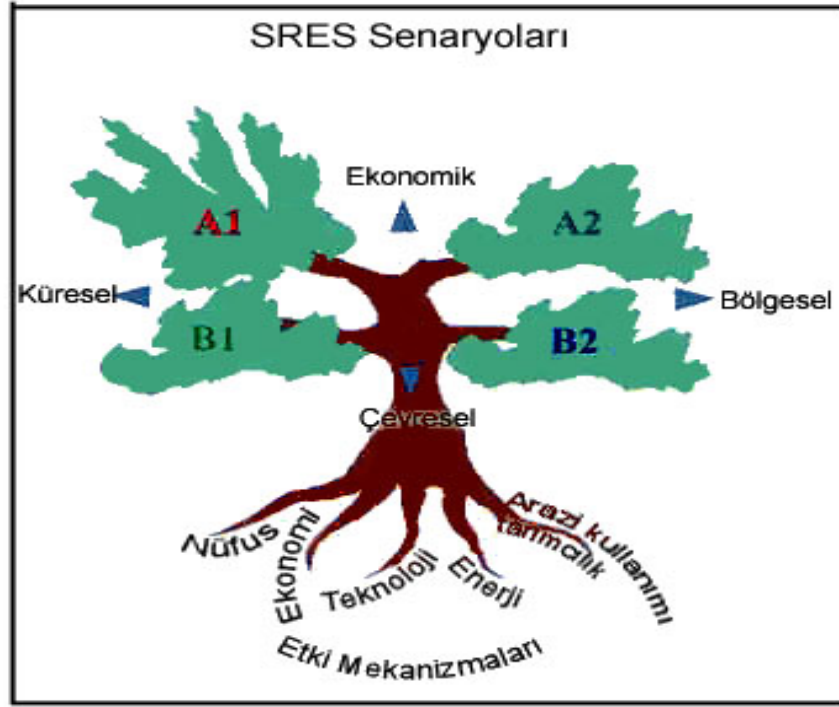
3.2. SRES Senaryoları

IPCC 2000 yılında Emisyon Senaryoları Özel Raporunu (SRES- Special Report of Emission Scenarios) yayınlamıştır. Bu rapor üçüncü değerlendirme raporunda kullanılan yeni emisyon senaryo setlerini açıklamaktadır. SRES senaryoları, sera gazları, aerosol gibi gazlarla küresel bazda gelecekteki değişimleri belirlemek için oluşturulmuşlardır. Senaryolar küresel problemleri yönetmek için kurumların yeterli olup olmadığına, daha sağlıklı çevre, sağlık ve sosyal yapı içerip içermediğine ışık tutmak için geliştirilmiştir. Şekil 3.1.'de dört senaryo ailesi görülmektedir.

3.2.1. A1 senaryosu

A1 senaryoları gelecekte dünyanın çok hızlı bir ekonomik gelişmeye sahip olacağını öngörmektedir. Yüzyılın ortasında hızla büyüyen ve sonrasında azalan küresel popülasyon ve bununla beraber daha yeni ve verimli teknolojilerle tanışmayı kapsamaktadır. Kişi başına düşen gelir düzeyindeki bölgesel

farklılıklardaki önemli bir azalmayla belli başlı bölgeler artan kültürel ve sosyal etkileşim arasında bir noktada birleşmektedir. A1 senaryo ailesi enerji sistemindeki alternatif teknolojilerin değişimine göre üç grupta tanımlanmıştır. A1F1 fosil kaynaklı yakıtların yoğunlukla kullanılması, A1T fosil kaynaklı enerji kaynaklarının kullanılmaması ve A1B bütün kaynakların dengeli kullanılmasını kapsamaktadır.



Şekil 3.1. SRES senaryolarının şematik gösterimi (http-2,2007)

3.2.2. A2 senaryosu

A2 senaryo ailesi çok heterojen bir dünya tanımlamaktadır. Bölgesel kültürel yapı ve ülkenin kendi kaynaklarını kullanması belli başlı temasıdır. Bölgelere göre doğurganlık oranı artmaktadır ve bu sürekli artan popülasyonla sonuçlanmaktadır. Ekonomik gelişme hızlı ve teknolojik gelişme diğer senaryolara göre daha yavaştır.

3.2.3. B1 senaryosu

B1 senaryo ailesi dünyanın ekonomik yapısındaki hızlı değişimle küreselleşmeyi ve temiz teknolojilerin kullanılmaya başlamasını içermektedir. Ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğin küresel boyuttaki çözümlerine göre gelişen eşitlik anlayışına önem vermiştir.

3.2.4. B2 senaryosu

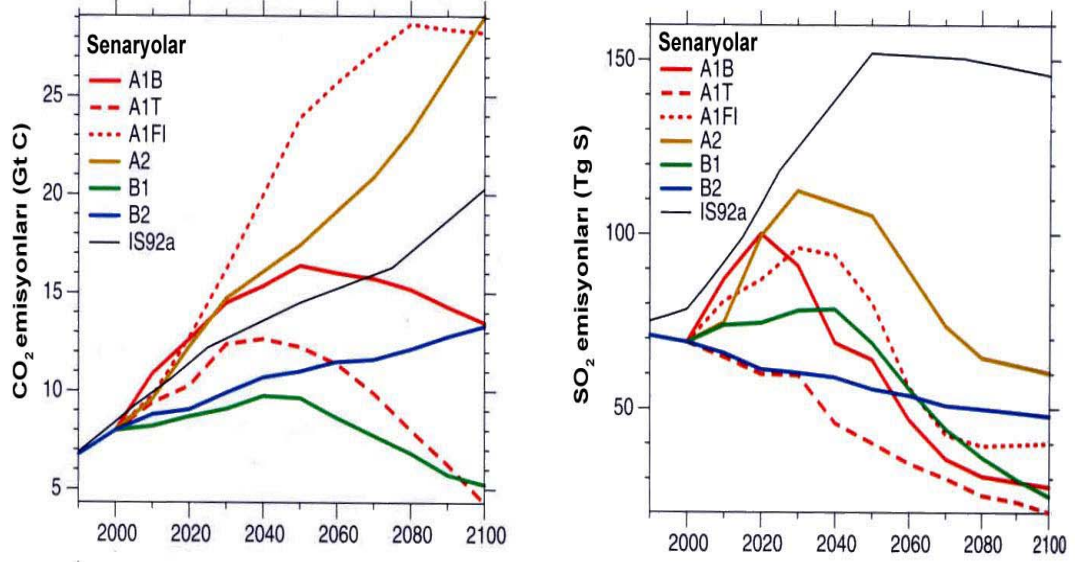
B2 senaryo ailesine göre dünya ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlikte yerel çözümleri içermektedir. Küresel popülasyon A2 senaryosuna göre daha yavaş olarak sürekli artmaktadır, ekonomik gelişme orta seviyededir, B1 ve A1 senaryolarına göre daha çeşitli ve hızla gelişen teknolojiler bulunmaktadır. Bu senaryo aynı zamanda çevresel koruma ve sosyal eşitliği bölgesel düzeyleri göz önüne alarak yönlendirmektedir.

Yukarıda açıklanan SRES senaryoları Şekil 3.2.'de niceliksel açıdan gösterilmiştir.

Senaryo	Nüfus	Ekonomi	Çevre	Eşitlik	Teknoloji	Küreselleşme	İklim
AIFI							
AIB							
AIT							
B1							
A2							
B2							

Şekil 3.2. SRES senaryolarının niceliksel açıdan incelenmesi (http-3, 2007)

İklim senaryolarının ele aldıkları unsurlardaki değişiklikler bu senaryolardan elde edilen sonuçları da etkilemektedir. Şekil 3.3.'te CO₂ ve SO₂ değişimleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. İklim senaryolarına göre CO₂ ve SO₂ emisyonlarındaki değişim (IPCC, 2007)

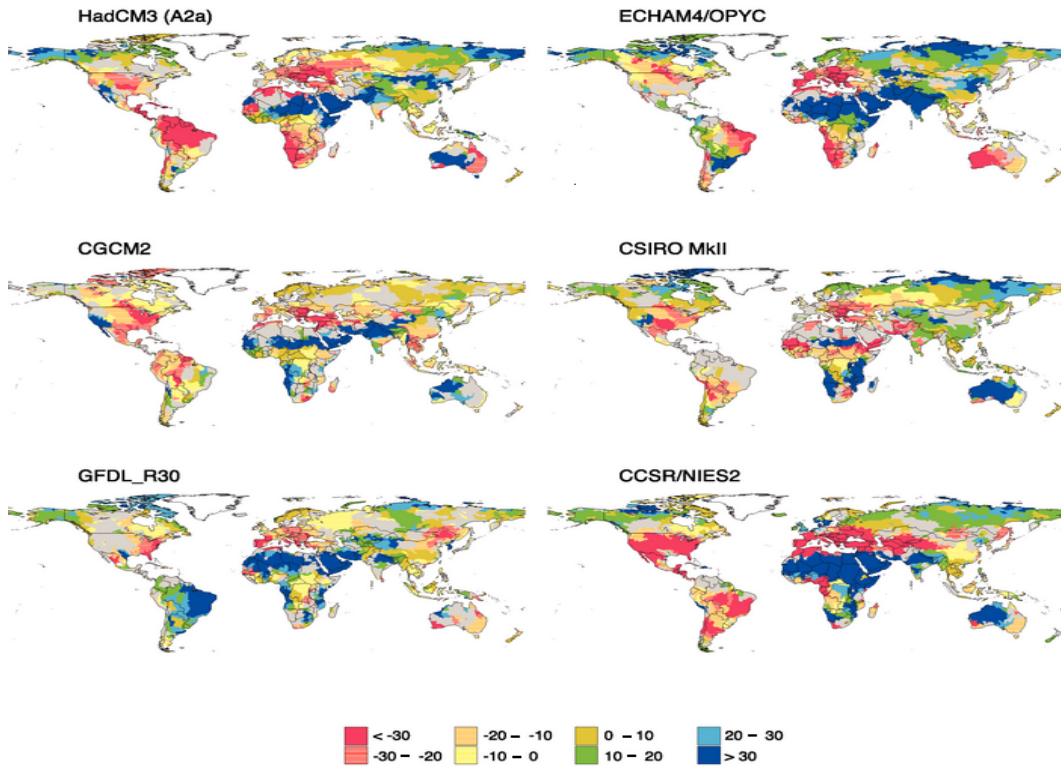
3.3. GCM-Küresel İklim Modelleri

Genel çevrim modelleri (GÇM) olarak da bilinen küresel iklim modelleri iklim sisteminin ana bileşenlerini üç boyutta ele alması nedeniyle en karmaşık iklim modelleridir. Bu modeller mevcut atmosferik süreçlerin açıklanmasında ve iklimin nasıl olacağını ifade eden olası betimlemeler oluşturulan iklim değişikliği senaryolarından elde edilen iklim değişikliği deneylerinde kullanılan bir araçlardır. Her bir GCM'nin tasarım ve yapısı gerçekleştirilecek iklim değişikliği deneyini belirler. Bu özellikler iklim sistemini açıklayan bilimsel gerçekler ve mevcut hesaplama kaynaklarıyla sınırlıdır. Günümüzde bu model çalışmaları oldukça az sayıda gerçekleştirilmektedir. Bu modellerin oluşturulmasındaki yoğun emek ve çalıştırılmaları esnasında istenen yoğun işlemci gücünün sağlanması zorluğu nedeniyle sınırlıdır.

SRES A1B ile yapılan AOGCM (Atmosphere-Ocean General Circulation Model) deneylerinde günümüzde ortalama hava sıcaklığı değişikliği 3,7°C artış göstermektedir. Kara okyanustan daha hızlı ısınmaktadır ve yüksek enlemlerde

göreceli olarak daha fazla ısınma yaşanmaktadır. Yüzeysel hava sıcaklığı değişikliği yağış değişikliği ile doğrudan etkileşim içindedir. Kara üzerindeki yağış yüksek enlemlerde güneyden Doğu Asya'ya kadar ve Orta Afrika'da artmakta ve Akdeniz bölgesi, Güney Afrika ve Orta Amerika'da azalmaktadır. Her ne kadar bölgesel ortalama yağış bu sonuçla çakışmış ise de düşük ve orta enlemlerde modeller arası değişkenlik büyüktür. Yağışın Doğu Asya'da 0.2mm/gün, yüksek enlemlerde 0.1mm/gün ve Orta Asya'da 0.5mm/gün arttığı ve Akdeniz bölgesinde 0.2mm/gün, Güney Afrika'nın bir kısmında 0.2mm/gün ve Orta Amerika'da 0.5mm/gün azaldığı tahmin edilmektedir.

Şekil 3.4.'te SRES A2 senaryosu ve farklı iklim modellerinin dünya çapında modellenmesi ile ortalama yıllık akış değişikliğini göstermektedir. Enlemlerde ve sulak tropiklerde artışlar ve orta enlemlerde ve kurak tropiklerde azalmalar görülmektedir. B2 salınımları altında değişiklik kalıpları benzer ama değişiklik büyüklükleri daha küçüktür.



Şekil 3.4. SRES A2 ve farklı iklim modellerinin dünya çapında modellenmesi ile ortalama yıllık akıştaki değişiklikler (IPCC, 2007)

Atmosferdeki CO₂'nin dörde katlanacağını öngören bir GÇM modelinde, Kuzey Amerika'nın güneybatısı, Akdeniz sahilleri, Çin'in güneydoğu bölgesi, Afrika'nın yeşil bölgeleri ve Avustralya'nın güney ve batı kıyısı gibi dünyanın birçok yarı kurak bölgesinde yıllık ortalama toprak neminin azaldığı belirlenmiştir. Orta ve yüksek enlemlerde Avrasya ve Kuzey Afrika kıtalarının çok yoğun bölgelerinde, yarı kurak bölgelerdeki durumun aksine toprak nemi yaz aylarında azalmakta, ama kış mevsiminde artmaktadır. Sibirya ve Kanada'nın bazı bölgelerinde azalma yüzdesi %30'u aşmakta ve bu bölgelerde kış mevsiminde toprak nemi önemli ölçüde artmaktadır (Manabe, 2004).

4. HSPF PROGRAMI TANITIMI

HSPF bir su havzasındaki hidrolojik çevrimin bütün niteliksel ve niceliksel süreçlerini sürekli bir bazda simule eden bir modeldir. Modelin hidrolojik bileşeni üzerinde çalışmalar 1966 yılında Stanford Watershed Model ile başlamış, yıllar boyu gerek modelleme çalışmaları, gerek de saha gözlemleri ile elde edilen bilgiler modele eklenmiştir. HSPF'in su kalitesini modelleyen kısımları yıllarca denenmiş ve kullanılmış olan ARM (Agricultural Runoff Model) ve NPS (Nonpoint Source Model) modelleri üzerine inşa edilmiştir.

HSPF yazılımı doğrudan erişimli bir zaman serisi yönetim sistemi temelinde planlanmıştır. Sistem, çeşitli simülasyon ve uygulama modellerini bireysel veya grup halinde işleme sokabilecek şekilde tasarlanmıştır.

HSPF modüler bir yapıya sahiptir. Hidrolojik çevrimin kar simülasyonu veya bir akarsudaki ısı bütçesi gibi süreçleri birbiriyle veri alışverişinde bulunabilen ancak ayrı ayrı çalıştırılabilen modüller ve alt bölümler halinde modellenebilmektedir.

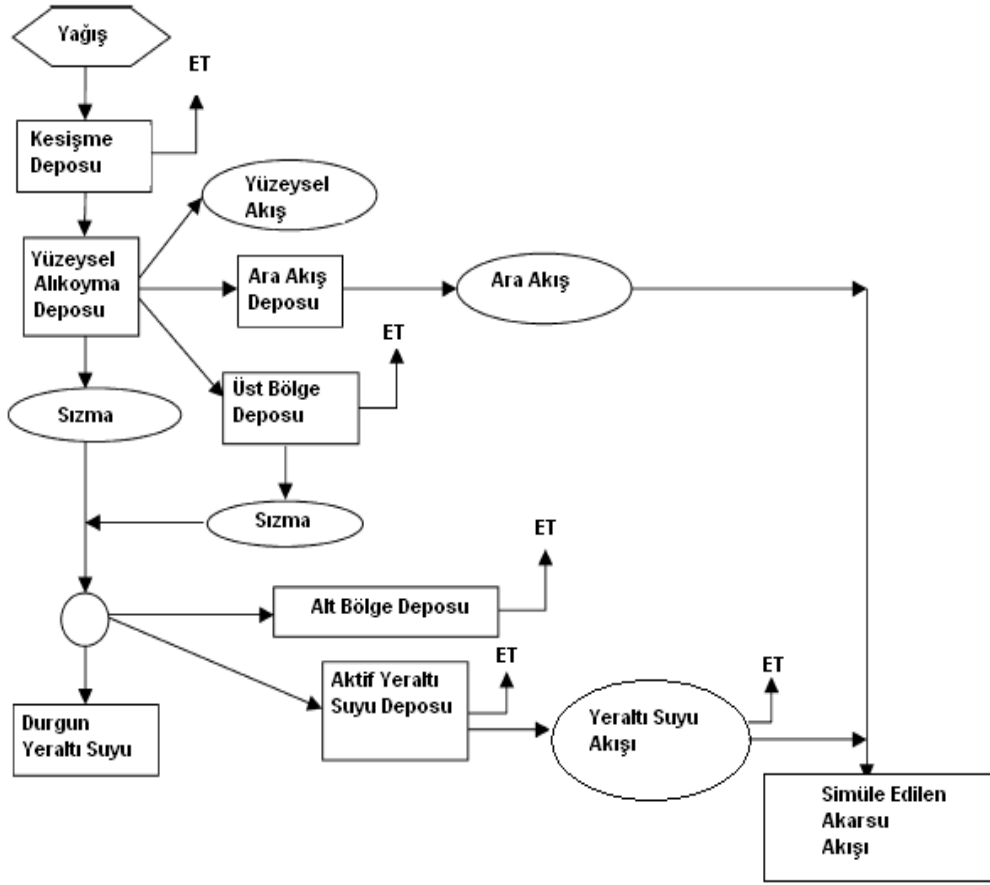
HSPF bir 'lumped' parametre modelidir. Su havzası toprak yapısı, meteorolojik özellikleri, arazi kullanımı gibi özellikleri homojen alt havzalara ayrılır, bu alt havzalar alansal değişikliklere sahip olmayan, bir diğer deyişle alt havzanın bütünü temsil eden parametreler ve zaman serileri kullanılarak modellenir. Şekil 5.1.'de HSPF hidrolojik modeli görülmektedir (Albek, 2001).

HSPF geçirimli ve geçirimsiz kara parçalarını ve akarsu veya göl gibi su ortamlarını modelleyebilmektedir. Geçirimli kara parçaları PERLND modülüyle, geçirimsiz kara parçaları IMPLND modülüyle, su ortamları da RCHRES modülüyle modellenmektedir. Bu bölümde HSPF'i oluşturan modüllerden bu çalışmada kullanılanlar tanıtılacaktır.

4.1. Geçirimli Kara Parçalarının Modellenmesi (PERLND Modülü)

Su bütçesini etkileyebilecek ölçüde yağışı alt toprak tabakalarına sızdıran kara parçaları geçirimli (pervious) olarak adlandırılır. HSPF'de, bu tür kara parçaları PERLND (PERvious LaND Segment) modülü ile modellenmektedir. Bu

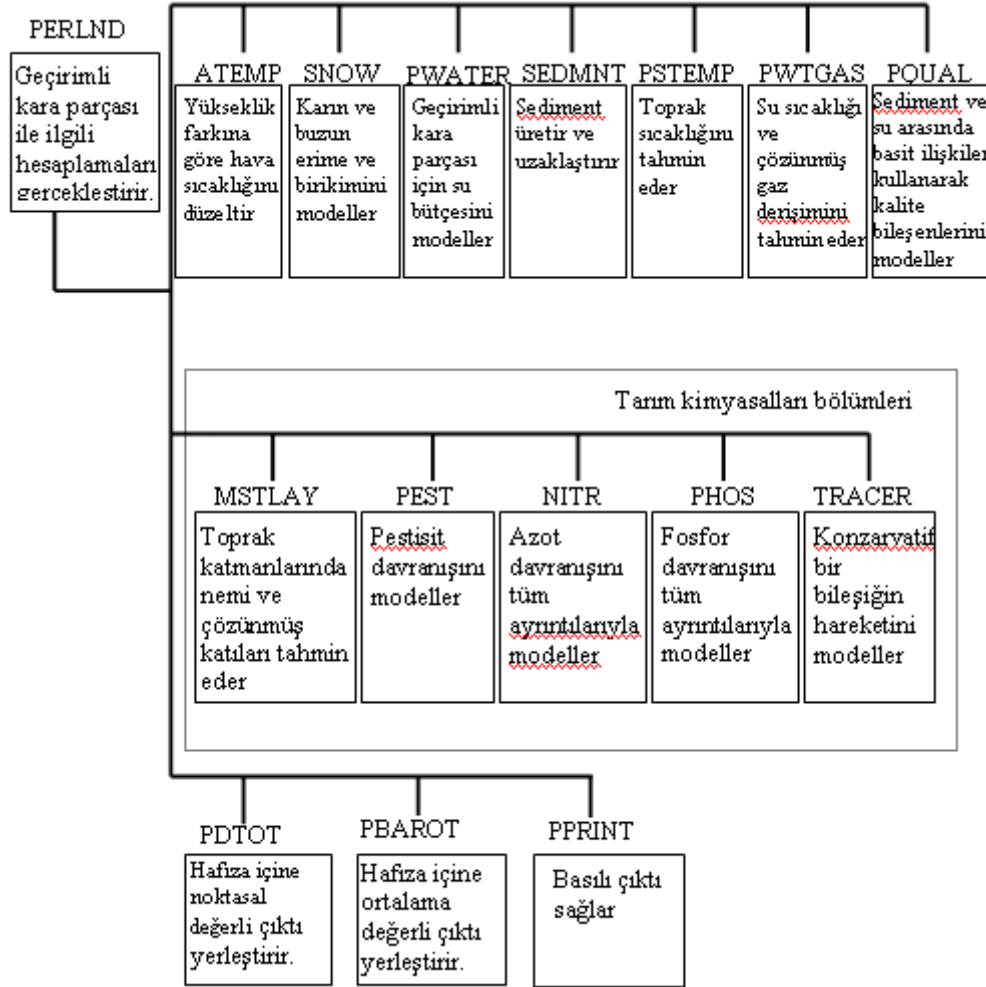
tür kara parçalarına kırsal bölgelerde ve yerleşimin çok dağınık olduğu kentsel bölgelerde rastlanmaktadır.



Şekil 4.1. HSPF genel hidrolojik modeli (Anonim-1)

PERLND modülü, SNOW bölümüyle kar birikmesi ve erimesi, PWATER bölümüyle su bütçesi, SEDMNT bölümüyle erozyondan kaynaklanan sediment, PQUAL ve tarım kimyasalları bölümleriyle su kalitesi modellenmesi yapmaktadır. Ayrıca kar erimesi ve toprak sıcaklığının hesaplanmasında hava sıcaklığı düzeltmesi yapan ATEMP bölümü; yüzeyel akış su sıcaklığının tahmin edilebilmesi, tarım kimyasalları bölümünde reaksiyon hızlarının tespit edilebilmesi ve oksijen ve karbondioksitin çözünürlüklerinin belirlenebilmesinde gerekli olan toprak sıcaklığının tahminini yapan PSTEMP bölümü alt bölümler arasında sayılabilir. Bu bölümler ve birbirleri ile ve PPTOT, PBAROT ve PPRINT bölümleriyle olan ilişkileri Şekil 4.2’de özetlenmiştir. Son üç bölüm üretilen verileri program içinde ve dışında kullanıma hazırlamaktadır. PPTOT

bölümü durum (state) değişkenlerinin noktasal değerlerini, PBAROT ise belli bir aralıktaki ortalama değerlerini içerir. PPRINT ise belirtilen miktar ve sıklıkta hesaplanmış sonuçları verir (Albek, 2001). Şekil 4.2’de verilen bölümlerin simülasyon işleyiş sırası soldan sağa doğrudur.



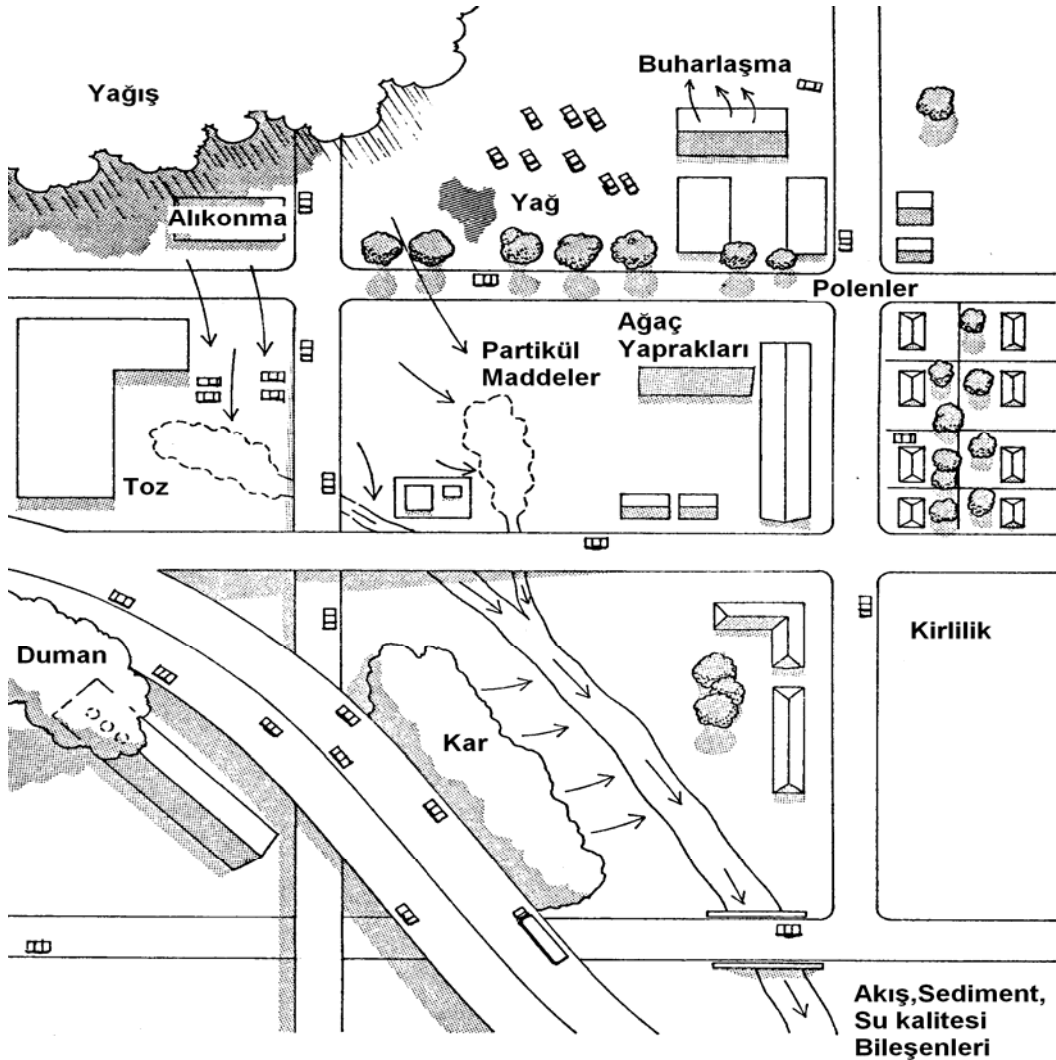
Şekil 4.2. PERLND modülünün yapısı (Anonim-1)

4.2. Geçirimsiz Kara Parçasının Modellenmesi (IMPLND modülü)

Geçirimsiz kara parçaları yağış sızdırmaya müsait olmayan yerlerdir. IMPLND modülü, kar birikmesi, erimesi, suyun depolanması, buharlaşması, su kalitesi bileşenlerinin birikimi ve uzaklaşması, suyun katların ve diğer pek çok kirleticinin yatay akışla rezervuara ya da bir alt elemente ulaşması gibi olayları modellemektedir. Bu modüldeki pek çok alt bölüm yine PERLND modülünün alt

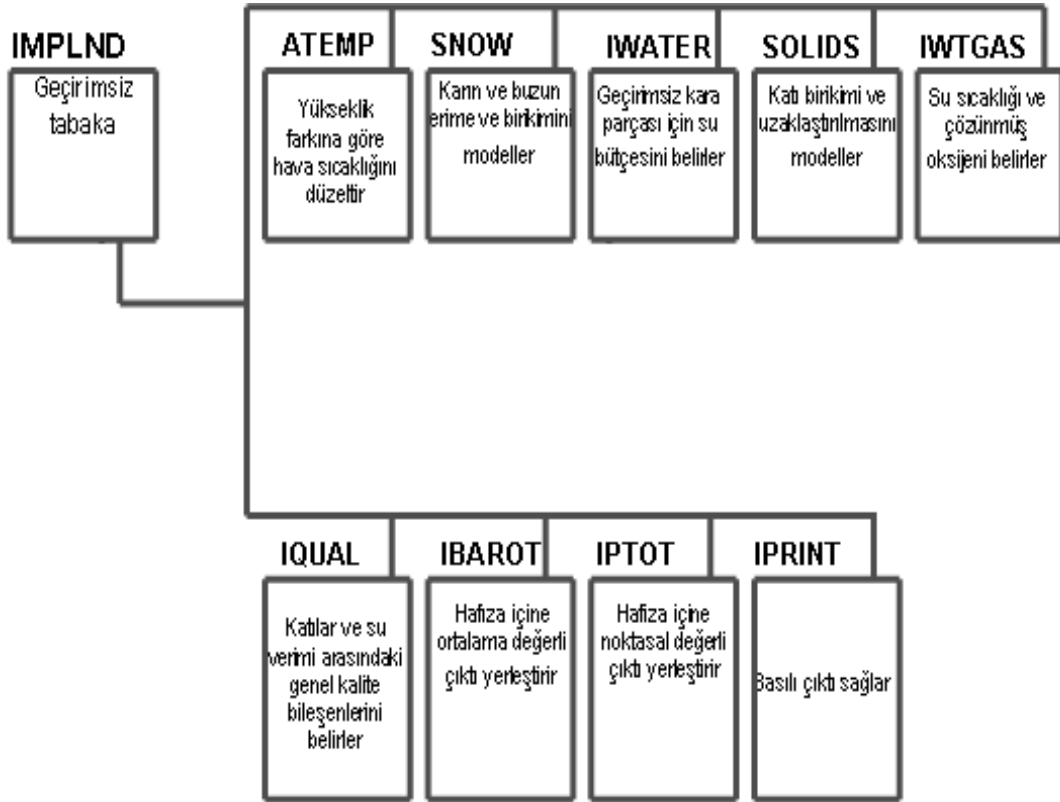
bölümlerindeki gibi çalışmakta hatta SNOW ve ATEMP bölümleri ortaklaşa kullanılmaktadır. Ancak sızıntı fonksiyonları ve ara katman akışları söz konusu olmadığından IMPLND, PERLND'ye göre daha basittir. IMPLND modülü işlemi Şekil 4.3'te görülmektedir.

Geçirimsiz bir kara parçasında sızma çok az görülmektedir veya hiç oluşmamaktadır. Kar birikmekte, erimekte, su depolanıp buharlaşmaktadır. Çeşitli su kalitesi bileşenleri birikmekte ve uzaklaşmaktadır. Su, katılar ve çeşitli kirleticiler kara parçalarından daha aşağıdaki kara parçalarına doğru akışa geçmektedir ve bir havzada toplanmaktadır.



Şekil 4.3. IMPLND bölümünün işlemi (Anonim-1)

IMPLND modülü bu işlemleri simüle etmektedir. IMPLND bölümleri ve fonksiyonları Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu bölümlerin çoğu PERLND modülündeki bölümlere benzemektedir. SNOW ve ATEMP bölümleri fonksiyonları hem geçirimli hem geçirimsiz kara parçaları için kullanılabilir, çünkü aynı modülleri paylaşırlar. IWATER, PERLND modülündeki PWATER'a, SOLIDS SEDMNT'e, IWTGAS PWTGAS'a, IQUAL ise PQUAL'a benzemektedir.



Şekil 4.4. IMPLND modülünün yapısı (Anonim-1)

4.2.1. Yükseklik farkına göre hava sıcaklığının düzeltilmesi (ATEMP bölümü)

ATEMP bölümünün amacı, hava sıcaklığı verilerini, modellenecek kara parçası üzerindeki hava sıcaklığını yansıtmaya için düzeltmektir. Eğer meteorolojik ölçüm istasyonundaki yükseklik modellemenin yapılacağı bölgenin yüksekliğinden farklı ise bir sıcaklık düzeltmesi gereklidir. Hava sıcaklığı için

sıcaklık değişim hızı (lapse rate) zaman aralığındaki yağışa bağlıdır. Eğer yağış varsa ıslak adiyabatik değişim hızları (-6,5 °C /km), yağış yoksa günün saatlerine bağlı olarak değişen kuru adiyabatik değişim hızları geçerlidir. Düzeltilmiş sıcaklık aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$AIRTMP = GATMP - LAPS \times ELDAT \quad (4-1)$$

Burada; AIRTMP, düzeltilmiş hava sıcaklığı (derece)

GATMP, ölçüm istasyonundaki hava sıcaklığı (derece)

LAPS, sıcaklık değişim hızı (derece/uzunluk)

ELDAT, ölçüm istasyonu ile modellenen havza arasındaki yükseklik farkı (uzunluk)'tur.

4.2.2. Kar ve buzun erime ve depolanmasının modellenmesi (SNOW bölümü)

SNOW bölümü, kar yağışını, birikmesini ve erimesini modeller. Kar bölümü ile ilgili işlemlerde yağışın kar mı yoksa yağmur mu olduğunu belirlemek, kar örtüsü için enerji denkliği kurmak ve kar örtüsü üzerinde ısı akısının etkilerini belirlemek için meteorolojik veriler kullanılır. SNOW bölümünde modellenen her bir kara parçası için 5 meteorolojik zaman serisi gereklidir. Bunlar: yağış, hava sıcaklığı, güneş ışıması, çığ noktası sıcaklığı, ve rüzgar hızıdır. Hava sıcaklığı yağışın kar veya yağmur olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Kar yüzeyde birikmeye başladığında kar örtüsü birikimi ve erimesi hesapları modele dahil edilir. Kar örtüsünün erimesini etkileyen ısı kaynakları 5 tanedir: uzun dalga ve kısa dalga net ışıma ısı; hissedilebilir ısının havadan kar örtüsüne konveksiyon yoluyla geçiői; kar örtüsü üzerinde nemin yoğunlaşması ile gizli ısı aktarımı; yağmurdan gelen ısı, yağmur yağışından gelen hissedilebilir ısı, yağmur olarak düşen suyun kar örtüsü üzerinde donmasından kaynaklanan gizli ısı; ve kar örtüsünün altındaki yüzeyden ısı iletimi. Bu kaynakların verdiği veya aldığı enerji hesapları SNOW'un alt bölümlerinde gerçekleştirilmektedir.

4.2.2.1. Meteorolojik koşulların tahmini (METEOR alt bölümü)

SNOW modülünün alt bölümlerinden olan METEOR, ampirik eşitlikler kullanarak meteorolojik koşulların, kar ile ilgili süreçlere etkilerini tahmin eder. Yağışın kar ya da yağmur şeklinde olduğunu belirler. Kar yağarken yeni kar örtüsünün kalınlığının bilinmesi için yoğunluğu hesaplanır. Gökyüzünün açıklık oranı da ışıma için tahmin edilir.

Aşağıdaki eşitlik saatlik olarak kar yağışının görüleceği hava sıcaklığını hesaplamaktadır.

$$SNOTMP = TSNOW + (AIRTMP - DEWTMP) * (0.12 + 0.008 * AIRTMP) \quad (4-2)$$

Burada; SNOTMP, altındaki sıcaklıklarda kar yağışının olduğu hava sıcaklığı (derece)

TSNOW, parametre (derece)

AIRTMP, hava sıcaklığı (derece)

DEWTMP, çığ noktası sıcaklığı (derece)'dir.

4.2.2.2. Yağışın örtüye etkisinin belirlenmesi (EFFPRC alt bölümü)

Bu alt bölümün amacı yağın karın örtüye ilave edilmesi, kar örtüsü üzerine düşen yağmurun miktarının tahmin edilmesi ve kar örtüsü koyuluğunun (dullness), yeni kar göz önüne alınarak ayarlanmasıdır. Kar örtüsü üzerine düşen kar miktarı yoğunluğuna ve havza alanına bölünerek kar örtüsüne eklenen yeni kar yüksekliği bulunur. Bu bölümde ayrıca kar örtüsünün koyuluğu da ayarlanmaktadır. Kar örtüsü koyuluğu albedoyu yani bir yüzeyin üzerine düşen ışığı geri yansıtma özelliğini etkilemektedir. Kar örtüsünün yüzeyi atmosferden gelen partikül madde ve karın kendi içsel şekil değiştirmesi gibi etkilerle zaman geçtikçe koyulaşır yeni yağın kar bu koyuluğu azaltır. EFFPRC alt bölümü kar yağışının olduğu her simulasyon zaman dilimi için o zaman diliminde yağın karın binde biri kadar bir oranda koyuluğu azaltır.

4.2.2.3. Örtünün sıkışması (COMPAC alt bölümü)

Yeni karın ilave edilmesi, yoğunluğu azaltacak ve kar örtüsünün kalınlığını artıracaktır. Zamanla, maksimum yoğunluğa erişilene kadar kar örtüsü sıkışır. Bu alt bölümün amacı, bu sıkışma hızını belirlemek ve sıkışmadan kaynaklanan derinlik değişimini hesaplamaktır.

4.2.2.4. Kar örtüsünden buharlaşma (SNOWEV alt bölümü)

Bu alt bölüm kar örtüsünden buharlaşmayı (süblimasyon) tahmin eder. Kar örtüsünden buharlaşma sadece havadaki buhar basıncı kar yüzeyindekinden düşük olduğunda, yani hava buhar basıncı kar örtüsünün üzerindeki ince film tabakasındaki maksimum buhar basıncı olan 6,108 mbar'dan düşük olduğunda gerçekleşir. Bu sağlandığında buharlaşma aşağıdaki ampirik formülle bulunur:

$$SNOWEP = SNOEVP * 0,0002 * WINMOV * (SATVAP - VAP) * SNOCOV \quad (4-3)$$

Burada; SNOWEP, kar örtüsünün donmuş kısmından potansiyel buharlaşma hızı (su eşdeğeri / zaman)

SNOEVP, hesaplamayı arazi koşullarına uyarlamada kullanılan parametre

WINMOV, rüzgar hızı, uzunluk/zaman

SATVAP, simulasyon sırasındaki sıcaklıkta havanın doygunluk buhar basıncı

VAP, simulasyon sırasındaki sıcaklıkta havanın buhar basıncı

SNOCOV, kar örtüsüyle kaplanmış kara parçasının oranı'dır.

4.2.2.5. Isı değişim hızının tahmini (HEXCHR alt bölümü)

Bu alt bölüm yoğunlaşma, konveksiyon ve ışıma sonucunda kar örtüsü ile atmosfer arasındaki ısı değişimini tahmin eder. Yoğunlaşmanın gizli ısı aktarımı sıcak nemli hava kar örtüsü üzerinde hareket ederken önemli olmaktadır. Bu da havanın buhar basıncının 6,108 mbar'dan büyük olması demektir. Bu fiziksel süreç kar buharlaşmasının tersidir. Atmosferle türbülans değişim sonucunda

sağlanan ısı ise sadece hava sıcaklığı donma sıcaklığından yüksek olduğunda gerçekleşebilir.

4.2.2.6. Kar örtüsünden ısı kaybının simülasyonu (COOLER alt bölümü)

Bu alt bölüm kar örtüsünü, üstündeki havadan daha sıcak olduğunda soğutur. Atmosfere ısı kaybının olduğu ve kar örtüsünün sıcaklığı hava sıcaklığından yüksek olduğu her bir aralıkta negatif ısı deposu artar böylece örtü soğutulmuş olur. Negatif ısı deposu daha sonra kar örtüsünün dışarıdan ısı alarak erimeden ısınmasını sağlar.

4.2.2.7. Kar örtüsünün ısınması (WARMUP alt bölümü)

Bu alt bölüm kar örtüsünü uygun olduğu durumlarda 32 °F'a kadar ısıtır. Örtüde negatif ısı deposu olduğunda ve önceki alt bölümde hesaplanan net giren enerji olduğunda örtünün potansiyel soğuma hızı düşürülerek kar örtüsünün ısınması ve erimesi sağlanır.

4.2.2.8. Kalan herhangi bir ısıyı kullanarak örtünün erimesi (MELTER alt bölümü)

Kar örtüsüne giren ısı kar örtüsü sıcaklığını 0 dereceye yükselttiğinde, eğer kar örtüsüne daha fazla ısı girişi gerçekleşiyorsa, karı eritir. Böylelikle WARMUP alt bölümünde kullanılmayan herhangi bir ısı kullanılabilir. Gelen net ısı zaten erimenin su eşdeğeri cinsinden hesaplandığından, herhangi bir kalan ısı doğrudan örtünün boyutlarına bağlı olarak erimesinde kullanılır.

4.2.2.9. Örtüdeki sıvı suyun hesaplanması (LIQUID alt bölümü)

Bu bölüm ilk olarak kar örtüsünün sıvı su depolama kapasitesini, daha sonra bu kapasiteyi doldurmak için gereken su miktarını belirler. Bu kapasitenin

üzerindeki su miktarı, donma yoksa örtüyü terk eder. Kar örtüsünün yoğunluğu azaldıkça su tutma kapasitesi yükselir.

4.2.2.10. Örtüde buz oluşumunun simülasyonu (ICING alt bölümü)

Bu alt bölüm sadece bazı özel durumlarda kullanıldığından kullanıcı tarafından seçilebilir. Kar örtüsünün içerdiği suyun donması çevresel koşullara bağlıdır. Her sabah saat 6'da donma kapasitesi değerlendirilip, 32 °F'ın altındaki hava sıcaklıklarında 0,01 ile çarpılarak erime cinsinden yeni değer bulunur. Bulunan değer önceki 24 saatlik periyotla karşılaştırılır, büyükse yeni değer kullanılır.

4.2.2.11. Yerden ısı alarak örtünün erimesi (GMELT alt bölümü)

Bu alt bölümün amacı, kar örtüsünün altındaki yüzeyden iletilen ısının neden olduğu erimeyi simule etmektir. Yerden ısı alarak erimenin potansiyel hızı kar örtüsü sıcaklığının (PAKTMP) ve GMELT parametresinin bir fonksiyonu olarak saatlik hesaplanır. Yerden alınan ısı, kar örtüsünün buzlu kısmı yere daha yakın olduğundan önce örtüdeki buz erir.

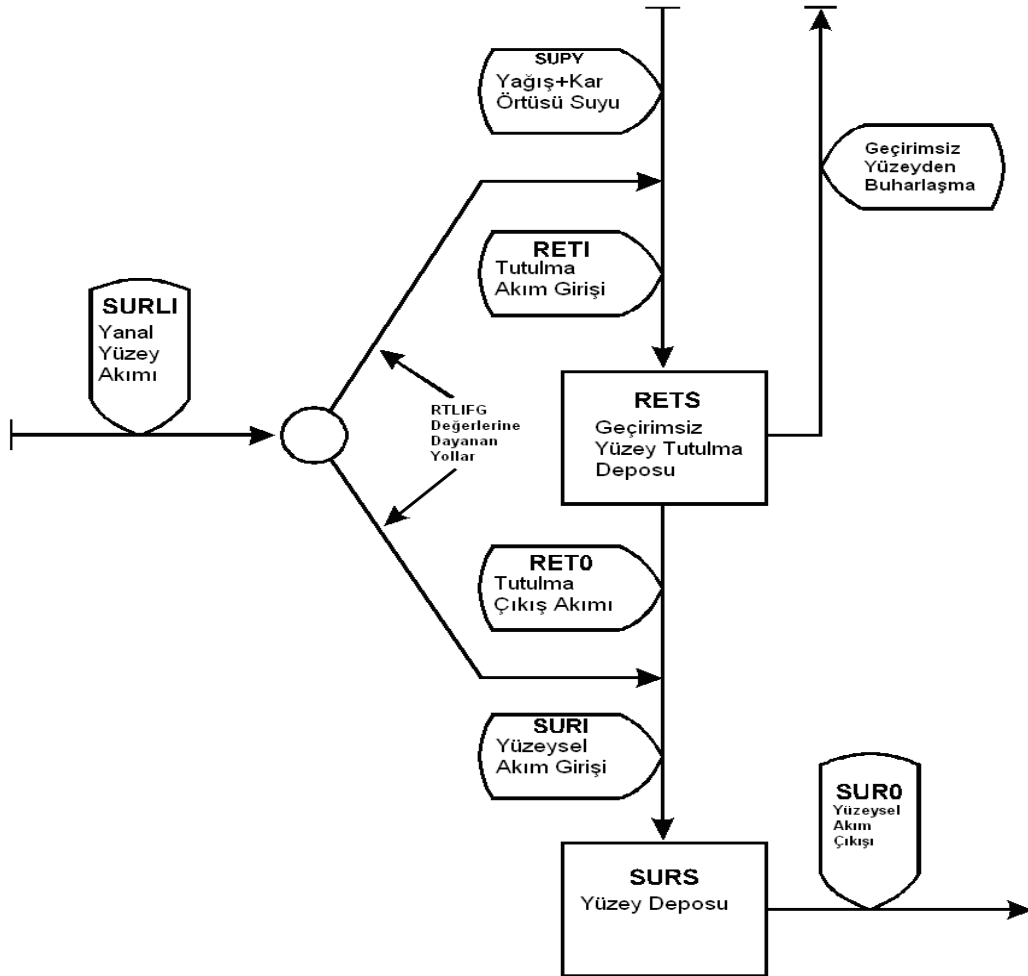
4.2.2.12. Kar örtüsü kaybolduğunda durum değişkenlerinin değerlerinin değiştirilmesi (NOPACK alt bölümü)

Bu alt bölüm, kar örtüsü tümüyle yok olduğunda örtü derinliği gibi durum değişkenlerini sıfırlar. Bütün yüzeyin karla kaplanması için gereken kar örtüsünün donmuş bileşenleri (COVINX) maksimum değer (COVIND) on katı yüksek değere ayarlanır. Diğer bütün değişkenler ya sıfırlanır ya da -1,0E30 gibi belirsiz bir değer alır.

4.2.3. Geçirimsiz kara parçası için su bütçesi simülasyonu (IWATER Bölümü)

IWATER bölümü PERLND modülündeki PWATER bölümüne benzemektedir. Bununla birlikte IWATER daha basittir çünkü sızma olmadığından yüzey altı suyu işlemleri yoktur.

Şekil 4.5. IWATER modülünde simüle edilen akışları ve depoları göstermektedir. Yağış ve kar örtüsünde bulunan su (SUPY), tutulma fonksiyonlarının yürütüldüğü RETN alt bölümü sayesinde yan geçirimsiz yüzey tutulma deposunda bekletilir yada yüzeysel akışa geçer. Yanal yüzey akımı (SURLI) kullanıcının belirlediği RTLIFG parametresine bağlı olarak (RTLIFG=1 ise) geçirimsiz yüzey tutulma deposuna gönderilebilir. Aksi takdirde tutulan akımın giriş değeri (RETI), yağış ve kar örtüsünde bulunan değere eşit olacaktır.



Şekil 4.5. IMPLND modülün IWATER bölümü için akım şeması

Tutulma kapasitesi aşıldığında su yüzeysel akışa geçer ve yüzey deposuna girer. Bu depodaki su, havza geçirimsiz olduğu için sızamaz ancak buharlaşarak atmosfere karışabilir.

Tutulma kapasitesi RETSC parametresiyle ifade edilir, yüzey akışa geçmemiş suyun tutulmasını belirlemek için kullanılmaktadır. RETSC, çatıdaki su toplama kanallarını, asfalt ıslanmasını, şehir bitki örtüsünü, hatalı drenajları veya suyun yüzeyden akmasını engelleyen diğer bütün tutulmaları temsil etmek için kullanılmaktadır.

Bekleme deposunda tutulan su buharlaşmayla (IMPEV) uzaklaşmaktadır. Buharlaşmayla uzaklaşan miktar EVRETN alt bölümüyle belirlenmektedir. Potansiyel buharlaşma girdi olarak zaman serisi şeklinde verilmektedir.

Tutulma çıkış akımı, RTLIFG=0 olduğunda, yanal yüzey akımı ile birleştirilir ve yüzey deposuna toplam giriş akımını (SURI) oluşturur.

Tutulma deposundan çıkan suyun herhangi bir giriş akımı ile toplamı geçirimsiz yüzeyden sağlanan suyu verir. Bu su yüzeyden IROUTE alt bölümü ile yönlendirilmektedir.

4.2.3.1. Su bütçesinin akış simülasyonu (IROUTE alt bölümü)

IROUTE alt bölümü geçirimsiz kara parçasından giren suyun ne kadarının akışa geçerek uzaklaştığını simüle etmektedir. Chezy-Manning eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır.

Eğer yüzeysel akış artıyorsa;

$$SURO = DELT60 * SRC * \left(SURSM * \left(1 + 0,6 * \left(SURSM / SURSE \right)^3 \right) \right)^{1,67} \quad (4-4)$$

Eğer yüzeysel akış azalıyorsa;

$$SURO = DELT60 * SRC * \left(SURSM * 1,6 \right)^{1,67} \quad (4-5)$$

Burada; SURO, simülasyon zaman aralığı içinde gerçekleşen yüzeysel akış yüksekliğini

SURSM, ortalama yüzeysel birikim deposunu

SURSE, dengedeki yüzeysel birikim deposunu temsil etmektedir.

SURSE aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanır;

$$SURSE = DEC * (SSUPR)^{0,6} \quad (4-6)$$

Burada; SSUPR, yüzeysel akışa ayrılmış bulunan su miktarıdır. Eşitlik 5.8.'deki SRC ve Eşitlik 5.7.'deki DEC öteleme (routing) parametreleridir ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilirler:

$$DEC = 0,00982 * \left(NSUR * \frac{LSUR}{\sqrt{SLSUR}} \right)^{0,6} \quad (4-7)$$

$$SRC = 1020 * \left(\frac{\sqrt{SLSUR}}{NSUR * LSUR} \right) \quad (4-8)$$

Burada; NSUR, yüzeysel akış düzleminin Manning (n) pürüzlülük katsayısıdır. Çizelge 4.1'de Manning n için verilen yaklaşık değerler görülmektedir (Donigian ve Crawford, 1976).

Çizelge 4.1. Yüzeysel özelliklerine göre Manning n değerleri

Yüzeyin özelliği	Manning's n
Düzgün, kaplı yüzeyler	0,05
Normal yollar ve park alanları	0,1
Bozuk arazi yüzeyleri	0,15
Çim	0,25
Ağır çim ve orman döküntüsü	0,35

LSUR, yüzeysel akış düzleminin uzunluğu

SLSUR, yüzeysel akış düzleminin eğimidir.

LSUR ve SLSUR parametreleri geçirgen ve geçirgen olmayan araziler için topografya haritaları kullanılarak bulunur. Yüzeysel akış düzleminin uzunluğu aşağıdaki formül kullanılarak tahmin edilebilir (Linsley ve ark.1988).

$$LSUR = \frac{1}{2D} \quad (4-9)$$

Burada; D drenaj yoğunluğu (1/uzunluk) 'dur.

Drenaj yoğunluğu bir havzadaki akarsu yataklarının toplam uzunluğunun havza alanına bölünmesiyle elde edilir.

4.2.3.2. Sediment oluşumu ve uzaklaşması simülasyonu (SOLIDS bölümü)

SOLIDS bölümü, geçirimsiz kara parçalarından sediment birikimi ve uzaklaşmasını modeller. Sediment uzaklaştırılması 2 yöntemle simüle edilebilir. Birinci yöntem NPS modelindeki yöntemle benzerdir (Donigian ve Crawford,1976). Fakat bu yöntem birimler açısından homojen değildir. Akı ve depo birbirine eklenerek zamana bağlı sonuçlar elde edilir. Bu teknik de sadece 15dakika aralıklarla kullanılmaktadır. Diğer modül daha homojendir çünkü çözümlerde sadece akış kullanılmaktadır. Fakat bu yöntem henüz test edilmemiştir.

Akıştan bağımsız sediment birikimi ve uzaklaştırılması (atmosferik çökeltme, cadde temizliği gibi) ACCUM alt modülüyle ele alınmaktadır.

Sediment yıkanması Metod 1'de (SOSLD1) sedimentin taşınımı simüle edilirken akıdaki taşıma kapasitesi belirlenmektedir ve mevcut sediment miktarı ile karşılaştırılmaktadır.

$$STCAP = DELT60 * KEIM * ((SURS + SURO) / DELT60)^{JEIM} \quad (4-10)$$

Burada; STCAP, her bir zaman aralığında sediment uzaklaştırma kapasitesi

KEIM, sediment taşınımı için kullanılan katsayı

SURS, yüzeysel su deposu

SURO, yüzeysel akış yüksekliği

JEIM, sediment taşınımı için kullanılan üs'tür.

STCAP, depodaki sediment miktarından fazlaysa, taşınma şu şekilde hesaplanır;

$$SOSLD = SLDS * \frac{SURO}{(SURS + SURO)} \quad (4-11)$$

Eğer taşıma kapasitesi için depo yeterli ise, aşağıdaki hesaplama kullanılır;

$$SOSLD = STCAP * \frac{SURO}{(SURS + SURO)} \quad (4-12)$$

SOSLD, zaman aralığı boyunca yıkanan sediment

SLDS, depodaki sediment miktarı'dır.

Daha sonra SOSLD, SLDS'den çıkartılır.

Sediment yıkanması Metod 2 (SOSLD2 bölümü); sediment uzaklaştırmayı belirlemek için kullanılan bu yöntem henüz test edilmemiştir. Alt bölüm SOSLD1' in tersine (SURO+SURS)/DELT60 yerine SURO/DELT60 terimi aşağıdaki eşitlikte birimlerin homojen olarak kullanımını sağlamaktadır. (STCAP=DELT60*KEIM*(SURO/DELT60)^JEIM) Eğer STCAP depodaki sediment miktarından fazlaysa, akış depodaki katıların tümünü uzaklaştırır. Bunun yanı sıra, STCAP depodaki sediment miktarından azsa, SOSLD, STCAP' a eşit olur.

Sediment birikimi ve yüzeysel akışla uzaklaştırılmasında ise; ACCUM alt bölümü akıştan bağımsız olarak sediment birikimi ve uzaklaştırılmasını simüle etmektedir. Atmosferik çökme veya cadde temizliği örnek olarak verilebilir.

Depo günde bir güncelleştirilmektedir, bu günlerde bir önceki gün boyunca yağış oluşmadıysa aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$SLDS = ACCSDP + SLDSS * (1 - REMSDP) \quad (4-13)$$

Burada; ACSDP, depodaki sedimentin birikim hızı

SLDS, gün sonunda depodaki sediment miktarı

SLDSS, gün başında depodaki sediment miktarı

REMSDP, depodan birim zamanda sedimentin uzaklaşma hızı'dır.

ACCSDP ve REMSDP mevsimsel değişiklikleri açıklamak için aylık temelde girdi olarak verilebilir.

Eğer yüzeysel akış olmazsa, yukarıdaki eşitlik depodaki sedimentin asimtotik olarak limit değere yaklaşmasını sağlar. Bu da aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$SLDSL = ACCSDP / REMSDP \quad (4-14)$$

4.2.3.3. Su sıcaklığı ve çözülmüş gaz konsantrasyonunun simülasyonu (IWTGAS alt bölümü)

IWTGAS geçirimsiz kara parçası için su sıcaklığı ve çözülmüş oksijen (O_2) ve CO_2 'nin konsantrasyonlarını simüle etmektedir. Çıkış akımındaki su sıcaklığı şu eşitlikle belirlenir;

$$SOTMP = AWTF + (BWTF * AIRTC) \quad (4-15)$$

Burada; SOTMP, geçirimsiz kara parçasında yüzeysel akış sıcaklığı
AWTF, Y ekseninde kesilen nokta
BWTF, eğim
AIRTC, hava sıcaklığı' dır.

AWTF ve BWTF parametreleri aylık olarak modele girilebilir. Eğer kar erimesiyle oluşan su akışa karışırsa, SOTMP 0,5'e eşitlenir.

Akıştaki çözülmüş O_2 ve CO_2 konsantrasyonunun doymuş olduğu kabul edilir ve susıcaklığının birebir fonksiyonu olarak hesaplanır.

$$SODOX = 14,652 + SOTMP * (-0,41022 + SOTMP * (0,007991 - 0,000077774 * SOTMP)) * ELEVGC \quad (4-16)$$

Burada; SODOX, yüzeysel akıştaki çözülmüş O_2 konsantrasyonu
SOTMP, yüzeysel akış sıcaklığı
ELEVGC, deniz seviyesine göre düzeltme faktörü' dür.
 CO_2 için;

$$SOCO2 = \left(10^{\frac{2385,73}{ABSTMP} - 14,0184 + 0,0152642 * ABSTMP} \right) * 0,000316 - ELEVGC * 12000 \quad (4-17)$$

ampirik eşitliği kullanılır.

Burada; SOCO2, yüzeysel akıştaki çözülmüş CO_2
ABSTMP, yüzeysel akışın mutlak sıcaklığı' dır.

4.2.3.4. Su kalitesi bileşenlerinin simülasyonu (IQUAL alt bölümü)

IQUAL geçirimsiz bir kara parçasındaki su kalitesi bileşenlerini ya da kirleticileri sediment ve/veya su verimi arasında basit ilişkileri kullanarak simüle etmektedir. Bu alt modül ile herhangi bir bileşen simüle edilebilir. Kullanıcı hangi bileşeni simüle etmek isterse isim, birim ve parametre değerlerini bileşene uygun olarak modele girer. Bir kalite bileşeni 2 farklı yöntemle simüle edilebilir. Birinci yaklaşım, kirletici bileşeni sediment uzaklaştırılmasıyla ilişkilendirmektir. Diğer yöntem ise, akışın temel birikim ve eksilme hızlarını kullanmaktadır.

IQUAL aynı anda 10 kalite bileşenini simüle etmeye izin verir. Eğer bileşen katılarla birleştirilmek isteniyorsa, QUALSD kullanılmaktadır. 10 bileşenden her biri QUALSD veya QUALOF olarak tanımlanır.

a) Su Kalitesi Bileşenlerinin Sediment ile Bağlantılı Olarak Uzaklaştırılması Simülasyonu (WASHSD alt bölümü)

WASHSD geçirimsiz bir kara parçasından SOLIDS alt bölümünde belirlenen sediment uzaklaştırılmasıyla bağlantılı olarak su kalitesi bileşeninin uzaklaşmasını simüle etmektedir.

Bu yaklaşıma göre kara parçasından uzaklaştırılan partikül bileşen sediment uzaklaştırılmasıyla orantılıdır. Bu ilişki kullanıcı tarafından girilen güç faktörü ile belirlenmektedir. Güç faktörleri yüzeyden uzaklaşan sedimente göre kirletici bileşenin dayanımını ifade eder. Her bir kalite bileşeni için güç faktörleri ayrı ayrı belirlenmektedir. Güç faktörleri aylık olarak da belirlenebilir. Aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$SOQS = SOSLD * POTFW \quad (4-18)$$

Burada; SOQS, sedimentle bağlantılı kalite bileşeninin akısı

SOSLD, akışla ayrılan sediment miktarı

POTFW, yıkama güç faktörü'dür.

b) Su Kalitesi Bileşenlerinin Yüzeysel Akışla ve Sabit Birim Hızla Birikim ve Uzaklaştırmanın Simülasyonu (WASHOF alt bölümü)

WASHOF geçirimsiz kara parçasındaki kalite bileşeninin birikimini ve uzaklaştırılmasını yüzeysel akışla ve sabit birim hızla simüle etmektedir.

Bu alt bölüm WASHSD alt bölümünden kalite bileşeninin depolanmasını simüle etmesi açısından farklıdır. Depolanan bileşenler yağış olayından bağımsız olarak sokak temizliği, bozunma, rüzgar gibi süreçlerle birikebilir ve uzaklaşabilir ve yüzeysel akışla yıkanabilir.

Eğer yüzeysel akış varsa ve bazı kalite bileşenleri depolanmış ise şu eşitlik kullanılır:

$$SOQO = SQO * (1 - EXP(-SURO * WSFAC)) \quad (4-19)$$

Burada; SOQO, kalite bileşeninin akıştaki miktarı

SQO, depodaki kalite bileşeninin miktarı

SURO, yüzeysel akış

WSFAC, kalite bileşeninin akışa duyarlılığı'dır.

Eğer QSOFG=1 ise akıştan bağımsız olarak birikim ve uzaklaştırmayı açıklamak için depo her gün güncelleştirilir ve şu eşitlik kullanılır:

$$SQO = ACQOP + SQOS * (1 - REMQOP) \quad (4-20)$$

Burada; ACQOP, bileşenin birikim hızı

SQOS, zaman aralığının başlangıcındaki SQO değeri

REMQOP, depolanan bileşenin birim uzaklaştırma hızıdır.

REMQOP ve WSFAC bu alt bölüm için şöyle hesaplanır;

$$REMQOP = \frac{ACQOP}{SQOLIM} \quad (4-21)$$

SQOLIM, yıkama olmadığında zaman sonsuza yaklaşırken SQO için limit değeridir.

$$WSFAC = \frac{2,3}{WSQOP} \quad (4-22)$$

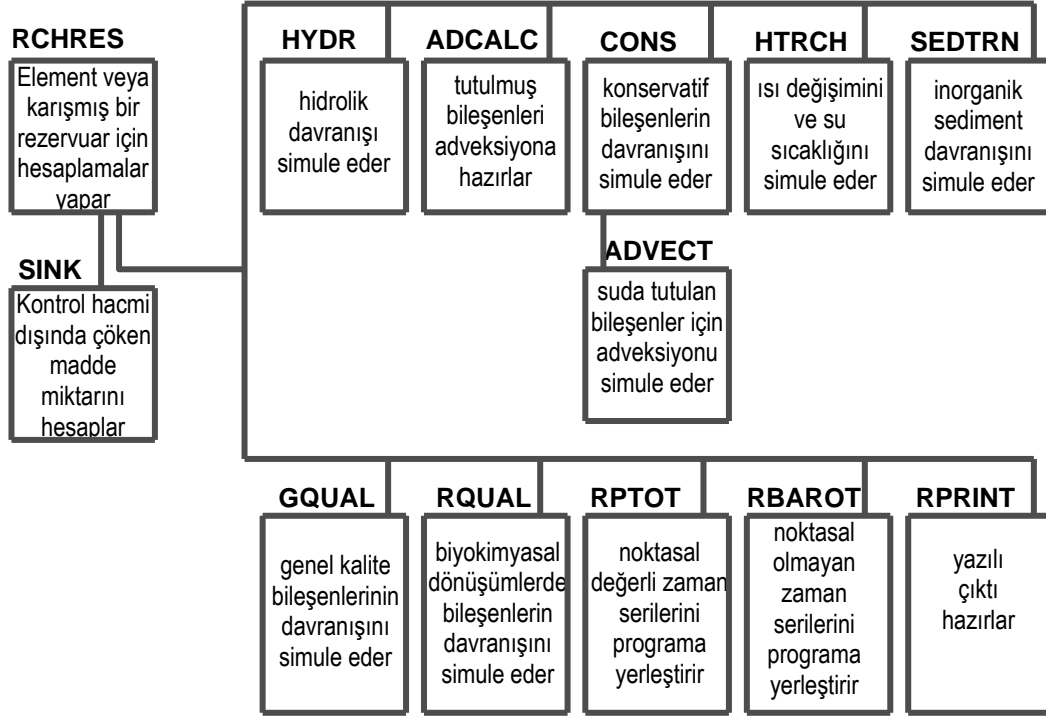
WSQOP, bir saat içinde %90 yıkanma sağlayan yüzeysel akış hızıdır.

4.3. Serbest-Akışlı Bir Akarsuyun ya da Tam Karışmış Bir Rezervuarın Modellenmesi (RCHRES modülü)

Bu modül açık ya da kapalı kanallı bir akarsu parçasının veya tam karışmış bir gölde gerçekleşen süreçleri modellemektedir. Bir havzanın suyunu boşaltan akarsu sistemi veya bir göl bu modülle temsil edilebilir. RCHRES modülü modellediği su ortamındaki akışı tek yönlü olarak kabul eder. Su ve diğer bileşenler modüle girerler ve modül içinde değişik süreçlerle karşılaştıktan sonra modülü terk ederler.

RCHRES modülünün 10 temel alt bölümü bulunmaktadır. Modellenen sisteme göre istenen alt bölüm veya bölümler kullanılabilir. Ancak bazı alt bölümler birbirleriyle ilişkilidirler ve birbirleriyle zaman serisi şeklinde veri alışverişinde bulunurlar. RCHRES modülünün yapısı Şekil 4.6'da verilmiştir.

RCHRES modülüne ait alt bölümlerden SINK, askıda katı maddelerin çökelmelerinin modellenmesini sağlamaktadır. Çöken maddelerin miktarlarını hesaplayarak o kısımdaki madde derişimindeki değişimleri belirlemektedir (Albek, 2001).

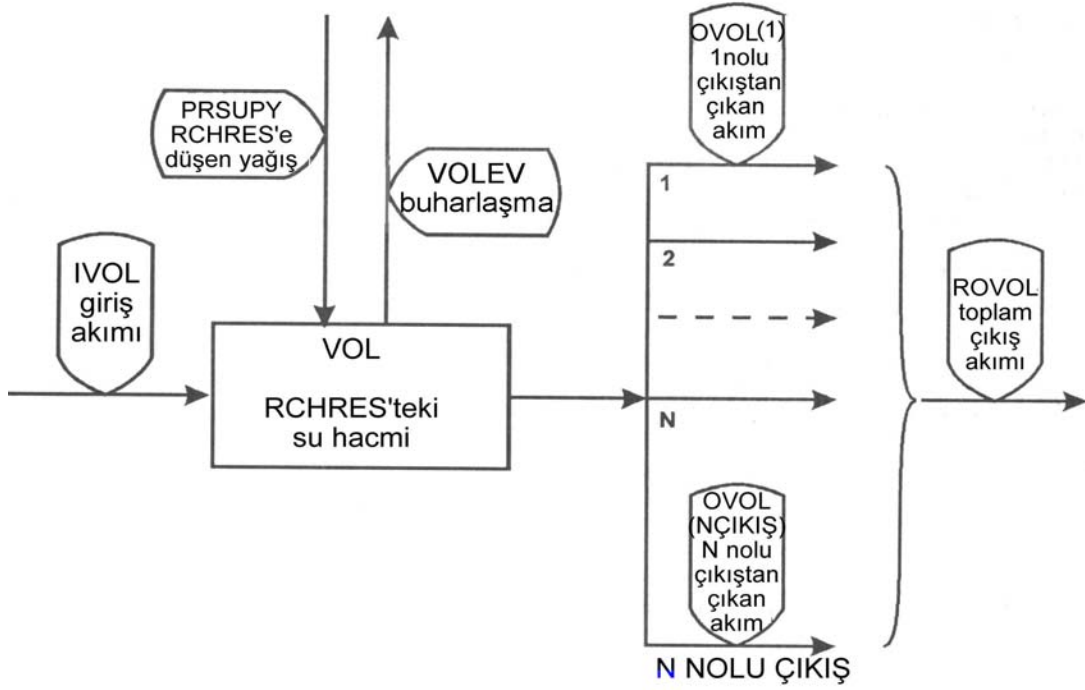


Şekil 4.6. RCHRES modülünün yapısı (Anonim-1)

4.3.1. Hidrolik davranışın modellenmesi (HYDR alt bölümü)

HYDR alt bölümü, akarsuda gerçekleşen tüm hidrolik süreçlerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Taşkın modellenmesi, baraj davranışlarının belirlenmesi, suda çözülmüş maddelerin analizi kullanım amaçlarındandır. HYDR bölümünün akış şeması Şekil 4.7.'de verilmiştir. RCHRES modülüne yüzey veya yüzey altı kaynaklardan giren suların tümü INFLO adı verilen girişten geçer ve geçen miktar IVOL olarak adlandırılmaktadır. Bu girişler zaman serileri şeklinde ya havza dışından kaynaklanır ya da RCHRES'e drene ettiği kara parçalarından gelmektedir. Herhangi bir zaman serisi verilmemişse sistem RCHRES'e giriş akımını sıfır olarak kabul etmektedir. Bir RCHRES'ten altı tane çıkış bulunmaktadır. Bu çıkışlar OFLO olarak adlandırılmaktadır. Simulasyon zaman aralığında bu çıkışlardan çıkan su hacmi OVOL dir. Toplam çıkış ise ROVOL olarak tanımlanmaktadır.

Yağışla su yüzeyine düşen ve buharlaşma ile yüzeyden uzaklaşan su miktarı da göz önüne alınmaktadır.



Şekil 4.7. HYDR bölümünün akım şeması (Anonim-1)

Bir RCHRES'in modellenmesinde en temel eşitlik süreklilik denklemidir. Bir su ortamına giren ve çıkan suyun dengelenmesi süreklilik olarak tanımlanmaktadır. Buna göre:

$$VOL - VOLS = IVOL + PRSUPY - VOLEV - ROVOL \quad (4-23)$$

Burada; VOL, zaman aralığının sonunda RCHRES'teki su hacmi

VOLS, zaman aralığının başlangıcındaki RCHRES'teki su hacmi

PRSUPY, akarsu yüzeyine düşen yağmur

VOLEV, yüzeyden buharlaşma'dır.

HYDR alt bölümünün başlıca görevi ROVOL'ü tahmin etmek ve zaman aralığı sonundaki hacmi (VOL) bulmaktır.

HSPF'te RCHRES'ten her bir çıkış, ya hacmin bir fonksiyonu $f(VOL)$, ya da zamanın bir fonksiyonu $f(zaman)$, olarak ifade edilmektedir. Hacmin fonksiyonu olan bileşen, akımın üzerinde kontrolün olmadığı veya herhangi bir kontrol yapısının çıkış özelliklerinin arkasındaki su seviyesine bağlı olduğu

RCHRES için en kullanışlı bileşendir. Zamanın fonksiyonu olan bileşen ise evsel, endüstriyel veya tarımsal kullanışlı çıkışların karşılanması için uygundur.

HSPF’de modellediği RCHRES için herhangi bir geometrik enkesit alan veya şekil belirlenmesi gerekmemektedir. Ancak RCHRES’in en derin noktasında, derinlik, yüzey alanı ve hacim arasında sabit bir ilişki olduğu kabul edilir ve bu ilişkinin zamana göre değişmediği varsayılmaktadır. RCHRES modellenmesinde kinematik dalga yöntemleriyle suyun RCHRES içindeki hidrolik davranışı belirlenmektedir.

RCHRES özellikleri kullanıcı tarafından RCHTAB tablolarında belirtilmektedir. Bu tablo derinlik, yüzey alanı, hacim ve hacme bağlı fonksiyonları ($f(VOL)$) içeren kolonlardan ve bunların su yüzeyinin değişik yüksekliklerindeki değerlerini içeren satırlardan oluşmaktadır. Böylece sistem interpolasyon için ara değerler sağlamış olur. Tablo ya UCI dosyasında, FTABLE bloğu olarak bulunur ya da WDM dosyasında saklanmaktadır.

HSPF’de akarsularda sediment hareketinin modellenmesinde taban kesme kuvveti ve sürtünme hızının hesaplanması önem taşımaktadır. Sürtünme hızı (USTAR), şu denklemle hesaplanır:

$$USTAR = \sqrt{9,81 * SLOPE * HRAD} \quad (4-24)$$

Burada; SLOPE, akarsuyun eğimini

HRAD da, akarsuyun hidrolik yarıçapını temsil etmektedir.

Kesme kuvveti şu denklemle hesaplanır:

$$TAU = SLOPE * GAM * HRAD \quad (4-25)$$

Burada; GAM, suyun yoğunluğu’ dur.

4.3.2. Tümüyle tutunmuş bileşenlerin adveksiyon modellenmesine hazırlanması (ADCALC bölümü)

ADCALC, askıda veya çözünmüş bileşenlerin akım yönündeki adveksiyonunun modellenmesi için gereken değişkenleri hesaplamaktadır. Bu

değerler hidrolik bölümünde (HYDR) hesaplanan çıkış akımı ve hacim değerlerine bağlıdır.

4.3.3. Konservatif bileşenlerin modellenmesi (CONS bölümü)

CONS, zamanla değişime uğramayan ve adveksiyon dışında herhangi bir mekanizmayla elementi terkeden bileşenleri modellemektedir. Örnek olarak toplam çözünmüş katılar, klorür, çok yavaş bozunan pestisit ve herbisitler verilebilir.

4.3.3.1. Bileşenlerin adveksiyonunun simülasyonu (ADVECT alt bölümü):

CONS alt bölümüne bağlı olarak, akarsu akım yönünde adveksiyonla taşınan bileşenleri simüle eden, her bölüm tarafından kullanılan genel bir ADVECT alt bölümü vardır. ADVECT alt bölümü, RCHRES'teki madde derişimini ve akış yönünde adveksiyonla aktif çıkışlardan RCHRES'den çıkan madde miktarını hesaplamaktadır.

Normal adveksiyonun çözüm tekniklerinde iki varsayım yapılmaktadır. İlk olarak, ADVECT alt bölümü ile hesaplanan her bileşenin suda düzgün olarak dağıldığı; ikinci olarak ise, her bir bileşenin akım tarafından tümüyle tutulduğu yani suyla aynı yatay hızda hareket ettiği kabul edilmektedir.

4.3.4. Isı değişimi ve su sıcaklığının modellenmesi (HTRCH bölümü)

Bu bölüm, bir akarsu parçası veya iyi karışmış bir rezervuardaki su sıcaklığını belirleyen işlemleri modellemektedir. Sıcaklığın pek çok çevresel olayda önemli etkisi vardır. Örneğin çözünmüş oksijenin doygunluk derişimi, sıcaklıkla ters orantılıdır. Organik maddelerin bozunması ve bozunma için gereken oksijen miktarı, sıcaklıkla artmaktadır. Bazı fitoplankton ve zooplankton türleri de sıcaklıkla ilintilidir. Aynı zamanda bu çalışmada akarsu içinde kumun taşınma kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan Toffaleti yöntemi denklemlerinde de, su sıcaklığının belirlenmesi için bu alt bölüm kullanılmaktadır.

Sıcaklığın modellenmesi için beş meteorolojik zaman serisi gerekmektedir.

Bunlar,

- a) Güneş ışıması, Langley/zaman dilimi
- b) Bulutluluk, 10 üzerinden
- c) Hava sıcaklığı, derece
- d) Çiğ noktası sıcaklığı, derece
- e) Rüzgar hızı, uzunluk/zamandır.

HTRCH modülü, iki temel süreçle ilgilidir. Bunlar adveksiyonla ısı transferi ve hava-su yüzeyleri arasındaki ısı transferidir. HSPF difüzyon ve dispersiyon modellenmesi ile ilgilenmemektedir. Adveksiyonla ısı transferi, sıcaklık farklarının incelenmesiyle, bileşenlerin advectif taşınımını hesaplayan standart ADVECT alt bölümüyle modellenmektedir. Hava-su yüzeyinde ısı transferinde pek çok mekanizma rol oynamaktadır. Suyun ısı kapasitesini artıran mekanizmalar güneş ışımasının absorpsiyonu, uzun dalga ışımasının absorpsiyonu ve kondüksiyon – konveksiyon ve buharlaşmadır. Bütün bu mekanizmalar modelde ayrı ayrı teorik formülasyonlarla hesaba katılmaktadır.

4.3.5. İnorganik sediment davranışının modellenmesi (SEDTRN bölümü)

SEDTRN bölümü, inorganik sedimentlerin taşınımını, birikimini ve sıyırılmasını (scour) modellemektedir. HSPF, inorganik sedimentin çökme ve tabandan sıyırılma süreçlerinin, kanalın hidrolik özelliklerine etki etmediğini varsaymaktadır. Bununla birlikte, kum, silt ve kil birikintileri RCHRES tabanında farklı alanlarda bulunur ve sıyırılma ve birikimleri birbirleriyle ilişkili değildir. Taban sedimentlerinin akış boyunca hareketi HSPF tarafından modellenmez.

4.3.6. Genel kalite bileşenlerinin davranışlarının modellenmesi (GQUAL bölümü)

Bu çalışma kapsamında GQUAL bölümü kullanılmamaktadır, ancak HSPF modelinin temel bölümlerinden biri olduğu için burada kısaca değinilecektir.

GQUAL bölümü, genel bir bileşenin davranışının modellenmesini sağlamak ve sadece şu olaylarla ilgilenmektedir:

- a) Çözünmüş maddenin adveksiyonu
- b) Bozunma işlemleri (hidroliz, serbest radikal oksijenin oksidasyonu, fotoliz, uçuculaşma, biodegradasyon, genel birinci-derece bozunma)
- c) Genel kalite bileşenlerinden birinin listelenen bozunma olaylarından uçuculaşma dışında birisiyle bozunması ve başka bir genel kalite bileşeni üretilmesi

Genel kalite bileşeni sedimentle ilgiliyse şu ilave işlemler dahil edilir:

- d) Adsorplanan askıda maddenin adveksiyonu
- e) Adsorplanan maddenin birikimi ve sıyrılması
- f) Askıda ve yatak materyalinin bozunması
- g) Çözünmüş ve sediment türevleri arasında adsorpsiyon/desorpsiyon

GQUAL modülü şu alt bölümleri içermektedir:

- Çözünmüş maddelerin bozunmasını modelleyen DDECAY alt bölümü, genel kalite bileşenlerinin kimyasal ve/veya biyolojik yollarla bozunumunu modellemektedir. Sadece çözünmüş halde bulunan genel kalite bileşenleri için hidroliz, serbest radikal oksijenin oksidasyonu, fotoliz, uçuculaşma, biodegradasyon, genel birinci-derece bozunma işlemleriyle ilgilenmektedir.
- ADVQAL alt bölümü, sediment boyutundaki bölümlere (fraction) tutunmuş kalite bileşeni için advektif işlemleri modellemektedir.
- Adsorbe olmuş materyalin bozunmasını modelleyen ADECAY alt bölümü, inorganik sedimente adsorbe olmuş genel kalite bileşeninin bozunma miktarını hesaplamaktadır.
- Genel kalite bileşeninin adsorpsiyon/desorpsiyon olaylarını modelleyen ADSDES altbölümü çözünmüş ve adsorblanmış hal arasındaki değişimi incelemektedir.

4.3.7. Biyokimyasal dönüşümlerde yer alan bileşenlerin modellenmesi (RQUAL bölümü)

RQUAL bölümü de bu çalışma kapsamında kullanılmamaktadır, sadece HSPF'in temel bir bölümü olarak burada kapsamı hakkında kısa bir bilgi verilecektir.

RQUAL bölümünde modellenen bileşenler; çözülmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, amonyak, nitrit, nitrat, ortofosfat, bitkisel plankton, dip yosunu, hayvansal plankton, zor ayrışan ölü organik azot, zor ayrışan ölü organik fosfor, zor ayrışan ölü organik karbon, PH ve karbondioksittir. Bu bileşenlerin modellenmesinden toplam organik azot, toplam organik fosfor, toplam organik karbon ve potansiyel biyokimyasal oksijen ihtiyacı da tahmin edilebilmektedir.

RQUAL'ın ayrıca 4 alt bölümü vardır. Bu bölümler ve fonksiyonları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- a) OXR: Çözülmüş oksijen ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı dengelerini modeller.
- b) NUTR: İnorganik azot ve fosfor dengelerini belirler
- c) PLANK: Plankton populasyonları ve bunlarla ilgili reaksiyonları modeller
- d) PHCARB: pH ve inorganik karbon türlerini modeller

RQUAL'ın diğer bir fonksiyonu da bu dört alt grupta kullanılan değişkenler için değerler hesaplamaktır. Bunlar ortalama su hızı (AVVELE), ortalama su derinliği (AVDEPE), birim dönüştürme (DEPCOR) ve sıyırma faktörüdür (SCFAC).

4.5. HSPF ile Yapılan Çalışmalar

Yapılan çalışmalar genel anlamda su havzalarında hidrolojik çevriminin HSPF programıyla modellenmesi üzerinedir. Bu çalışma kapsamındaki şehirsiz havzaların etkilerinin incelendiği çalışmalar yok denecek kadar azdır.

Çin'de Hayashi ve arkadaşları (2004) Yangtze Nehri'nde yaptıkları bir çalışmada akış ve sediment yükünü belirlemek için HSPF programı

kullanılmışlardır. 1987-1988 yıllarındaki yağış miktarları ISLSCP'den (International Satellite Land Surface Climatology Project) alınmıştır ve girdi olarak kullanılmıştır. Kalibrasyon periyodunda Nash-Sutcliffe değeri (R^2) beş günlük ortalama su akışı için 0,94 ve verifikasyon periyodunda üst bölgenin tümü için 0,95 bulunmuştur. Jinshajiang, Yalongjiang ve Minjiang havzalarında R^2 değerleri 0,31-0,65 arasında değişmektedir. Sediment yükü %72 doğruluk payıyla tahmin edilmiştir. Taşkın olan mevsimde her bir nehir kolundaki sediment konsantrasyonu azalıp çoğalarak değişim göstermiştir. ISCSLP yağışı simüle edilen yağıştan daha az yoğun olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni HSPF programının her bölgede her zaman iyi uygulanmadığıdır.

Chen ve arkadaşları (2005) Amerika'da Idaho'da Mica Creek havzasında yaptıkları çalışmada HSPF ile WARMF'ı (Havza analizi Risk Yönetim Çerçevesi) karşılaştırmışlardır. Bu kapsamlı karşılaştırma; havza, havzanın hidrolojik formülasyonları, model parametreleri, meteorolojik veriler, hidrolojik kalibrasyon ve doğrulama ile yapılmıştır. HSPF programında simüle edilen su kalitesi, karşılaştırma yapılırken kullanılmamıştır. Sonuç olarak, HSPF programı ampirik bir su bütçesi modeliyken, WARMF'ın hidrolojik döngüleri simüle eden bir model olduğu belirlenmiştir. WARMF'ın genellikle ormanlık havzalar için uygun olduğu vurgulanmıştır.

Zhang ve arkadaşlarının (2010) Florida'da yaptıkları bir çalışmada, HSPF programı kullanılarak yer altı suyu depolanması kalibre edilmiştir. Çiftlik arazisindeki ve orman arazisindeki kuyulardan gelen yer altı suyu verileri karşılaştırılarak kalibrasyon yapılmıştır. Yağmur suyuna, yüzeysel akışa ve akış süresine bağlı olarak yer altı suyu açıklanmıştır. Bunun yanı sıra evapotranspirasyon, sızma ve depodaki su miktarı önemli verilerdir. Peace Nehri'nin gözlenen ve simüle edilen değerler sonrası korelasyon değeri 0,96 bulunmuştur. Sonuç olarak yağıştaki dalgalanmalar HSPF programı kullanılarak modellenmiş ve ölçülen değerlerle model sonuçlarının uyduğu gözlemlenmiştir.

Mishra ve arkadaşları (2007) Hindistan'da yaptıkları bir çalışmada yarı nemli subtropik bir bölgede 17 km²'lik küçük ölçekli bir havzada akış ve sediment verimini HSPF programı kullanarak modellemiştir. Programda 2000 ve 2001 yılları muson ayları verilerinin validasyonu yapılmış ve 1996 yılı ile kalibre

edilmiştir. Günlük akış kalibrasyonunda Nash-Sutcliffe değeri (E_{NS}) 0,68 iken sediment verimi 0,71 olarak bulunmuştur. Ayrıca önemli havza karakteristiklerinin etkilerini belirlemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuç olarak ortalama toprak sızma kapasitesi indisine (INFILT) akış için en duyarlı parametre olduğu, sediment veriminin ise sızma kapasitesi indisine göre başlangıç toprak katmanı depolama miktarına daha duyarlı olduğu bulunmuştur. Akışta simüle edilen değerler gözlenen değerlerden yüksek olmasına rağmen tahmin hala kabul edilebilir limitler arasında bulunmaktadır. Çeşitli havza koşullarında, küçük havzalarda HSPF modeli kullanılarak hidrolojik çevrimle ilgili bilgiler elde edilmektedir. Bulunan sonuçlarla su kaynakları ve toprak koruması amacıyla havza yönetim planları geliştirilebilir.

Mishra ve arkadaşları (2007) aynı havza için yaygın kaynaklı kirletici kayıplarını HSPF programı kullanarak modellemişlerdir. Suda çözünebilir nitrat azotu, amonyum azotu ve fosfor kirletici olarak göz önüne alınmıştır ve havzadaki akıştaki konsantrasyonları 2000 ve 2001 yıllarında muson aylarında (Haziran-Ekim) 15 günlük periyotlarla ölçülmüştür. HSPF model kalibrasyonu ve validasyonu yaygın kaynaklı kirleticiler, akış ve sediment verimi kullanılarak yapılmıştır. Haziran ayında gübreden kaynaklı atıklar nedeniyle nitrat azotu fazla, amonyum azotu ve fosfor ondan daha düşük tahmin edilmiştir; fakat ortalama konsantrasyonlar arasındaki farklılıkların önemli derecede olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca azot ve fosfor gibi nütrientlerin mevsimsel maksimum kayıpları 8,58 kg/ha ve 0,08 kg/ha olarak hesaplanmıştır. HSPF programından alınan sonuçlarla su kaynaklarını yaygın kirleticilerden korumak için uygun stratejiler belirlenebilir ve tarımsal nütrient kayıpları azaltılabilir.

New Jersey'de Yukarı Maurice Nehri havzasında HSPF programı kullanılarak hidrolojik ve su kalitesi modellemesi yapılmıştır (Orlando ve arkadaşları, 2007). Hidroloji, nehir akışı ve su kalitesi üzerindeki etkileri belirlemek için ve gelecekteki değişimleri takip etmek amacıyla bölgedeki meteorolojik veriler girdi olarak kullanılarak modellenen nehir akışının kalibrasyonu yapılmıştır. Verilerin eksik olması nedeniyle validasyon yapılamamıştır. Genel olarak değişen etkiler; sıklıkla gerçekleşen olan pik akışlar, yatak erozyonunun artması, sel, sulak alanların azalması, ormanlık alanların

azalması sonucu erozyon oluşumu, yüzeysel akışın artması, göllerde ve akarsularda nütrientlerin artması, kirleticilerin çoğalmasıyla göllerde ve akarsularda su kalitesinin değişmesi olarak sıralanmaktadır. Havzanın altında bulunan Kirkwood-Cohansey akiferinin suyla dolmasında önemli bir düşüş belirlenmiştir ve arazi kullanımının bunu nasıl etkilediği araştırılmıştır. Akış hacmiyle nitrit, nitrat ve toplam askıda katı madde konsantrasyonu arasında gözle görülür korelasyon olduğu belirlenmiştir, bu da fazla akışı miktarının nitrit, nitrat ve askıda katı maddeyi seyreltmesiyle açıklanmaktadır. Hidrolojik model, alt toprak katmanı nem depolama miktarı, yer altı suyu çekilme miktarı ve derin akifere kayıp şeklinde suyun sızma miktarı parametrelerine duyarlı olduğu belirlenmiştir.

Im ve arkadaşları (2004) Virjinya’da Poleat Creek havzasında yaptıkları çalışmada fekal koliformun suda bulunması ve hareket etmesini HSPF programı kullanarak modellemiştir. Simülasyonda fekal koliformun hem noktasal hem yaygın kaynak kirlilikleri kullanılmıştır. Üç monitorlama istasyonundan alınan veriler 1994 Ekim ve 2000 Haziran arasındadır. Gözlenen bu değerlerle kalibrasyon ve validasyon yapılmıştır. Kalibrasyon periyodunda gözlenen ve simüle edilen toplam akış hacimleri arasındaki yüzde hatalar %0,4-4,2 arasındadır; validasyonda ise %0,4-6,7 arasındadır. Kalibrasyonda havzanın çıkışındaki fekal koliform konsantrasyonunun azalmasında simüle edilen değerler gözlenen değerlerden %10 daha azdır. HSPF programı bir alt havza için ortalama konsantrasyonu %16,4 daha az tahmin etmiştir, diğeri için %7,3 daha fazla tahmin etmiştir. Çalışma sonuçları HSPF programının bir şehirselle havzanın su hidrolojisini ve su kalitesini belirlemek için kullanılabileceğini göstermiştir.

Liu ve arkadaşları tarafından (2007) St. Louis körfezi havzasında yapılan bir çalışmada, HSPF programı, su sıcaklığı, çözünmüş oksijen ve biyolojik oksijen ihtiyacı belirlenerek toplam günlük maksimum yükü simüle etmek için kullanılmıştır. Kalibrasyon için 1978-1986 ve 2000-2001 yılları arası iki farklı periyod kullanılmıştır. Simüle edilen çözünmüş oksijen değerleri gözlenen verilerle eşleşmiştir. Su sıcaklığı ve biyolojik oksijen ihtiyacı çözünmüş oksijeni etkileyen en önemli faktörlerdir. Çözünmüş oksijen kalibrasyonu sırasında, biyolojik oksijen ihtiyacı bozulma hızının çok duyarlı bir parametre olduğu

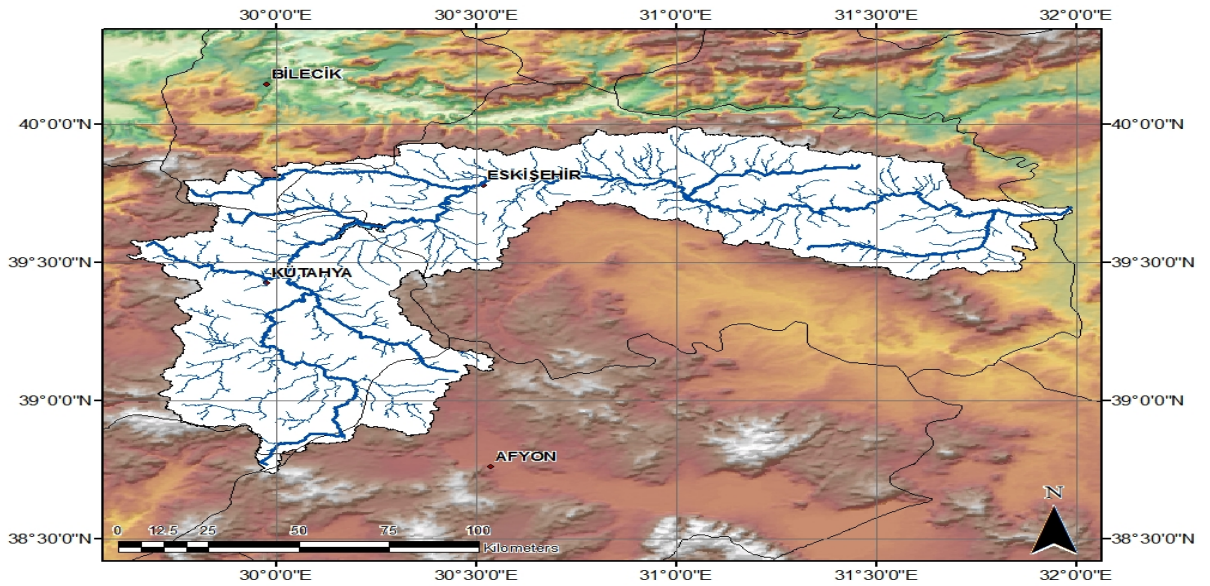
görülmüştür. Aynı zamanda, nitrifikasyon, denitrifikasyon, fitoplankton gibi nütrient işlemleri de çözünmüş oksijen simülasyonunu etkilemektedir.

Yapılan literatür araştırması sonuçlarından, HSPF programı ile yapılan çalışmalar olduğu ancak şehirselle havzalar üzerine yapılan araştırmaların çok kısıtlı ve yetersiz olduğu görülmektedir. Bu çalışmada literatürde çok az olmakla beraber Türkiye’de hiç çalışılmamış olan şehirselle havzaların kirlilik potansiyeli modellenerek, literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

5. ÇALIŞMA ALANI

5.1. Bölge ve Çalışma Alanı Tanıtımı

Porsuk Çayı Kütahya'nın güneyinden Murat dağı yamaçlarından doğar, Kütahya'yı geçtikten sonra Eskişehir ili sınırlarına İncesu Köyü'nün kuzey batısında yer alan Kalburcu Çiftlikleri mevkiinde dahil olur. Havzanın en önemli yapısı Eskişehir'in 25 km batısındaki Porsuk barajıdır. Porsuk Çayı il içinde önce soldan Kunduzlar Çayını sonradan Kargın Deresi'ni alır. Eskişehir'in 8 km güneybatısında yer alan orman fidanlığından sonra eğimi hayli azalır ve bu durum Sakarya'ya karışincaya kadar devam eder. Şehrin batısında Ertuğrulgazi Mahallesi yakınında soldan Sarısuyu olarak batı-doğu yönünde şehrin ortasından akmaya devam eder. İl merkezinden sonra Sakarya'ya karışincaya kadar Porsuk'a katılan kollar kısa, debisi zayıf ve önemsizdir. Bunların birkaçı hariç tamamı ovanın kuzey ve güneyindeki yükseltilerden inen geçici sulardır. Şehri geçtikten sonra soldan Şeker Fabrikası Çiftliğinden Keskin-Muttalip derelerini alır Sakarya'ya kavuşmadan önce İlören kuzeyinden sağdan Sivrihisar dağları içinden gelen Pürtek Çayını da alır. Kıranharman köyü yakınlarında 676 metre kotunda Sakarya nehrine dökülür.



Şekil 5.1. Porsuk Çayı

Porsuk Çayı, sulama suyu, endüstriyel su temini, evsel ve endüstriyel atıklar için alıcı ortam, rekreasyon ve balıkçılık amacıyla da kullanılmaktadır. Sadece içme suyu olarak kullanılan Kalabak kaynak suyu dışında Eskişehir kent merkezinin tükettiği şebeke suyu Porsuk Çayından sağlanmaktadır. Başlangıçta Eskişehir'i su taşkınlarından korumak amacıyla 1947 yılında inşa edilen Porsuk Barajın kret kotu 1972 yılında yükseltilmiştir. Porsuk Baraj Gölü Eskişehir kent merkezine içme-kullanma suyu temini açısından hayati önem taşımaktadır. Porsuk Çayı ve Baraj Gölü özellikle 1990 yılı başlarına kadar Kütahya evsel atık sularını ve Kütahya Azot Fabrikasının azot bileşiklerince zengin deşarj sularını doğrudan alarak çok büyük ölçüde kirletilmiştir. Yaklaşık 13 yıl önce işletmeye alınan ve klasik aktif çamur sistemine göre planlanan Kütahya Evsel Atık Su Arıtma Tesisi günümüzde çeşitli nedenlerle verimli bir şekilde çalışmamakta, Azot Fabrikasının ise 1994 yılında amonyak tesisinin kapatılması ve ayrıca alınan bazı önlemler sonucu deşarj kanalındaki azot yükünde kısmi azalmalar olduğu kaydedilmektedir (<http-1> 2011).

Son yıllarda arıtma tesisleri faaliyet içinde olsalar da, verimli bir şekilde çalıştıkları söylenememektedir. Porsuk Havzasının en önemli yapısı bir bakıma havzasını ikiye bölen Porsuk Barajı'dır. 1947 yılında yapımına başlanmış ve 1972 yılında tamamlanmıştır. Porsuk Barajı başlıca üç amaç için inşa edilmiştir.

- Eskişehir ilinin taşkından korunması,
- Eskişehir ve Alpu ovalarının sulanması,
- Eskişehir ilinin içme ve kullanma suyu teminidir.

Fiziksel, kimyasal, organik kirlilik unsurlarının 250-300 gün dolayındaki hidrolik bekleme süresi içerisinde kısmen ayrıştırılıp biriktirildiği Porsuk Baraj Gölü günümüzde de bir alıcı ortam ve arıtma tesisi gibi kullanılmaktadır. Bu konuda Eskişehir DSİ. 3. Bölge Müdürlüğünün son 25 yıldır sürdürdüğü kapsamlı araştırma sonuçlarına göre Porsuk Baraj Gölünün ortalama klorofil-a ve fosfor düzeyleri dikkate alındığında %80 olasılıkla hiperötrofik olduğu saptanmıştır. Hiperötrofik göllerin temel özelliği; bu tip göllerde biyolojik ve kimyasal dengenin bozulması ve parçalanmış maddelerin göl tabanı ve kıyı kesimlerde birikmesi nedeni ile bataklıklaşma olayının başlamasıdır (<http-1> 2011).

İçme suyu olarak kullanılan Kalabak Kaynak Suyu dışında Eskişehir kent merkezinde (yaklaşık nüfus: 550 000) kullanılan şebeke suyu Porsuk Çayı'ndan sağlanmaktadır. Başlangıçta Eskişehir'i su taşkınlarından korumak amacıyla kurulan baraj 1972 yılında yükseltilerek aktif göl hacmi yaklaşık $466 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'e çıkartılmıştır. Porsuk Baraj Gölü Eskişehir kent merkezinin içme ve kullanma suyu temini açısından hayati önem taşımaktadır. Özellikle son 35 yıldır Porsuk Havzasındaki plansız, düzensiz ve hızlı şehirleşme ve sanayileşme sonucu su kalitesinde de bozulmalar ortaya çıkmıştır. Son yıllarda Kütahya ve Eskişehir kent merkezlerinde evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisleri kurulmuş olmakla birlikte verimli bir şekilde çalıştırılmadıklarından Porsuk Çayı potansiyel kirlilik tehdidi altındadır (http-1 2011).

Porsuk Havzasında yoğun bir şekilde tarım, madencilik, hayvancılık faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra çeşitli sanayi kuruluşları ve Eskişehir ile Kütahya kentleri havza üzerinde yoğun bir çevresel baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle Porsuk Çayı yoğun bir kirlenmeye maruz kalmakta, bu da kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Hissedilen çevresel baskıların ortaya konması için çalışma alanı olarak Porsuk Havzasının bir bölümü olan Aşağı Porsuk Çayı havzası'nda bulunan Eskişehir kent merkezi seçilmiştir. Çalışma alanı 564910 hektar olup, havzanın minimum kotu 674 metre, maksimum kotu da 1776 metredir. Çalışma alanı Şekil 5.1.'de gösterilmiştir. Eskişehir'in geçirimli ve geçirimsiz alanları ArcGIS Explorer kullanılarak belirlenmiştir. Öncelikle tüm geçirimli alanlar tek tek çizilmiştir, daha sonra Eskişehir'in tüm alanı hesaplanmıştır. Tüm alandan geçirimli alanlar toplamını çıkardığımızda sonuç bize geçirimsiz alanlar toplamını vermiştir.

5.2. Eskişehir İlinin Topografyası ve Jeomorfolojik Durumu

Eskişehir ilinin topografik yapısını; Sakarya ve Porsuk havzalarındaki düzlükler ile bunları çevreleyen dağlar oluşturur. Havza düzlüklerinin kuzeyden Bozdağ ve Sündiken dağları, batı ve güneyden ise İç Batı Anadolu eşiğinin doğu kenarında yer alan Türkmen Dağı, Yazılıkaya Yaylası ve Emirdağ kuşatır.

Eskişehir ili toprakları ana vadiler ve bunlarla birleşen çok sayıda vadilerle parçalanmış durumdadır. Sakarya ve Porsuk vadileri ilin en önemli vadilerini oluşturur.

Havzada, yeryüzü şekillerinin oluşturduğu topografik yapının doğal sonucu olarak gelişmiş bir akarsu ağı bulunmaktadır. Türkiye'nin en önemli akarsularından biri olan Sakarya Irmağı aynı zamanda Eskişehir'den de geçmektedir. Sakarya Irmağı'nın çok sayıda kolları içinde Porsuk Çayı başlı başına önem taşımaktadır. İl sınırları içinde sürekli akarsu kaynakları dışında kalan ama Eskişehir'in yeryüzü şekillerinin oluşumunda büyük etkisi olan çok sayıda dere ve çay vardır. Özellikle düzlükleri çevreleyen dağ ve yayla gibi yükseltilerin eteklerinde yer alan bu dereler, yağışların arttığı ve karların eridiği zamanlarda kabarak taşkınlara yol açar. İl sınırları içinde göl yoktur. Ancak Sakarya Irmağı üzerindeki Gökçekaya Baraj Gölü ile Porsuk Baraj Gölü ekonomik açıdan büyük önem taşır.

5.3. İklim

Aşağı Porsuk Çayı Havzası, coğrafi şartları, yükseltileri, yeryüzü şekilleri, denize olan uzaklığı gibi nedenlerden dolayı kara iklimi özelliğine sahiptir. Bir taraftan da Ege ve Marmara bölgelerine yakın olması nedeniyle bu bölgeler iklimin etkilerini taşımaktadır.

Genellikle havzada kışlar parçalı bulutlu, kar yağışlı, baharlar orta derece yağışlı ve yazlar ise az bulutlu ve açık geçer.

5.4. Doğal Bitki Örtüsü

Eskişehir, Orta Anadolu Bölgesi'nin karakteristik bitki örtüsü olan zonu içerisinde yer almaktadır. Bununla beraber %26'sı ormanlarla kaplıdır (Anonim 2, 2007). Önemli ormanlık yöreleri Çatacık, Mihaliççık, Sarıcakaya, Seyitgazi, Büyükyayla ve Kalabak'tır. Havza ormanları ormanların devamlılık prensibini bozmayacak şekilde piyasa ihtiyaçları da dikkate alınarak işletilmektedir. Üretimle birlikte büyük çapta ağaçlandırma ve gençleştirme faaliyetleri de Orman

Bölge Müdürlüğünce yürütülmektedir. Eskişehir ilinde çayır alanları baklagiller yönünden oldukça fakirdir. Mera alanlarında düşük kaliteli mera bitkileri hakimdir.

5.5. Tarımsal Faaliyetler

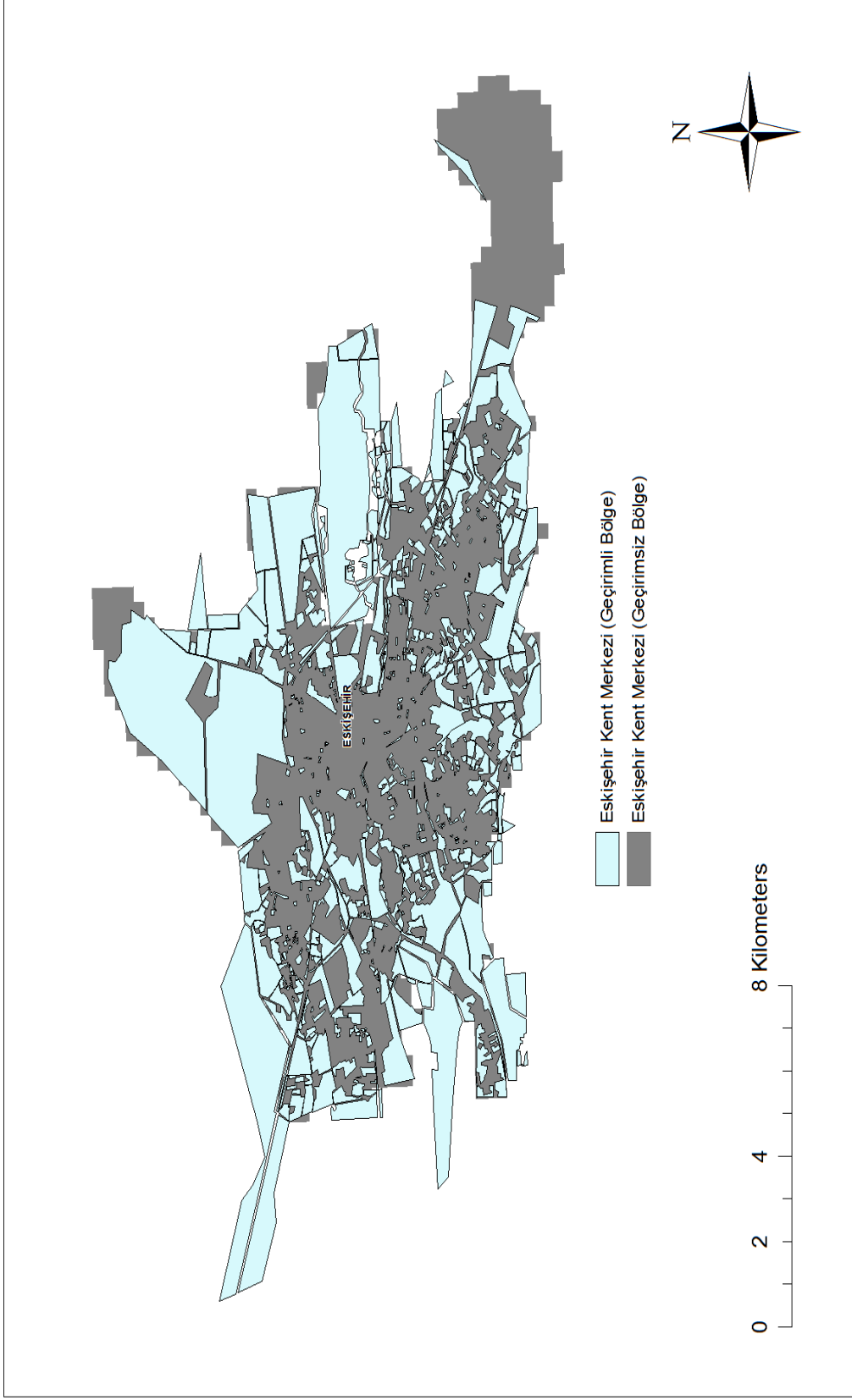
Tarımsal üretimin yapı itibariyle büyük ölçüde tabiat şartlarına bağlı olması Eskişehir’de de bitki deseni, ürünlerin miktar ve çeşitliliğini sınırlamaktadır. Bu sebeple ilimizdeki tarımsal üretim, tarla tarımı ve buna bağlı olarak hububat ekimi toplam tarla arazisinin %82,5’ini teşkil etmektedir (Anonim 2, 2007). Eskişehir ili bitkisel ve hayvansal üretimde Türkiye ortalamasının üzerinde üretim yapabilen bir teknolojiye ulaşmıştır.

Havzada gübre kullanımı genelde normal düzeydedir. Sadece sebze ve şeker pancarında gübreleme biraz fazladır.

5.6. Meteorolojik Veriler

HSPF model programı hidrolojik süreçlerin arkasındaki itici güç olarak meteorolojik zaman serilerine gerek duymaktadır. Bu çalışmada 1975’ten 2009 yılı sonuna kadar olan dönem kapsanmış ve bu 35 yıllık dönem için gerekli zaman serileri hazırlanmıştır. Hidrolojik modelleme için aşağıdaki yedi meteorolojik zaman serisine gerek duyulmaktadır. Bunlar,

- Sıcaklık,
- Çiğ noktası sıcaklığı,
- Yağış,
- Bulutluluk,
- Rüzgar hızı,
- Potansiyel buharlaşma+terleme
- Güneş ışıması şeklindedir.

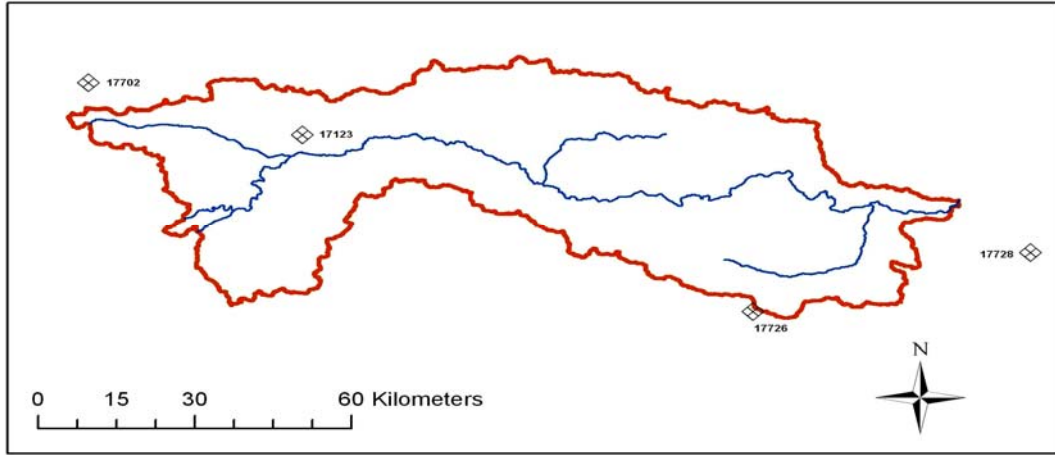


Şekil 5.2. Çalışma alanı (geçirimli ve geçirimsiz bölgeler)

Çalışma alanındaki meteorolojik durumun ortaya konabilmesi için 4 adet meteoroloji istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bu meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler Çizelge 5.1.'de istasyonların konumları Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Meteoroloji istasyonu bilgileri

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (K)	Boylam (D)	Kot (m)
17702	Bozüyük	39,55544	30,02123	754
17123	Eskişehir Anadolu	39,49234	30,31435	787
17728	Polatlı	39,35345	32,09265	886
17726	Sivrihisar	39,27176	31,32154	1070



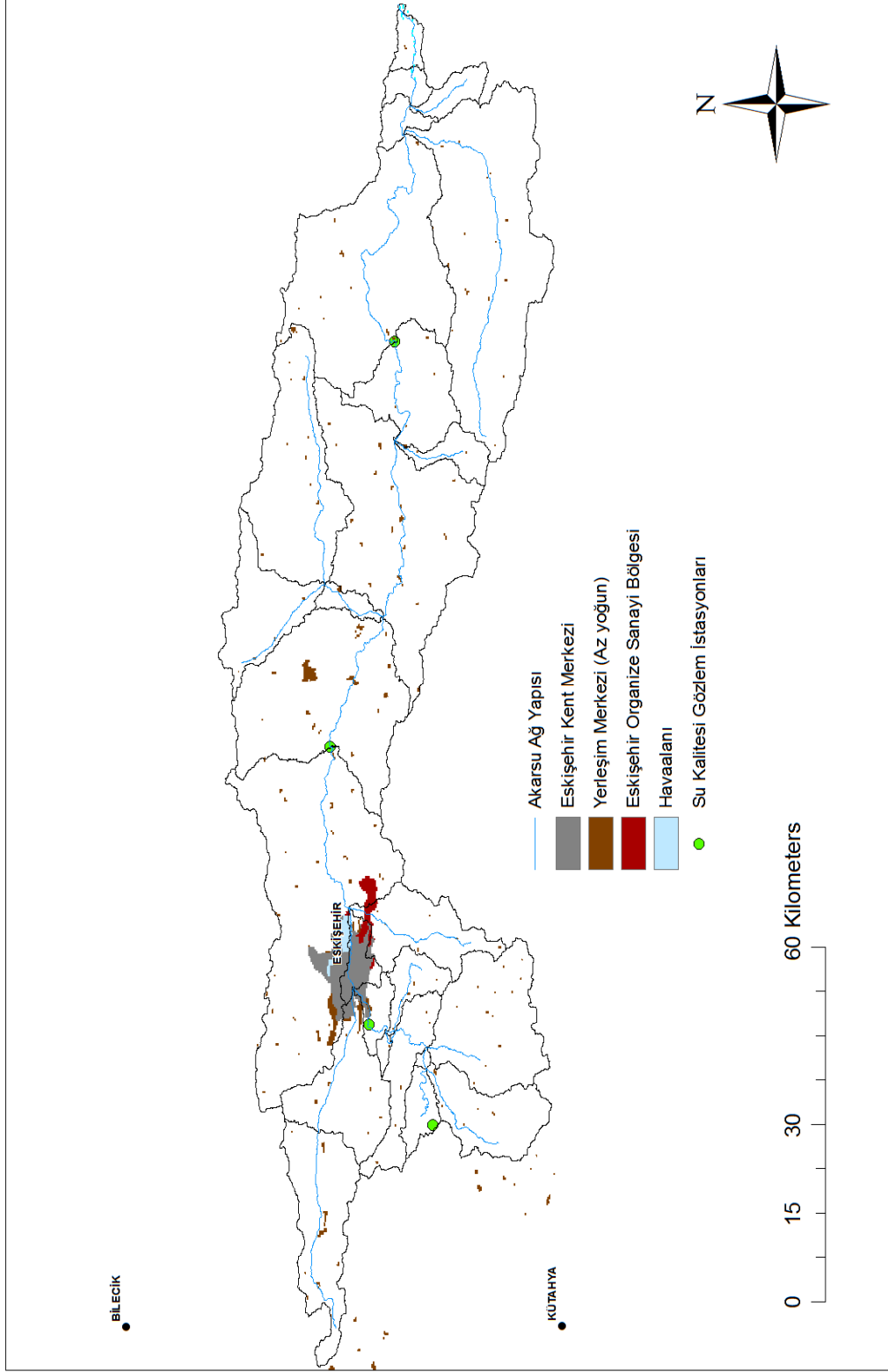
Şekil 5.3. Aşağı Porsuk Çayı Havzası'ndaki Meteoroloji istasyonları

5.7. Havzada Yürütülen Çalışmalar

Bu çalışma 108Y091 kodlu “Aşağı Porsuk Çayı Havzasında İklim Değişikliğinin Hidrolojik Çevrime ve Su Kalitesine Etkilerinin HSPF Modeli Kullanılarak İncelenmesi ve En İyi Su Yönetimi Stratejilerinin Belirlenmesi” adlı TÜBİTAK projesi kapsamında yapılan akım ve su kalitesi gözlem çalışmaları ile desteklenmiştir. Çalışma alanı Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.

Temin edilen meteorolojik veriler şunlardır:

- Günlük toplam yağış, mm
- Günlük 07 ölçümü yağış, mm
- Günlük 14 ölçümü yağış, mm
- Günlük 21 ölçümü yağış, mm
- Günlük ortalama nem, %
- Günlük 07 ölçümü nem, %
- Günlük 14 ölçümü nem, %
- Günlük 21 ölçümü nem, %
- Günlük ortalama bulutluluk,
- Günlük 07 ölçümü bulutluluk,
- Günlük 14 ölçümü bulutluluk,
- Günlük 21 ölçümü bulutluluk,
- Saatlik sıcaklık, °C
- Saatlik mahalli hava basıncı, Mb
- Günlük güneş ışıması, Cal/cm²
- Saatlik güneşlenme süresi,
- Saatlik rüzgar hızı, m/s



Şekil 5.4. Aşağı Porsuk Çayı Havzası ve Eskişehir

Şekil 5.4. Aşağı Porsuk Çayı Havzası ve Eskişehir

Öncelikle Porsuk Çayı üzerinde istasyon belirleme çalışmaları yapılmıştır. Veri alınmasına uygun ve Porsuk Havzasının modellenmesine olanak tanıyacak istasyon yerlerinin seçimi amacıyla gerek harita üzerinde gerekse araziye gidilerek uygun istasyonlar aranmıştır. İstasyon seçiminde hem tüm bölgeyi tanımlayabilecek kadar istasyon bulmak hem de gereksiz zaman ve iş gücü kaybına neden olmamak amacıyla istasyon sayısı önem taşımaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda Porsuk Baraj çıkışı ilk istasyon olarak belirlenmiştir. Seçilen ikinci istasyon Eskişehir Orman Fidanlık Müdürlüğü sınırları içerisindeki köprüünün üzerindedir. Eskişehir kent merkezinin çıkışında belirlenen üçüncü istasyon Eskişehir Alpu karayolu üzerinde Karahöyük Köyü mevkiinde bulunmaktadır. Son istasyon ise Porsuk Çayının Sakarya Nehrine karışmadan önce Yunus Emre mevkiinde bulunmaktadır.

Belirlenen dört istasyona her ay gidilerek bazı parametreler için yerinde ölçümler yapılmış, laboratuvarda yapılması gereken parametreler için ise gerekli koruyucu önlemler altında alınan numuneler, analizlerin yapılması için laboratuvara getirilmiştir. Örnekleme çalışmaları 2008 Ekim ayı itibariyle belirli periyotlarda akarsuyun izlenebilmesi için her ayın 15'ine gelecek şekilde gerçekleştirilerek, çalışmalar 2009 ve 2010 su yılının tamamında devam etmiştir. Yapılan analizler ve uygulanan yöntemlere ait ayrıntılar Çizelge 5.2.'de gösterilmektedir.

Proje kapsamında kurulan su kalitesi gözlem istasyonlarında, Hach marka taşınabilir “sension 156” cihazı ile pH, çözülmüş oksijen, iletkenlik, tuzluluk, toplam çözülmüş katı madde ölçümleri arazide yapılmış, termometre ile su sıcaklığı, WTW marka taşınabilir bulanıklık ölçer ile bulanıklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her istasyonda akarsu en kesit alanı belirleme çalışmaları kapsamında yatak genişliği ölçümleri ile derinlik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerle birlikte debinin hesaplanabilmesi için, akışın olduğu dönemlerde muline ile akarsuyun belirlenen kesitlerinde akış hızları ölçülmüştür.

2009 Ağustos ayından itibaren temin edilen Sontek marka RiverSurvoyer M9 akustik doppler akım ölçer ile akım gözlem çalışmalarına devam edilmiştir. Diğer yandan bu ölçümler esnasında Ruttner marka su örnekleme ekipmanı ile akarsuyun belli kesitlerinden su örnekleri alınarak kompozit örnekler

oluşturulmuş, bu örneklerin bir bölümü plastik numune şişelerine konularak bir bölümü de asit koruyucularla muhafaza edilerek cam şişelerde buz kalıplarının konulduğu soğuk kutularda laboratuvara ulaştırılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2. Laboratuvarında gerçekleştirilen analizler

Yapılan Analiz	Açıklama
Koliform tayini	Membran filtrasyon tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Besi yeri olarak Sartorius firmasından temin edilen Endo-NKS kullanılmıştır.
Azot türleri	DR2400 su analiz spektrofotometresi kullanılarak Amonyak azotu nessler yöntemi ile, Nitrit düşük konsantrasyon ve nitrat azotu hem yüksek hem orta seviyedeki konsantrasyonlar için analiz yöntemleri kullanılarak sonuçlar belirlenmiştir.
Fosfor türleri	DR2400 su analiz spektrofotometresi kullanılarak ortofosfat analizi yapılmakta toplam fosfor analizinde çürütme için termoreaktörden yararlanılmıştır.
Askıda katı ve çözünmüş katı madde	Gravimetrik analiz yöntemleri kullanılarak standart yöntemlerle analiz edilmiştir. Askıda katı analizinde cam elyafından 0,45 mikron gözenek çapına sahip filtre kağıdı ile sartorius firmasından alınan filtrasyon düzeneği kullanılmıştır.
Klorofil	Standart yöntemlere göre (10200 H) ön işlemden geçirildikten sonra spektrofotometrik olarak analiz edilmiştir.
Klorür	Standart titrimetrik yöntemle analiz gerçekleştirilmiştir.
Alkalinite	Standart titrimetrik yöntemle analiz gerçekleştirilmiştir.
Kimyasal oksijen ihtiyacı	Kapalı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hach KOİ reaktöründe çürütme işlemi yapılarak Hach marka DR2400 spektrofotometre ile analizi gerçekleştirilmiştir.
Biyolojik oksijen ihtiyacı	Standart titrimetrik yöntemle analiz gerçekleştirilmiştir.
Toplam organik karbon	Standart Metot 3510 B'ye göre Shimadzu marka VCPH-5000 model TOK analizöründe otomatik örnekleyici kullanılarak yapılmıştır.

Laboratuvarda gerçekleştirilen azot ve fosfor türleri ile KOİ analizleri, USEPA tarafından kabul edilen yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sırasında Hach marka DR2400 su analiz spektrofotometresi kullanılmıştır. Diğer analizler ise standart metotlara göre yapılmıştır.

6. MODELİN UYGULANMASI

HSPF model programı hidrolojik süreçlerin için meteorolojik zaman serilerine gereksinim duymaktadır. Bu çalışmada 1975 yılından itibaren 2009 yılına kadar olan sıcaklık, çığ noktası sıcaklığı, yağış, bulutluluk, rüzgar hızı, evapotranspirasyon, güneş ışınması verileri Devlet Meteoroloji İşleri'nden, akım verileri Devlet Su İşleri'nden alınmıştır ve meteorolojik zaman serileri hazırlanmıştır.

Çalışmada, Eskişehir kent merkezinin geçirimsiz alanlarını modellemek için IMPLND modülü ve bu modülün alt bölümleri kullanılmıştır. Ayrıca şehirselle bölgede bulunan 3, 14, 19 ve 20 numaralı RCHRES bölümü de göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca parametre değerleri için HspfPARM programındaki literatür değerleri kullanılmıştır. Bunun yanında şehirselle havzaya kirlilik yükleri geçirimsiz bölgelere 0,7 mg/l NO₃⁻ ve 0.2mg/l PO₄⁻ değerleri girdi olarak verilmiştir. Koliform için 10⁶ EMS/100ml değeri barajdan girdi olarak verilmiştir. Klorür ve sediment için herhangi bir girdi verilmemiştir.

IMPLND modülünde altı farklı bölüm bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan **ATEMP** (hava sıcaklığının yükseklik farkına göre düzeltilmesi) bölümünü PERLND modülü ve IMPLND modülü ortak kullanmaktadır. ATEMP bölümündeki **ATEMP-DAT** tablosunda bulunan **ELDAT**; hava sıcaklığı ölçüm istasyonu kotu ile havza ortalama kotu arasındaki farktır. İki yer arasındaki kot farkı sıcaklık düzeltilmesi için kullanılır. Bu parametre tüm bölgeler için ArcGIS programı kullanılarak bulunan kotlardan hesaplanmıştır.

AIRTMP; simülasyon periyodunun başladığı andaki düzeltilmiş hava sıcaklığıdır. Tüm simülasyonlarda bu sıcaklık 0°C alınmıştır.

SNOW (kar parametreleri) bölümü de PERLND ve IMPLND modülü için ortak kullanılmaktadır.

SNOW-PARM1 tablosundaki **LAT**; enlem değeridir. LAT kuzey yarımküre için pozitif değerler alır. Çalışmada, 39,8° kuzey enlemi kullanılmıştır.

MELEV; ortalama kot seviyesidir. Her bölge için hesaplanarak programa girilmiştir.

SHADE; arazinin güneş ışınımından ağaçlar veya arazi eğimi ile gölgelenme oranıdır. Aynı zamanda, kar örtüsüne ulaşan kısa dalga güneş ışınımını kontrol eder. Bu parametre için 0,33 değeri kullanılmıştır.

SNOWCF; kar şeklinde gerçekleşen yağışın ölçüm aygıtı tarafından yakalanma verimini göz önüne alan faktördür. SNOWCF değeri için 1,4 değerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

COVIND; tüm arazinin karla kaplanması durumunda maksimum kar örtüsü su eşdeğeridir. Literatürde tipik değerinin 25-150 mm arasında olduğu belirtilmektedir. Genel anlamda kar kalınlığı 40cm civarında olması nedeniyle ve COVIND değerinin su eşdeğeri olarak ifade edildiği için 38,1 değeri kullanılmıştır.

SNOW-PARM2 tablosunda, **RDCSN**; hava sıcaklığının 0°C veya altındaki değerlerinde taze karın suya göre bağlı yoğunluğudur. Tipik değerleri 0,1-0,2 arasındadır. Çalışmada 0,2 değeri kullanılmıştır.

TSNOW; yağışın doymuş koşullar altında kar şeklinde gerçekleştiği hava sıcaklığıdır. Tipik değerleri -0,5-1,5°C arasındadır. Hava sıcaklığı TSNOW değerinin üzerine çıkması durumunda yağışın yağmur şeklinde düştüğü, altındaki değerlerde ise kar şeklinde düştüğü varsayılır.

SNOEVP; kar örtüsünden buharlaşma ayarlama faktörüdür. Genellikle 0,1 değerlerine yakın değerlerdedir.

CCFACT; atmosferden kar örtüsüne yoğunlaşma ve konveksiyon ile ısı aktarım hızı ayarlama faktörüdür. CCFACT iklim koşullarının bir fonksiyonu şeklindedir. 0,5-2,0 arasında değerler alabilmektedir. Tüm simülasyonlar için 0,5 değeri kullanılmıştır.

MWATER; kar örtüsünün maksimum sıvı su tutma kapasitesidir. Genellikle 0,03 değeri kullanılmaktadır.

MGMELT; yerin ısınması ile kar erimesinin maksimum hızını ifade eder. MGMELT kar örtüsü, sıcaklığı 0°C'de iken, erime hızı olarak ifade edilir ve standart değeri 0,25 mm/gün dür.

Hidrolojik modelde geçirimsiz arazinin hidroloji parametreleri yani **IWATER** bölümü kullanılmıştır. **IWAT-PARM1** tablosu simülasyon algoritmalarının açılıp kapatılmalarına olanak sağlar veya seçilen parametrelerin

sabit veya aylara bağlı olarak değişen değerler olarak seçilmesini sağlayan bayrakları içerir.

IWAT-PARM2 tablosundaki **LSUR** değeri yüzeysel akış düzleminin uzunluğudur. **LSUR**, akarsuya veya drenaj yollarına, akarsu kollarına ulaşmak için suyun kat edeceği ortalama mesafeyi ifade eder. $LSUR=1/2D$ ile hesaplanabilir, **D** değeri drenaj yoğunluğu olup yağmur şebeke uzunluğunun geçirimsiz alanlar toplamına oranıyla bulunmuştur. **ESKİ** (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi)'den alınan bilgilere göre yağmur suyu şebeke uzunluğu yaklaşık 170 km'dir. Geçirimsiz alanlar toplamı ise ArcGIS Explorer ile 14336 acre olarak hesaplanmıştır. Buna göre, tüm simülasyonlar için 570ft değeri bulunmuş ve kullanılmıştır.

SLSUR; yüzeysel akış düzleminin eğimidir. 0,04 değeri kullanılmıştır.

NSUR; yüzeysel akış düzlemi için Manning n değerini ifade etmektedir. Genellikle geçirimsiz alanlar için 0,05 değeri kullanılmaktadır.

RETSC; yüzeysel akış için depo kapasitesidir, literatürde genellikle değeri 0,05-0,1 in arasındadır.

IWAT-PARM3 tablosunda **PETMAX**; bitkinin düşük sıcaklıklarda azalan evapotranspirasyon parçası olan terleme eşik sıcaklığıdır. Literatürde tipik değer 4,4°C olarak belirtilmektedir.

PETMIN; buharlaşma, terlemenin artık gerçekleşmediği sıcaklık değeridir. Genelde 1,6°C başlangıç değeri olarak alınır ve duruma göre ayarlanır.

IWAT-STATE1 bölümündeki **RETS**; başlangıçtaki alıkoyma deposudur ve genellikle 0,05in değeri kullanılır.

SURS; başlangıçtaki yüzeysel su deposudur ve genellikle 0,1in değeri kullanılmaktadır.

SOLIDS alt bölümü askıda katı madde parametrelerini simülasyonu için kullanılmaktadır. **SLD-PARM1** tablosu katı madde birikim ve uzaklaştırma hızının aylık bazda değişimi ile yüzeyden katı madde uzaklaşmasında kullanılacak algoritma seçimi için kullanılmaktadır.

SLD-PARM2 tablosunda **KEIM**; askıda katı madde taşınım denkleminde kullanılan katsayıdır. Literatürde genellikle 1 değeri kullanılmaktadır.

JEIM; ise eşitlikteki üstür, 1,2 değeri kullanılmıştır.

ACCSDP; arazi yüzeyindeki katı maddelerin birikim hızıdır. Genellikle geçirimsiz alanlarda 0,2-0,5 değerleri kullanılmaktadır.

REMSDP; akış olmadığında her gün uzaklaştırılan katı madde oranı olup; $R=P*(E/D)$ formülüyle hesaplanmaktadır. Burada; R; cadde, sokak süpürülmesiyle uzaklaşan sediment miktarıdır. P; temizliğin olduğu geçirimsiz alan kesri, E; temizlik verimi, D; temizlik sıklığıdır. Buradan REMSDP değeri 0,05/gün olarak hesaplanmıştır.

SLD-STOR tablosundaki **SLDS** ise; askıda katı maddelerin başlangıç deposudur. Geçirimsiz alanlar için 0,1-0,3 değeri kullanılmaktadır.

IWTGAS alt bölümü çözülmüş oksijeni modellemektedir. **IWT-PARM2** tablosundaki **ELEV**; deniz seviyesinden kot farkıdır.

AWTF; hava sıcaklığı 0°C olduğu zamanki su sıcaklığıdır. 8°C değeri kullanılmıştır.

IWT-INIT tablosundaki **SOTMP**; başlangıçtaki yüzeysel su sıcaklığıdır.

SODOX; yüzeysel sudaki başlangıçtaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu, **SOCO2** ise karbondioksit konsantrasyonudur. Bu değerler literatüre göre; 7,5mg/l ve 0,5mg/l olarak kabul edilmiştir.

IMPLND modülündeki son alt bölüm olan **IQUAL** ise su kalitesi parametrelerini simüle etmektedir.

Burada **NQUAL** tablosu kalite parametre sayısıdır.

QUAL-PROPS tablosunda parametrenin adı, birimi tanımlanmaktadır.

QUAL-INPUT tablosundaki **SQO**; kalite parametrelerinin başlangıç deposudur.

POTFW; potansiyel faktördür ve literatürde genellikle 0 değeri kullanılmıştır.

ACQOP; yüzeyde kalite parametrelerinin birikim hızıdır.

SQOLIM; maksimum depo kapasitesidir.

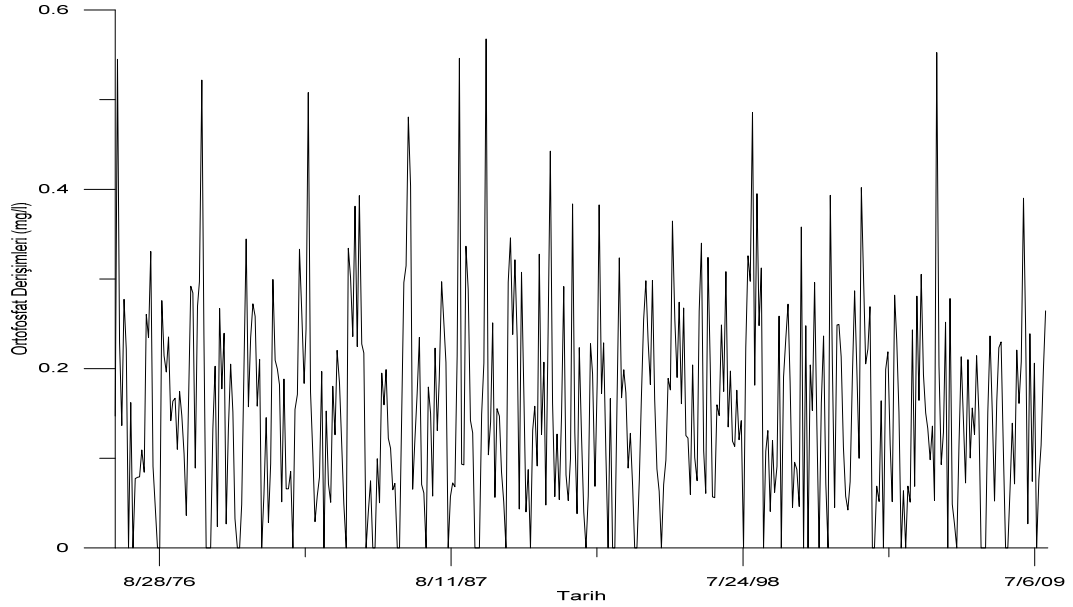
WSQOP; saat başı kirletici yüklerin %90'ının uzaklaştığını varsayan yüzeysel akış hızıdır. Bu değerlerin her biri farklı parametrelere göre değişiklik göstermektedir.

7.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aşağı Porsuk Çayı havzasında bulunan Eskişehir kent merkezi hidrolojik açıdan ve kalite bileşenleri ile HSPF model programı kullanılarak modellenmiştir. Çalışma kapsamındaki şehrsel havzanın özellikleri WinHSPF model programına aktarılmıştır. Elde edilen model sonuçları temel iklim senaryoları kullanılarak geleceğe yönelik tahminler yapılmıştır. Aynı zamanda model sonuçları ile ilgili bazı istatistiksel değerlendirmeler de yapılmıştır.

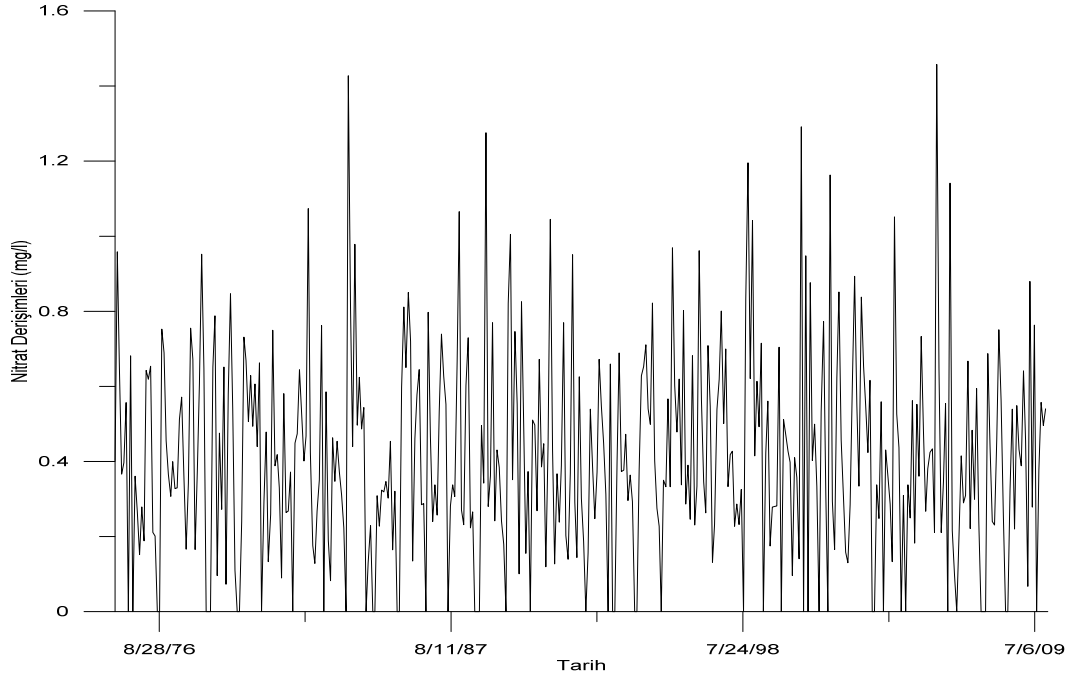
7.1. Geçirimsiz Kara Parçasının Model Sonuçları

Fosfor bileşikleri bitki nütrientleridir ve yüzey sularında alg büyümesine yol açarlar. Sudaki fosfor miktarına bağlı olarak ötrofikasyon meydana gelebilir. Yüzey sularına karışan gübreden, insan ve hayvan dışkılarından, deterjanlar ve temizlik maddelerinden fosfat bileşikleri gelmektedir. Geçirimsiz kara parçasında ortofosfat değerleri incelendiğinde, ortalama yaklaşık 1mg/l PO_4^{-3} olduğu belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde, şehrsel havzaların geçirimsiz bölgelerindeki yüzey sularından, hafif sanayi alanlarından, çatıda biriken sulardan gelen ortofosfat değeri $0.1-1.7\text{ mg/l}$ arasında değişmektedir (Novotny, 2003). Şekil 7.1.'da grafiksel olarak ortofosfat derişimleri aylık ortalamaları gösterilmektedir.



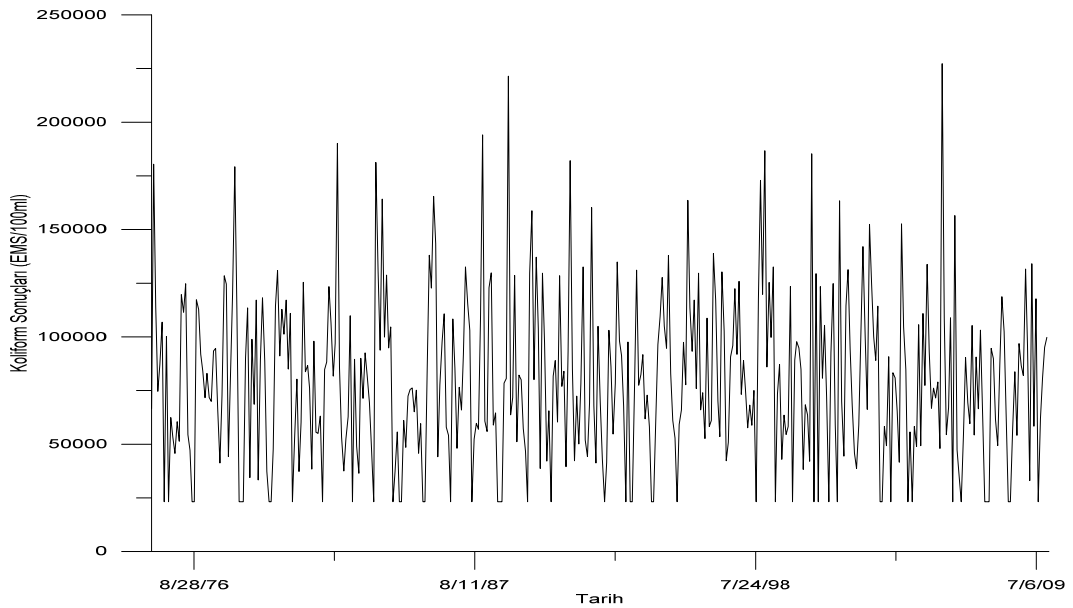
Şekil 7.1. Geçirimsiz kara parçasında aylık ortalama ortofosfat derişimleri

İçme ve kullanma suları ile yüzeysel suların ve kirlenmiş su kütlelerinin içerdiği çeşitli organik ve inorganik azotlu bileşikler ölçülerek, suyun kalitesi hakkında karar verilebilmektedir. Yüzeysel sularda nitratın belirgin biçimde görülmesi, o suyun daha önceden amonyum ve organik azot içeren evsel ve endüstriyel sularda kirlendiğini veya o suya henüz yeni bir biçimde doğrudan nitrat deşarjının yapıldığını ifade etmektedir. Doğrudan nitrat deşarjları, ya nitratlı bileşiklerin kullanıldığı ya da üretildiği endüstrilere ait atıksular veya tarım alanlarında kullanılan nitratlı gübrelerin yağmur suları ile taşınmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmalara bakıldığında, şehrsel havzaların yüzey sularının nitrat değeri 0.2-10 mg/l arasında değişmektedir (Novotny, 2003). Şekil 7.2.'de grafiksel olarak nitrat derişimleri gösterilmektedir.



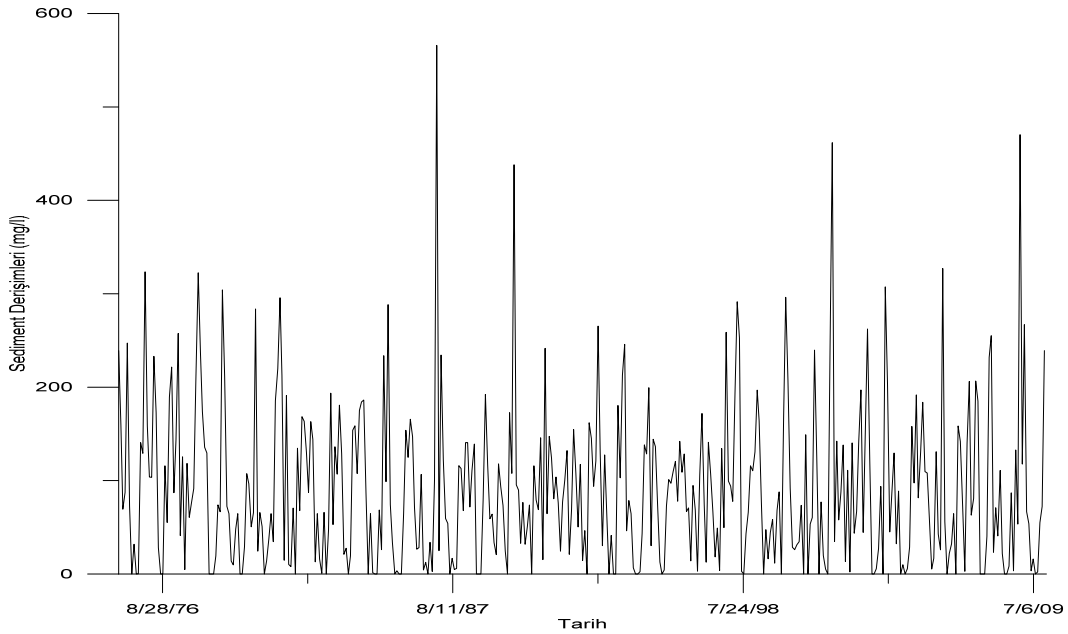
Şekil 7.2. Geçirimsiz kara parçasında aylık ortalama nitrat derişimleri

Su kirliliği açısından önemli değere sahip olan koliform sayısı geçirimsiz alanlardan gelen sularda ortalama 800000 EMS/100ml belirlenmiştir. Eskişehir'in kirlilik yükünün fazla olduğu görülmektedir. Geçirimsiz kara parçasından gelen sularda koliform değerleri 10^3 - 10^9 EMS/100ml arasında değişmektedir (Novotny, 2003). şekil 7.3.'te grafiksel olarak koliform sonuçları gösterilmektedir.



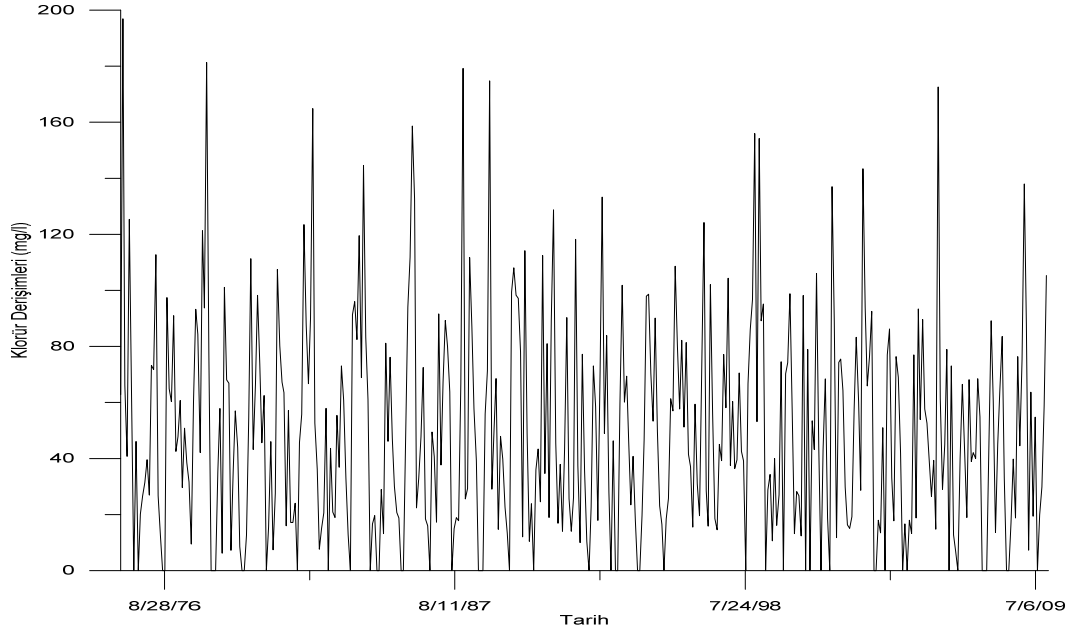
Şekil 7.3. Geçirimsiz kara parçasında aylık ortalama koliform değerleri

Akarsulara değişik kaynaklardan sediment ulaşır. Doğal ve yapay sediment kaynakları olmak üzere iki grup altında toplanabilecek kaynaklar arasında; yüzey, parmak, oyuntu erozyonları, akarsu yatağı ve kıyı erozyonu, toprak kaymaları, tarımsal işlemler, çeşitli amaçlar için yapılan inşaatlar, akarsu yatağı ıslah çalışmaları, maden ve taş ocağı kalıntıları, akarsu yatağından kumçakıl alınması vb. faaliyetler sayılabilir. Bu kaynaklar arasında özellikle erozyon ve sedimentasyon birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de önemli sorunlardan birisini oluşturmaktadır. Şehirsels havzalardan alınan su örneklerindeki sediment değerleri genellikle 10- 4000 mg/l arasında değişmektedir (Novotny, 2003). Şekil 7.4.'te grafiksel olarak sediment derişimleri gösterilmektedir.



Şekil 7.4. Geçirimsiz kara parçasında aylık ortalama sediment derişimleri

Novotny ve Chesters (1981) ve Ellis (1989)'in yaptıkları çalışmalara göre yüzeysel suların klorür değerleri genel olarak 20-300 mg/l arasında değişmektedir. Şekil 7.5.'te grafiksel olarak klorür derişimleri gösterilmektedir.



Şekil 7.5. Geçirimsiz kara parçasında aylık ortalama klorür derişimleri

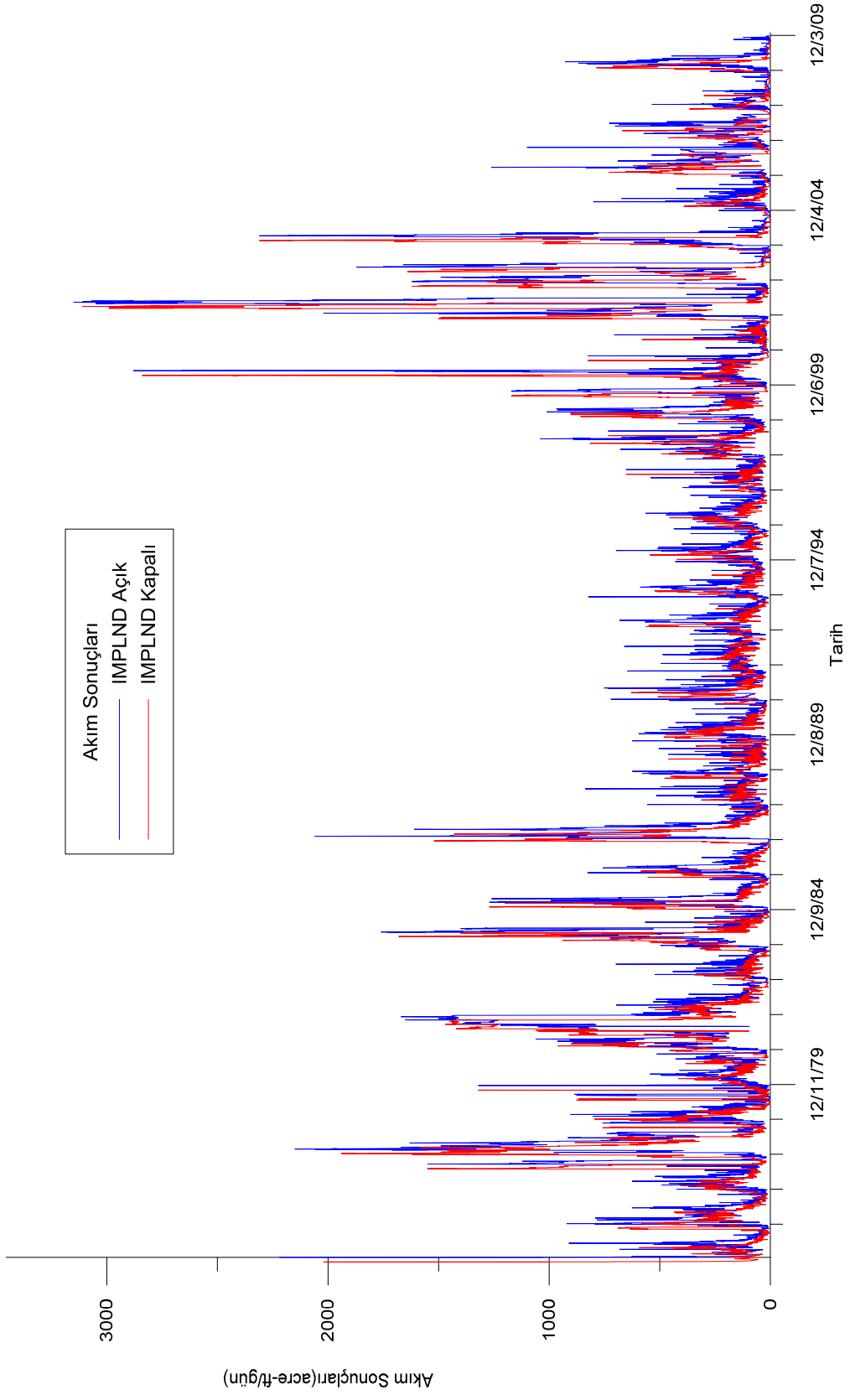
7.2. Geçirimsiz Kara Parçasının Etkileri

Eskişehir havzasından kaynaklanan akış miktarının Porsuk Çayı üzerindeki etkisini belirlemek için IWATER modülü ile modelleme yapılmıştır. Şekil 7.6.'da geçirimsiz kara parçasının IMPLND bölümündeki IWATER modülünü açık olarak çalıştırılmıştır. Daha sonra IWATER modülü kapatılmış ve program tekrar çalıştırılmıştır. Böylece geçirimsiz kara parçasından gelen yüzeysel suyun Eskişehir çıkışındaki alt havzaya etkisi olup olmadığı belirlenmiştir. Buna göre Eskişehir havzasının Aşağı Porsuk Çayı'nın debisine etkisi vardır.

Eskişehir'de geçirimsiz alanlara düşen yağış yağmur suyu toplama sistemleriyle Porsuk Çayı'na taşınmaktadır. Son yıllarda yapılan alt yapı çalışmalarıyla Eskişehir yağmur suyu toplama kanallarının uzunluğu yaklaşık 170 km'dir. Bu da yağmur suyunun etkin bir şekilde Porsuk Çayı'na ulaşmasını sağlamaktadır. Modelde IWATER modülü açık ve kapalı olarak çalıştırıldığında iki durum arasında yapılan t testine göre anlamlı bir fark olduğu da belirlenmiştir. t testi sonuçları Çizelge 7.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Şekerçiftliği istasyonunda yüzeysel akış için t testi sonuçları

t testi ($\alpha = 0.05$)		
	Açık Model	Kapalı Model
Ortalama	236.5	212.9
Varyans	110267	101651
Gözlem	12754	12754
t (istatistik)	40.7	
t kritik değeri	1.65	



Şekil 7.6. Geçirimsiz kara parçasının yüzeysel akışa etkisi

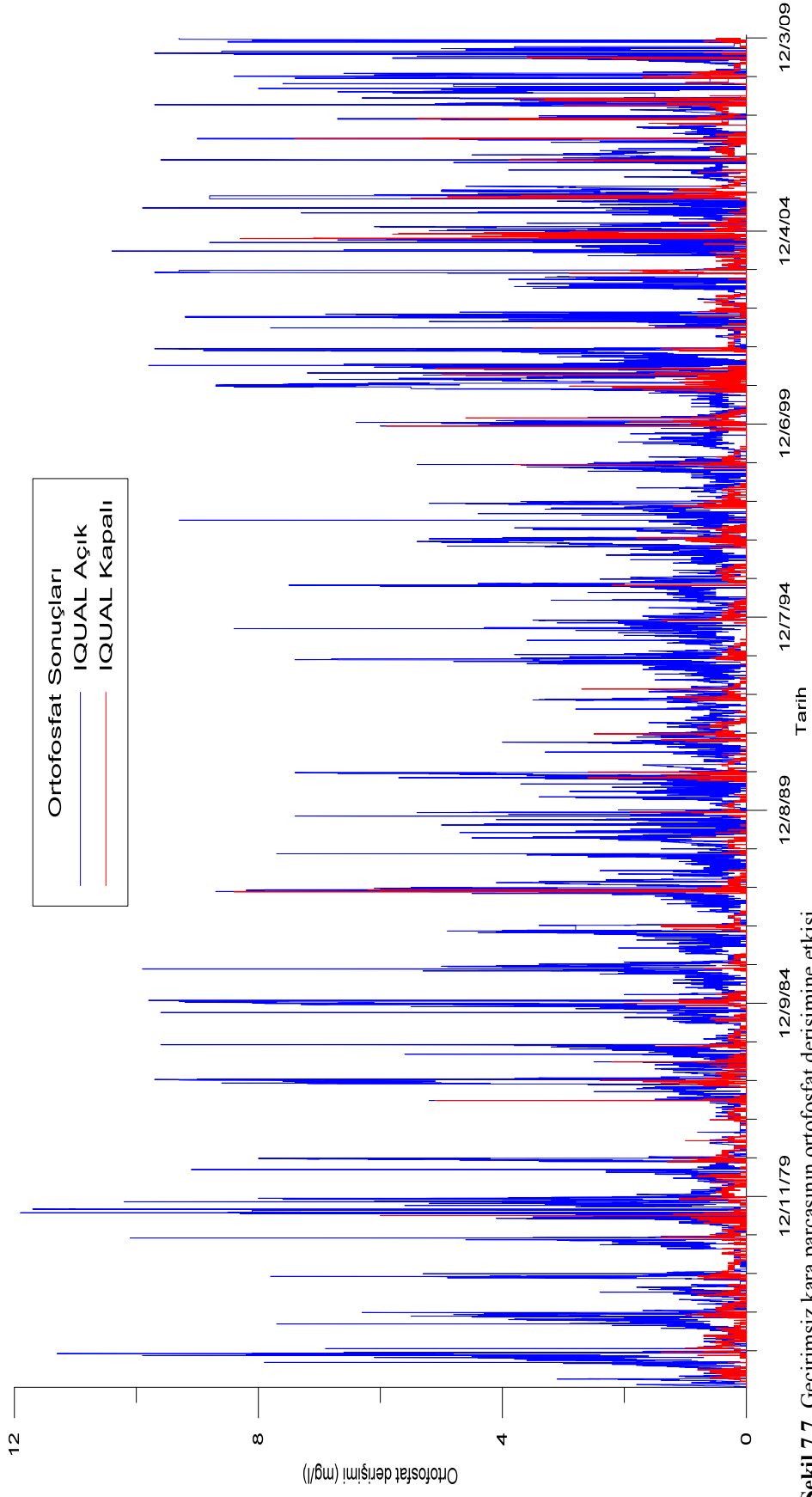
Şekil 7.7.'de ve Şekil 7.8.'de geçirimsiz kara parçasının IMPLND bölümündeki IQUAL alt modülünün (azot ve fosfor gibi kalite parametreleri için kullanılan alt modül) açık olarak program çalıştırılmıştır. Daha sonra IQUAL modülü kapatılmış ve program tekrar çalıştırılmıştır. Buna göre şehirsal havzadan gelen sudaki kirlilik parametrelerinin etkisi görülmüştür. Çizelge 7.2.'de ve Çizelge 7.3.'te ise t testi sonuçları verilmiştir. Buna göre geçirimsiz havzanın Porsuk Çayı'ndaki azot ve fosfor yüklerine etkisi vardır. Bu durum, havzadan gelen gübreleme ve hayvancılık sonucu oluşan yüklere bağlıdır. Eskişehir çıkışına doğru kirletici katılımının yüksek olması da derişimleri etkilemektedir.

Çizelge 7.2. Geçirimsiz bölgelerdeki ortofosfat derişimi için t testi sonuçları

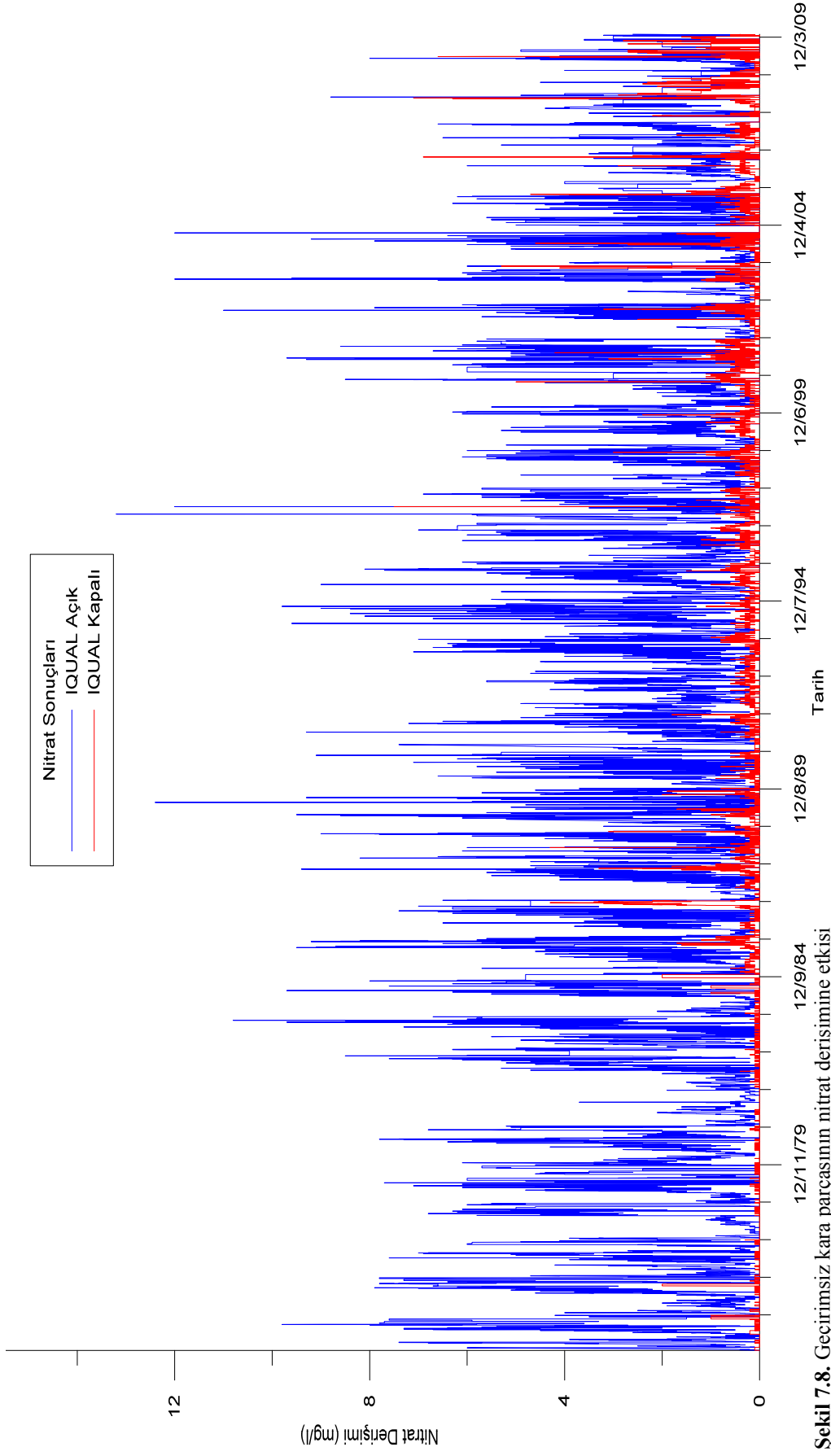
t testi ($\alpha = 0.05$)		
	IQUAL açık	IQUAL kapalı
Ortalama	0.25	0.23
Varyans	1.14	0.97
Gözlem	12754	12754
t (istatistik)	70.2	
t kritik değeri	1.65	

Çizelge 7.3. Geçirimsiz bölgelerdeki nitrat derişimi için t testi sonuçları

t testi ($\alpha = 0.05$)		
	IQUAL açık	IQUAL kapalı
Ortalama	1.98	0.23
Varyans	3.40	0.17
Gözlem	12754	12754
t (istatistik)	112	
t kritik değeri	1.64	



Şekil 7.7. Geçirimsiz kara parçasının ortofosfat derişimine etkisi

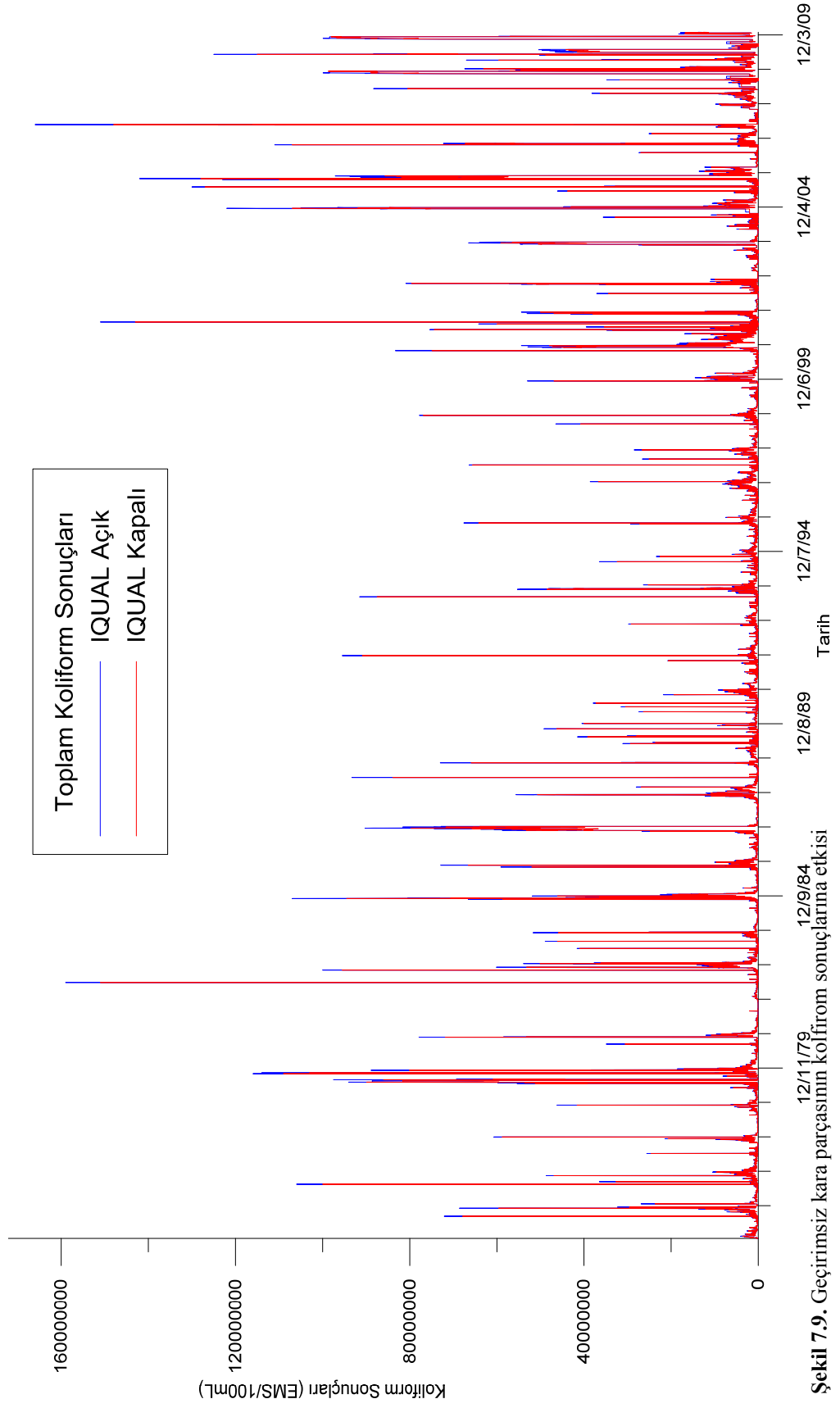


Şekil 7.8. Geçirimsiz kara parçasının nitrat derişimine etkisi

Şekil 7.9.'te IMPLND bölümündeki IQUAL alt modülünün kapatıp açılmasıyla çalıştırılan programdan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çizelge 7.4.'te ise koliform sayıları için t testi uygulanmıştır. Sonuçları geneline bakıldığında koliform sayılarının çok yüksek olduğu gözlenmiştir ve Eskişehir'in atıksu kirlilik yükünün bu yüksek değerlerde etkisi olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.4. Geçirimsiz bölgelerdeki koliform sayısı için t testi sonuçları

t testi ($\alpha = 0.05$)		
	IQUAL açık	IQUAL kapalı
Ortalama	3572775	3250576
Varyans	1.64E+14	1.35E+14
Gözlem	12754	12754
t (istatistik)	29.6	
t kritik değeri	1.64	

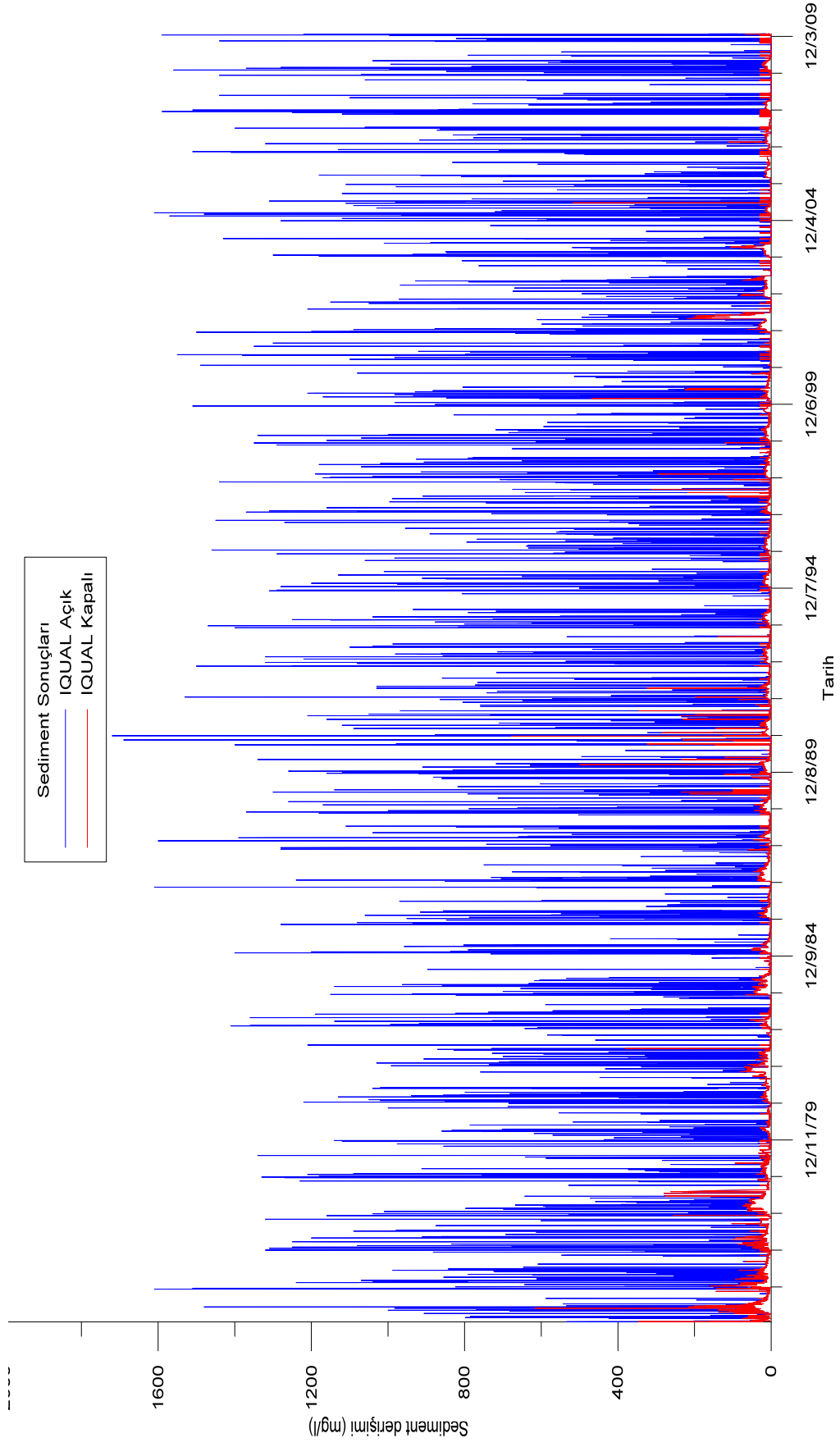


Şekil 7.9. Geçirimsiz kara parçasının koliform sonuçlarına etkisi

Şekil 7.10.' da sediment derişimi incelendiğinde IMPLND bölümünün SOLIDS alt modülünün açık ve kapalı olarak programın çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçları gösterilmiştir. Eskişehir'deki insan kaynaklı kirlilik, sokak, cadde temizliği, rüzgarla taşınan yaprak, toz vb., partikül maddelerin miktarının Porsuk Çayı sediment derişimine çok fazla etkisi olduğu görülmektedir. Çizelge 7.5.'te ise t testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.5. Geçirimsiz bölgelerdeki sediment derişimi için t testi sonuçları

t testi ($\alpha = 0.05$)		
	SOLIDS açık	SOLIDS kapalı
Ortalama	3572775	3250576
Varyans	1.64E+14	1.35E+14
Gözlem	12754	12754
t (istatistik)	29.6	
t kritik değeri	1.64	



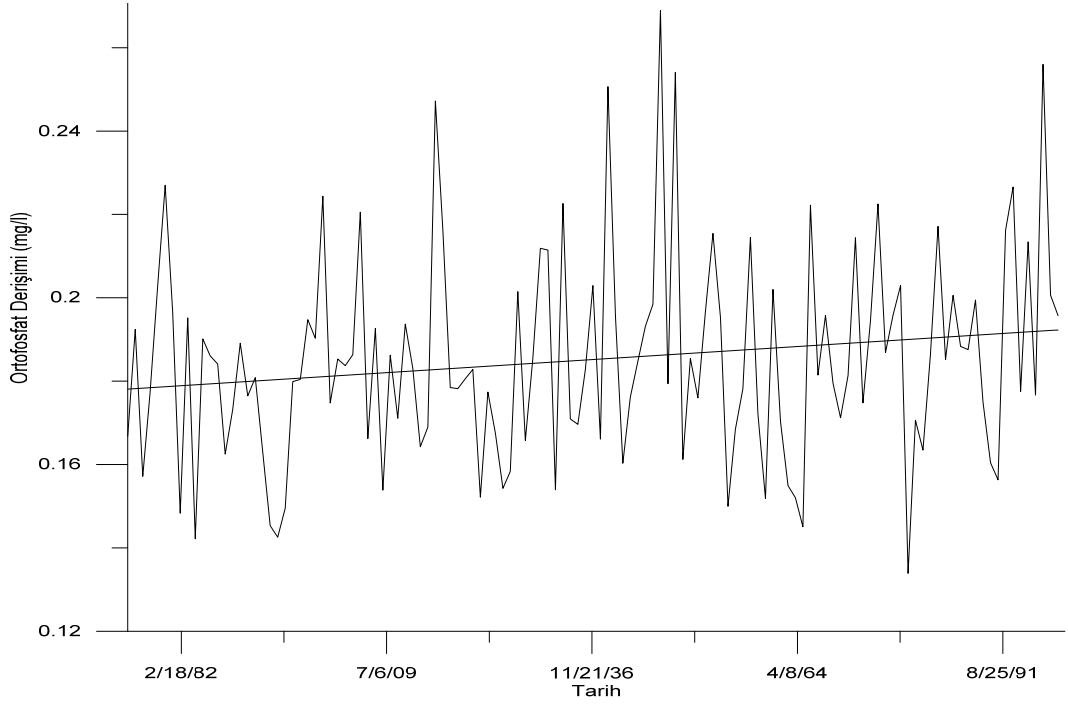
Şekil 7.10. Geçirimsiz kara parçasının sediment derişimine etkisi

7.3. İklim Senaryoları Sonuçları

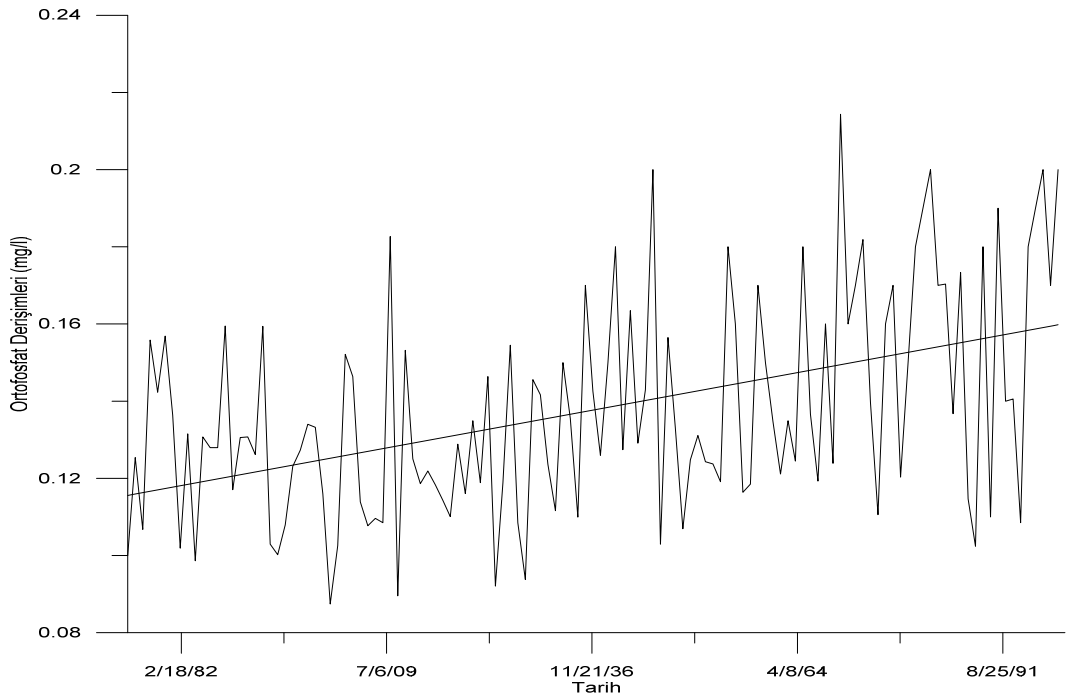
İklim senaryoları kullanılarak kirlilik parametrelerinin geleceğe yönelik model tahminleri yapılmıştır. Yıllık ortalamalar göz önünde bulundurulduğunda genellikle tüm parametrelerde 2099 yılına kadar yapılan simülasyon sonuçlarında artış görülmektedir.

Derişik fosfat formları kirlenmiş sulara çeşitli kaynaklardan gelirler. Temizlik yerlerinde kullanılan sularla çok miktarda fosfat sulara karışmaktadır. Yine fosfatlar kazan sularının tasfiyesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Zirai gübre olarak verilen ortofosfatlar da yağmurla yıkanma sonucu yüzeysel sulara taşınırlar. İklim senaryosuna göre gelecek zamanlarda çok değişim olmamakla beraber ortofosfat derişimlerinde artış görülmektedir. Bu yüklerin özellikle tarımcılık ve hayvan faaliyetlerinden kaynaklandığı düşünölmektedir. Yüzey sularına karışan gübreden, insan ve hayvan dışkılarında, deterjanlar ve temizlik maddelerinden fosfat bileşikleri gelmektedir.

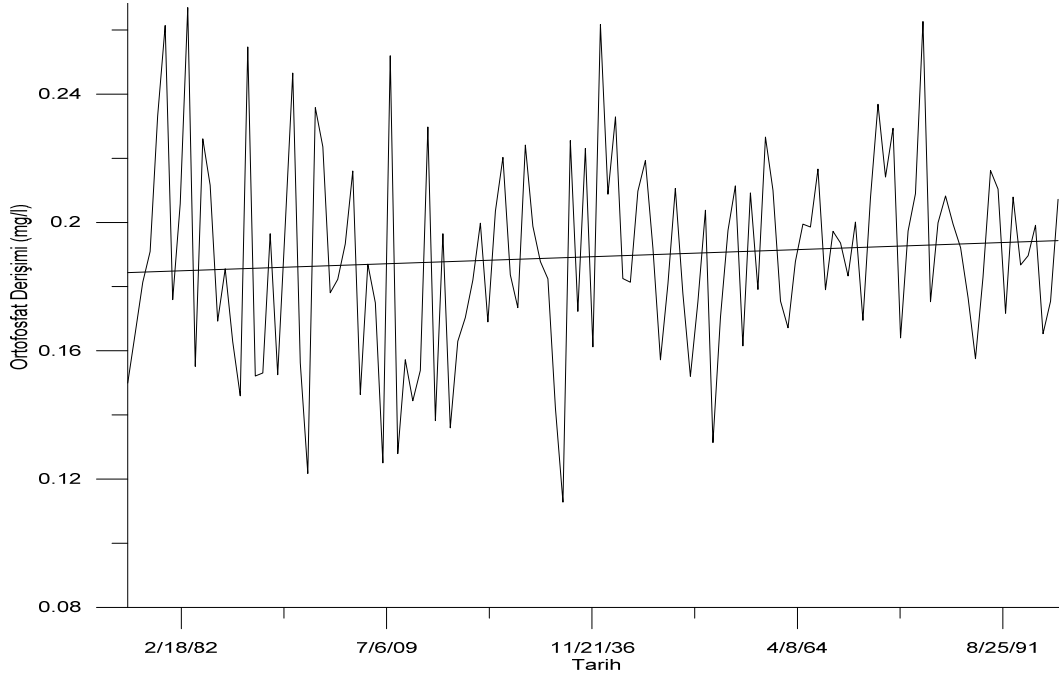
İklim senaryolarından C2A1B bütün kaynakların dengeli kullanımı öngörmektedir fakat kötümser bir senaryodur. Hızlı nüfus artışını ve teknolojik gelişmeleri öngörmektedir, buna karşın C3A2 senaryosu daha bölgesel bir dünya öngörmektedir, fakat bu senaryoya göre çevre daha çabuk kirlenecek ve iklim daha hızlı değişecektir. H3B2 senaryosu ise, daha çevreci bir dünya öngörmektedir. Her bir senaryo ailesine göre ortofosfat derişimlerinde artış meydana gelmiştir (Şekil 7.11, 7.12, 7.13.). Özellikle kış aylarındaki düşüşlerin sebebinin, yağmur sularının derişimleri seyreltmesi olduğu düşünölmektedir.



Şekil 7.11. C3A1B senaryosuna göre ortofosfat derişimi

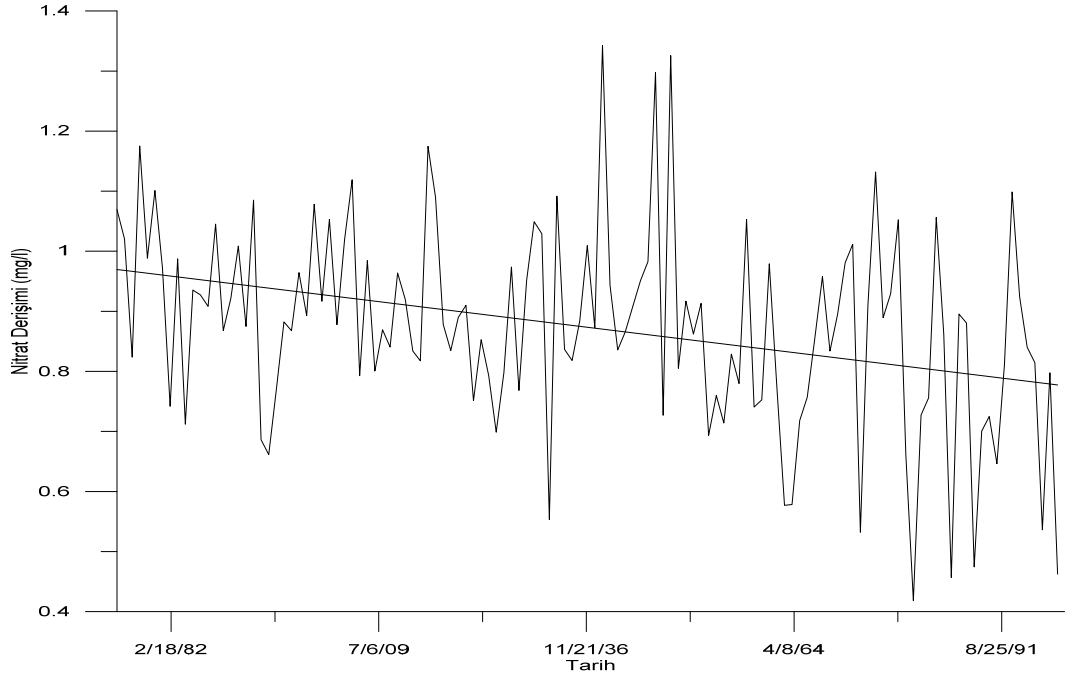


Şekil 7.12. C3A2 senaryosuna göre ortofosfat derişimleri

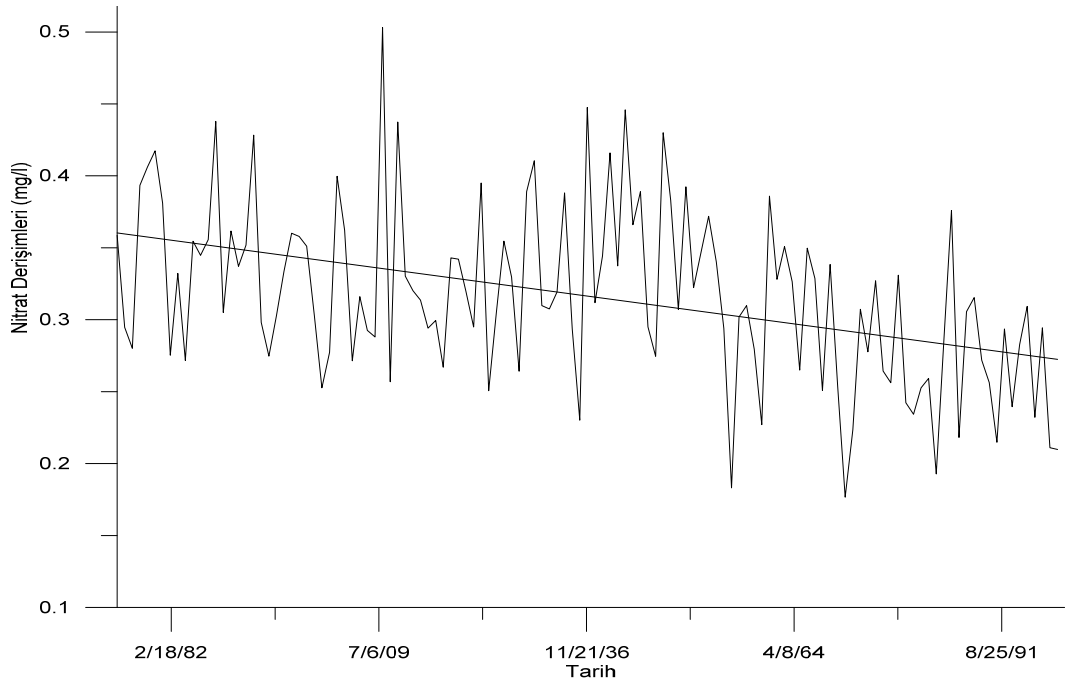


Şekil 7.13. H3B2 senaryosuna göre ortofosfat derişimi

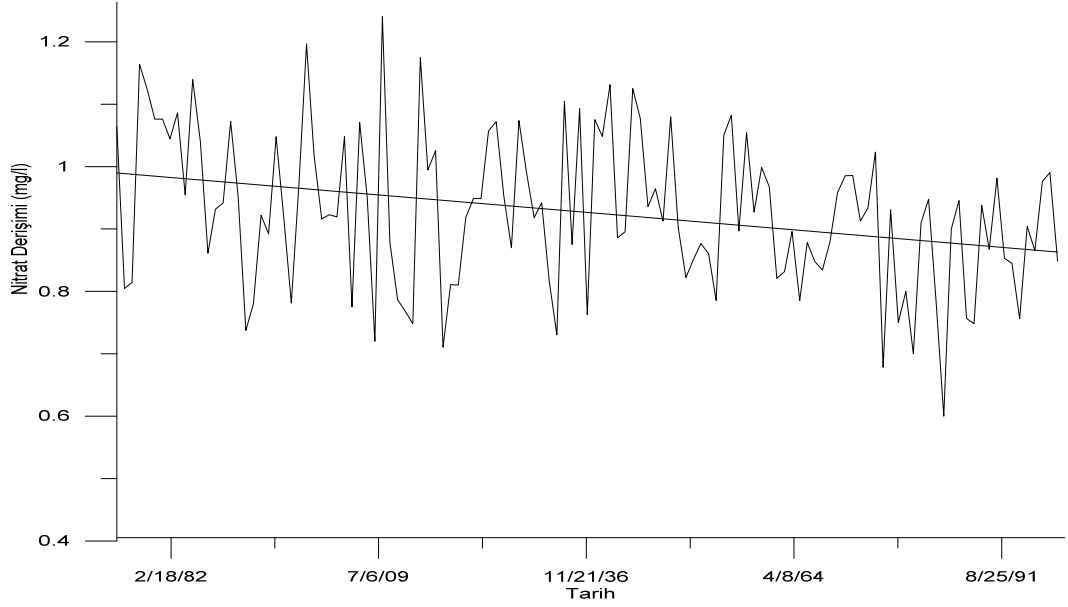
Nitrifikasyon koşulların elverişli olması halinde meydana gelen; yüzeysel sularda, bunlara karışan arıtılmış sularda ve dıştan havalandırmayla arıtma sağlayan biyolojik atık su arıtma tesislerinde fazladan çözülmüş oksijen kaybına yol açan, istenmeyen bir işlem olmakla birlikte; amonyağın tasfiyesi için de uygun ve doğal bir arıtma yöntemidir. Diğer taraftan aerobik koşullarda nitrifikasyonun tersi, son aşamada havanın doğal bileşeni olan azotun oluşup havaya çıkmasıyla biten denitrifikasyon reaksiyonu ile oluşur. Bu reaksiyon anaerobik koşullar içeren bataklık yerlerde suda NO_3^- konsantrasyonlarının azalmasına yol açar. Yüzeysel sulardaki nitrat kirliliğinin başlıca nedenleri; topraktaki organik maddelerin biyolojik olarak parçalanması ve gereğinden fazla gübre kullanımınıdır. İklim senaryolarına göre nitrat derişimlerinde azalma eğilimi görülmektedir. Çözülmüş oksijen değerindeki azalmalar nitrifikasyon sürecini yavaşlatmakta ve bunun sonucu nitrat derişim değerleri azalmaktadır. C3A1B ve C3A2 kötümser senaryolarına göre nitrat derişimlerinin 0,2 mg/l'ye düşeceği öngörülmektedir. Buna rağmen daha çevreci bir senaryo olan H3B2 senaryosuna göre nitrat derişiminin düşüş miktarı çok fazla değildir. Kış aylarında düşüşler görülmektedir, yağmur suları ve yüzeysel suların artması seyrelmeyi de arttırmakta ve derişimleri azaltmaktadır.



Şekil 7.14. C3A1B senaryosuna göre nitrat derişimi

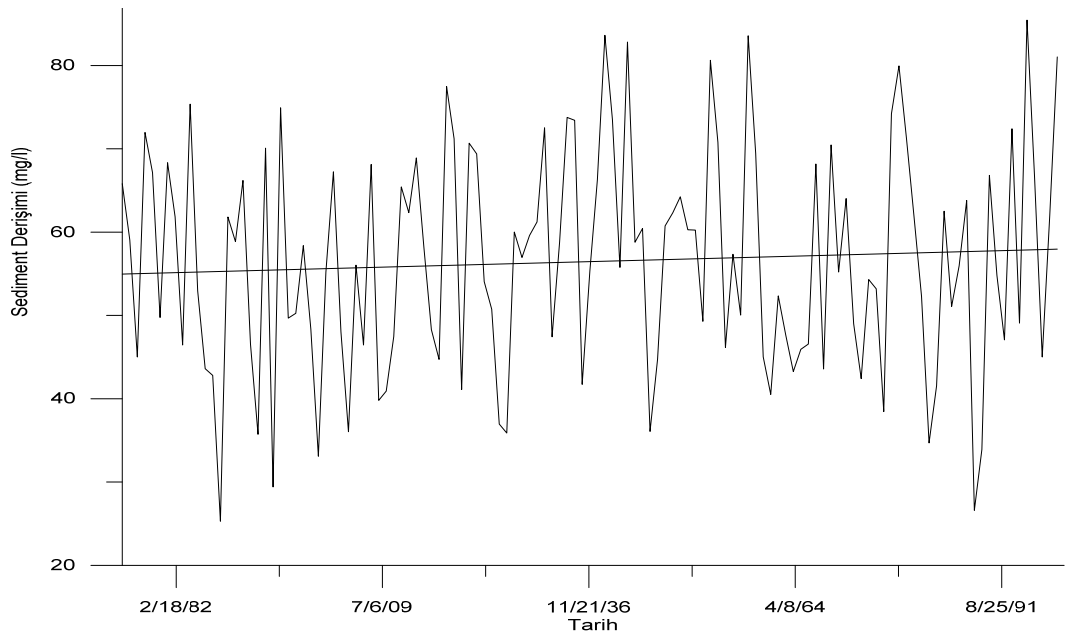


Şekil 7.15. C3A2 senaryosuna göre nitrat derişimleri

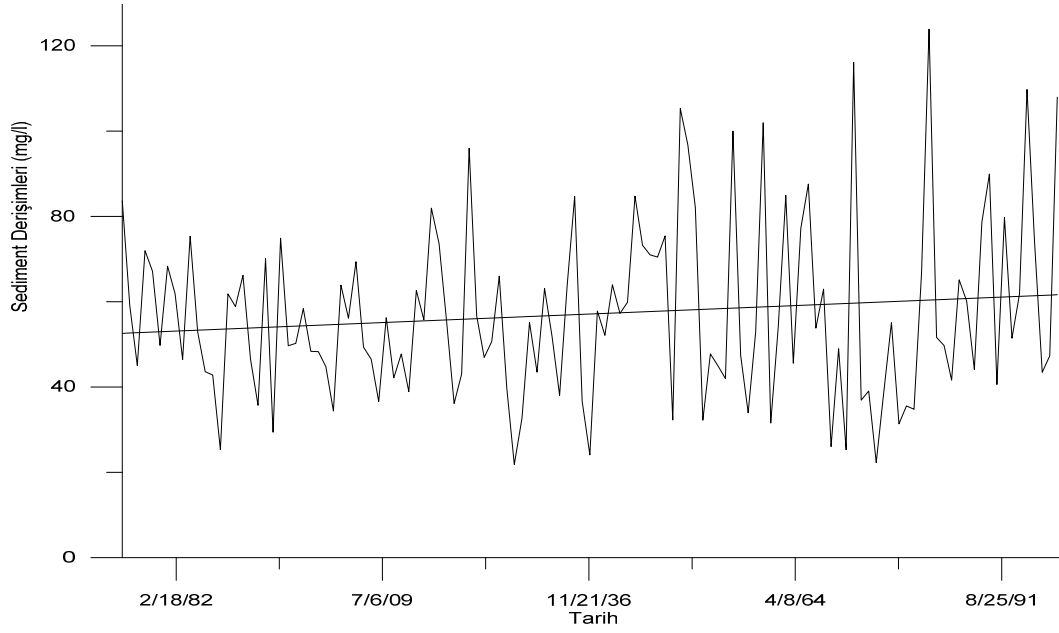


Şekil 7.16. H3B2 senaryosuna göre nitrat derişimi

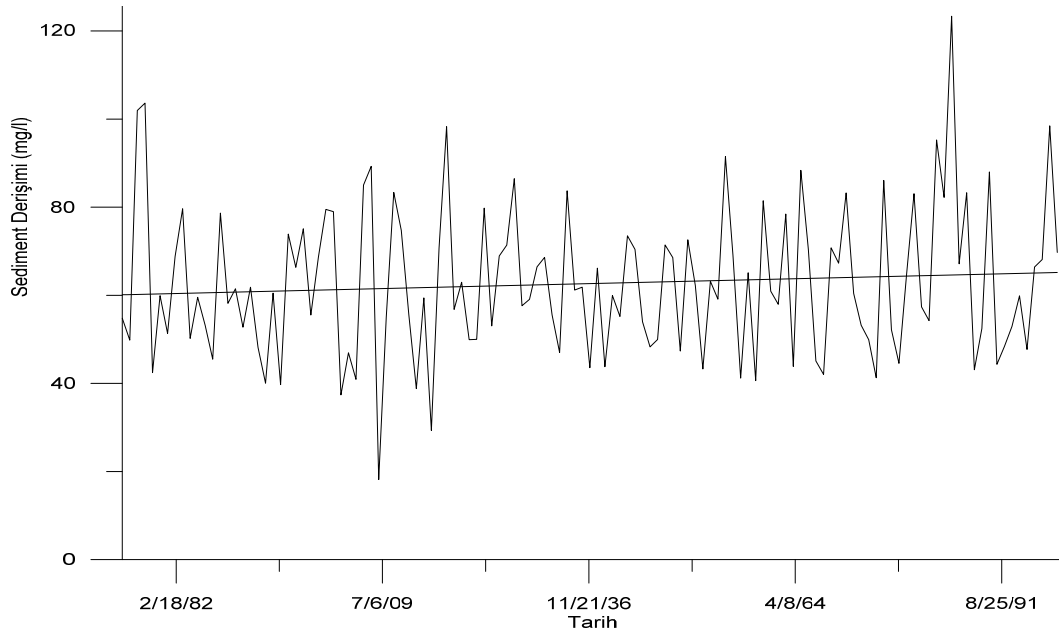
Günümüzde özellikle tarımsal faaliyetlerden ve madencilikten çok fazla sediment yüzeysel sulara taşınmaktadır. İklim senaryoları kullanılarak simüle edilen sediment derişimi sonuçlarına bakıldığında özellikle yaz aylarında sediment derişiminde düşüşler görülmektedir. Yaz aylarında yağışın az veya hiç olmaması yüzeyde biriken sedimentin taşınımının azalmasına neden olmaktadır (Şekil 7.17., 7.18., 7.19.).



Şekil 7.17. C3A1B senaryosuna göre sediment derişimi



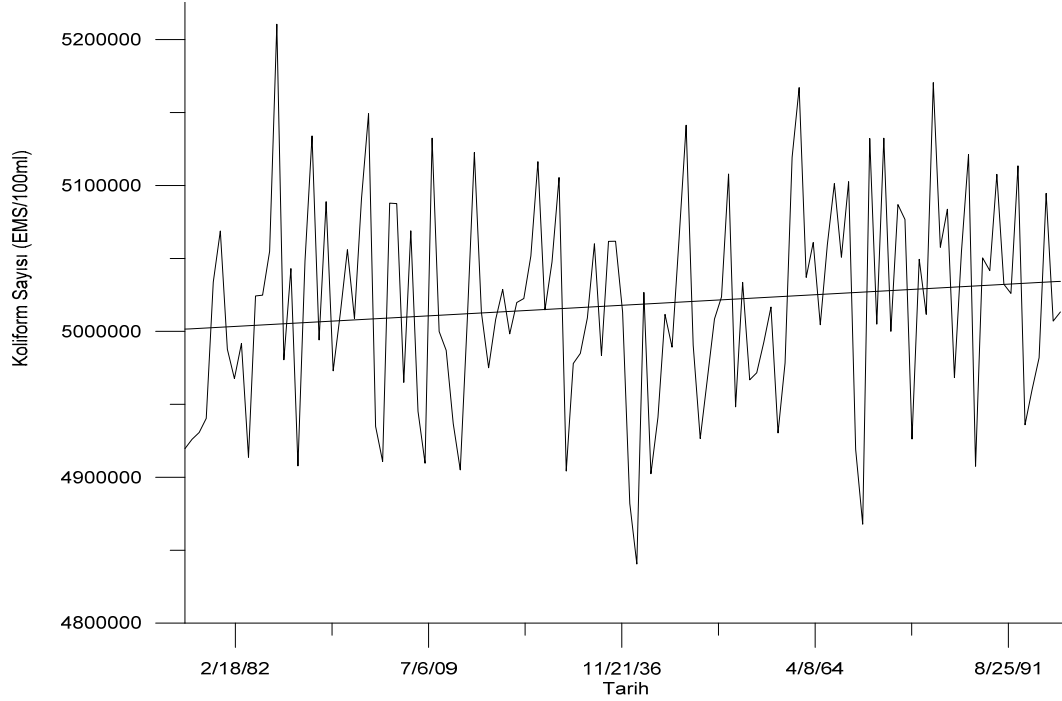
Şekil 7.18. C3A2 senaryosuna göre sediment derişimleri



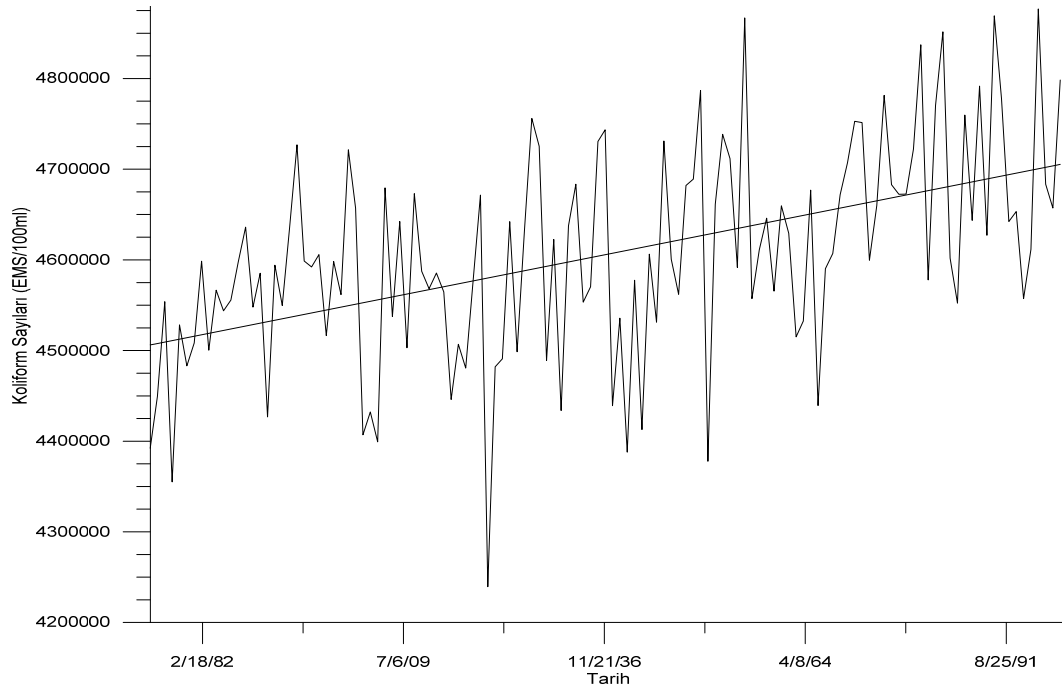
Şekil 7.19. H3B2 senaryosuna göre sediment derişimi

Evsel atıksuların hiç arıtılmadan sucul ortamlara boşaltılmasının önemli etkilerinden birisi de mikrobiyal kirlenmedir. Şekil 7.20., 7.21. ve 7.22.'de toplam koliform sonuçlarına bakıldığında şehirden gelen suda koliform yükünün etkisi ile geleceğe yönelik artış olduğu belirlenmiştir. Özellikle C3A1B ve C3A2

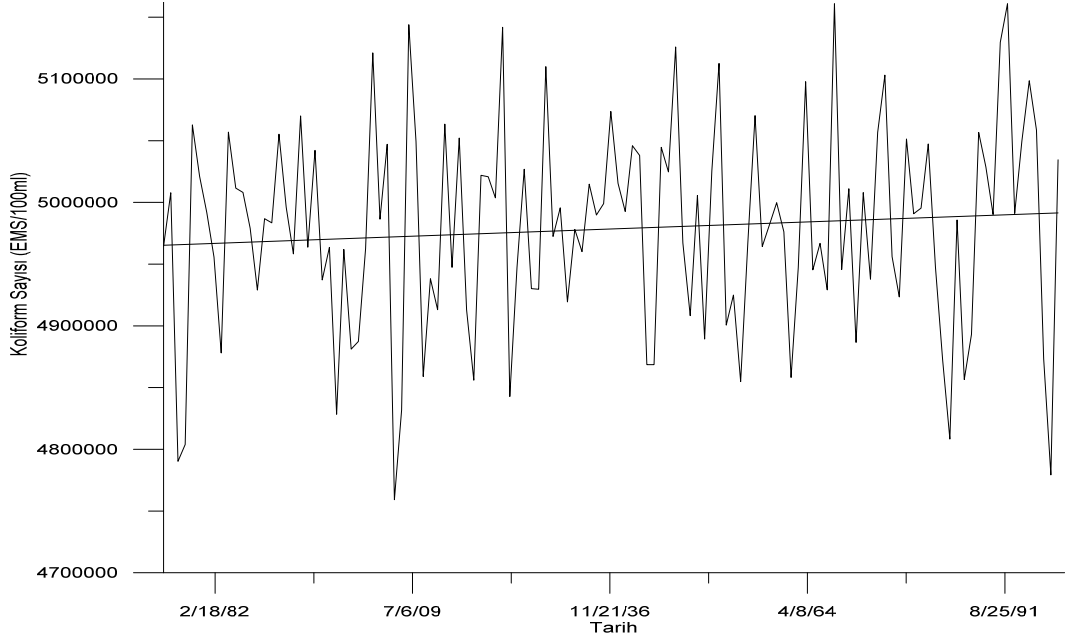
senaryolarındaki artış eğimleri gözle görülür derecede fazladır. H3B2 senaryosunda ise artış miktarı diğer senaryolara göre daha azdır.



Şekil 7.20. C3A1B senaryosuna göre koliform sayıları

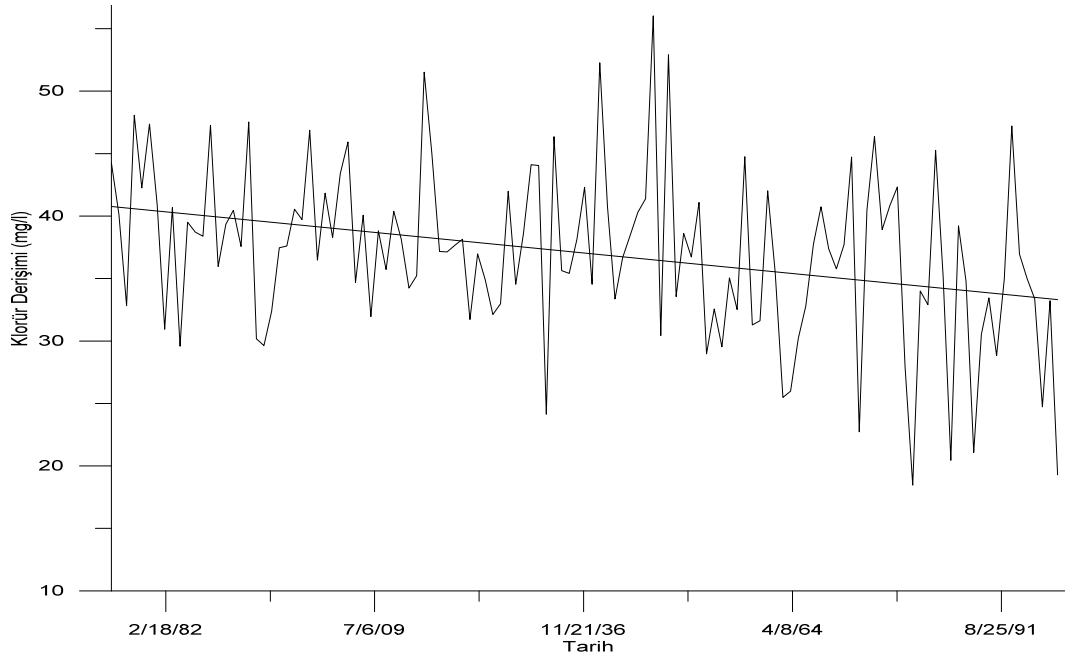


Şekil 7.21. C3A2 senaryosuna göre koliform sayıları

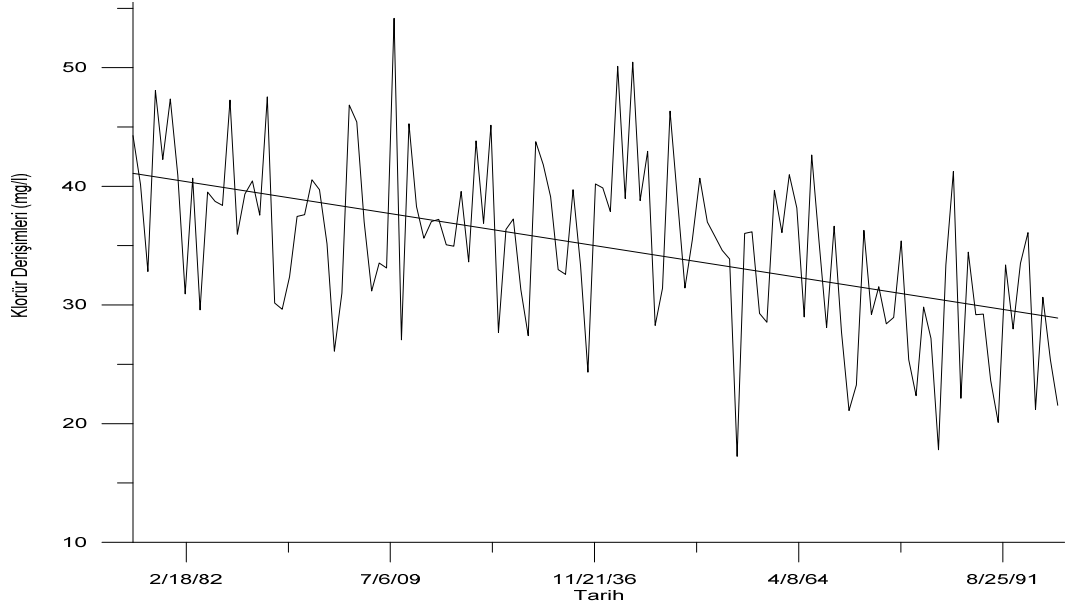


Şekil 7.22. H3B2 senaryosuna göre koliform sayıları

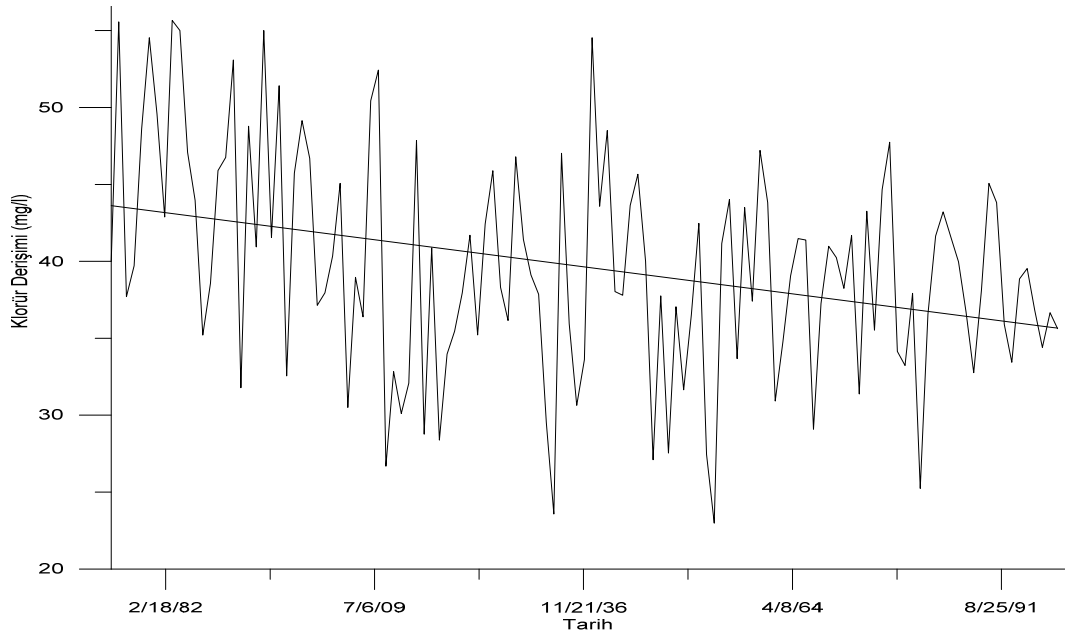
Klorür, yalnızca farklı derişimlerde klorür içeren suların eklenmesi ile derişim değışikliklerine uğramaktadır. Şekil 7.23., 7.24. ve 7.25.'te iklim senaryolarının Eskişehir'in klorür derişimi üzerine etkileri görülmektedir. Klorürle ilgili bir kirlilik yükü verilmediğinden derişim değerlerinde düşüş görülmektedir.



Şekil 7.23. C3A1B senaryosuna göre klorür derişimi

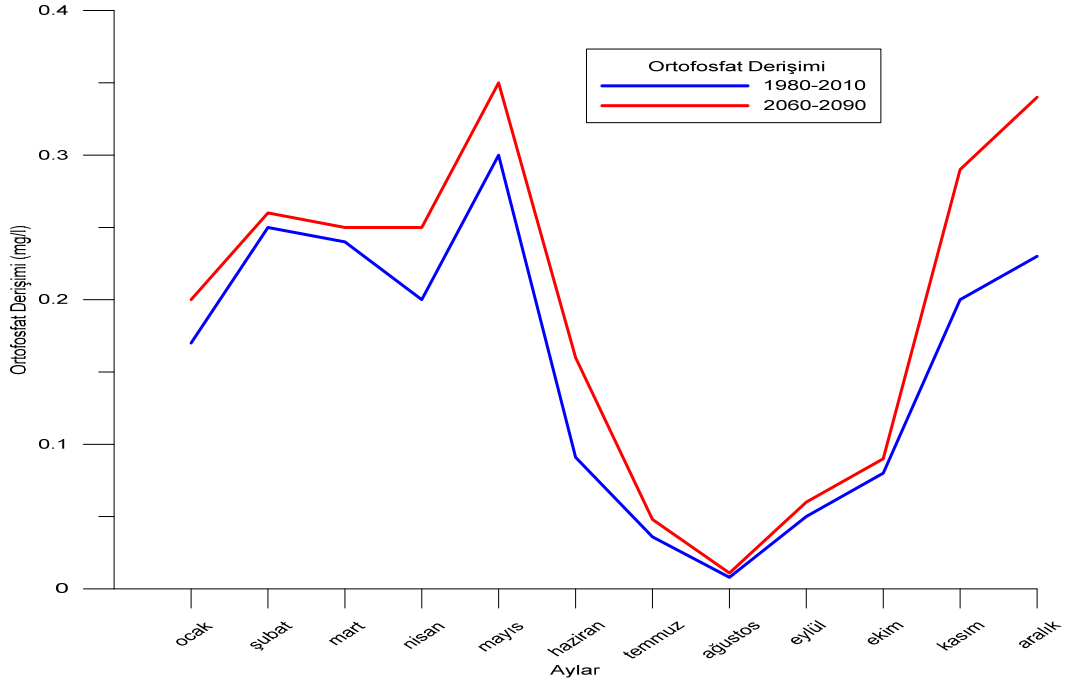


Şekil 7.24. C3A2 senaryosuna göre klorür derişimleri

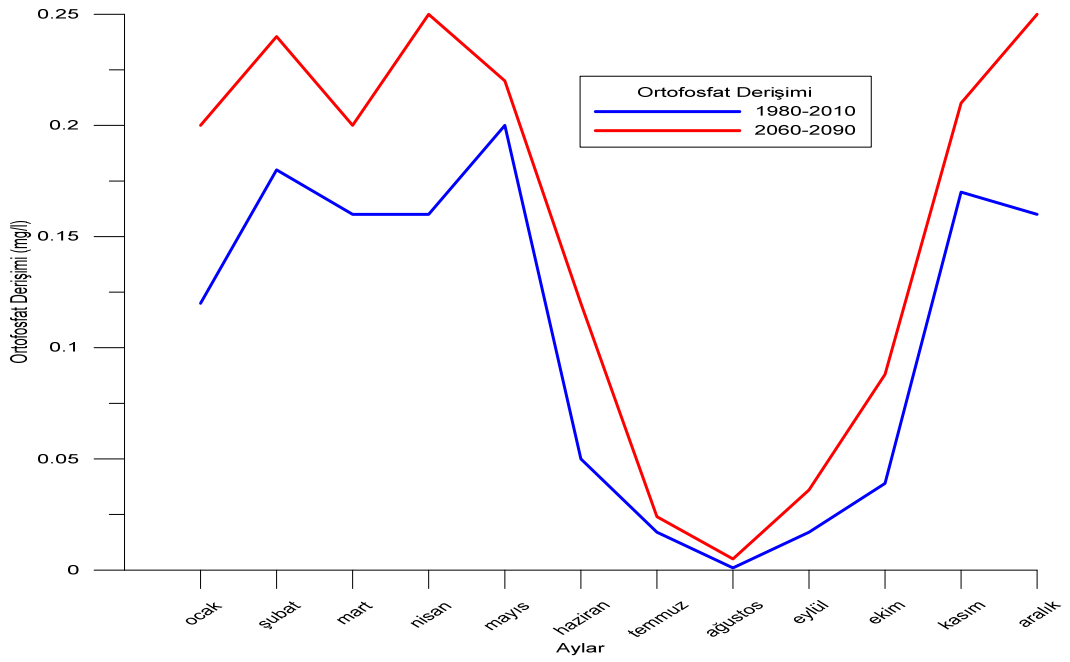


Şekil 7.25. H3B2 senaryosuna göre klorür derişimi

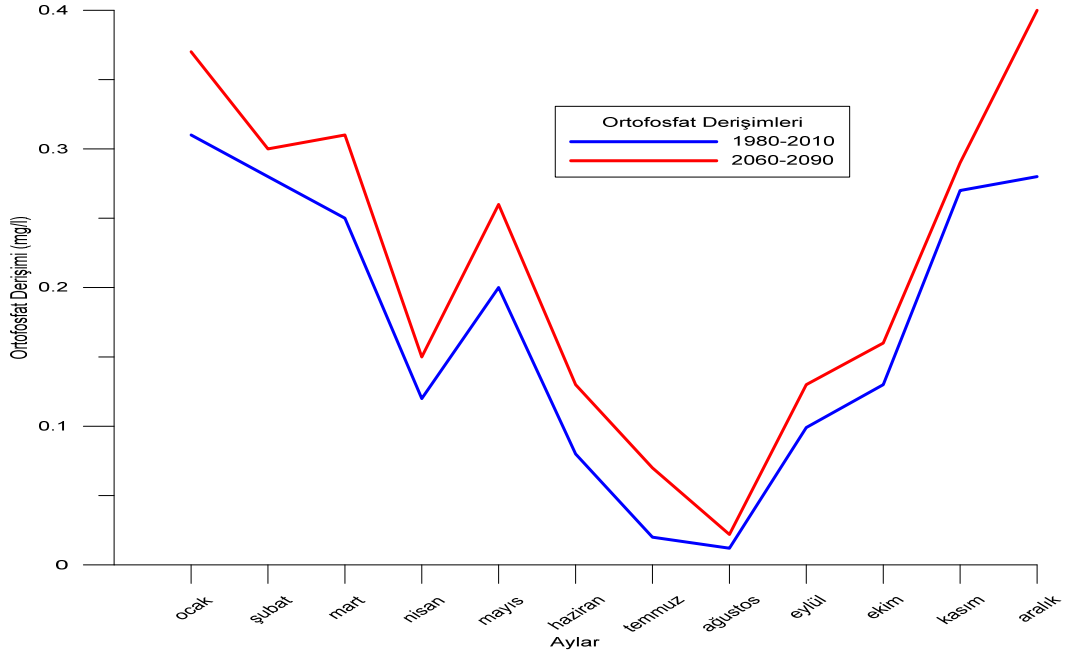
30 yıllık periyodların değişimini karşılaştırmak amacıyla 1980-2010 ve 2060-2090 yılları arası her ayın ortalaması alınmış olup sonuçları gözlemlenmiştir. C3A1, C3A2 ve H3B2 senaryolarına göre değişimler Şekil 7.26-Şekil 7.40.'ta görülmektedir.



Şekil 7.26. C3A1 senaryosuna göre ortofosfat derişimleri ortalaması

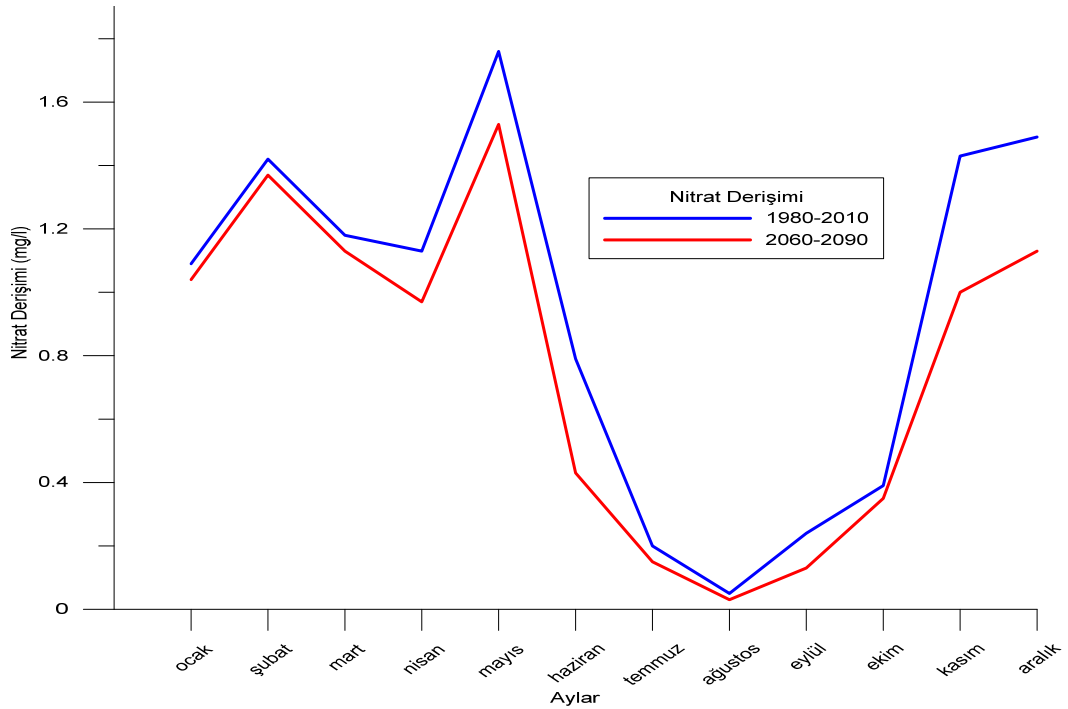


Şekil 7.27. C3A2 senaryosuna göre ortofosfat derişimleri ortalaması

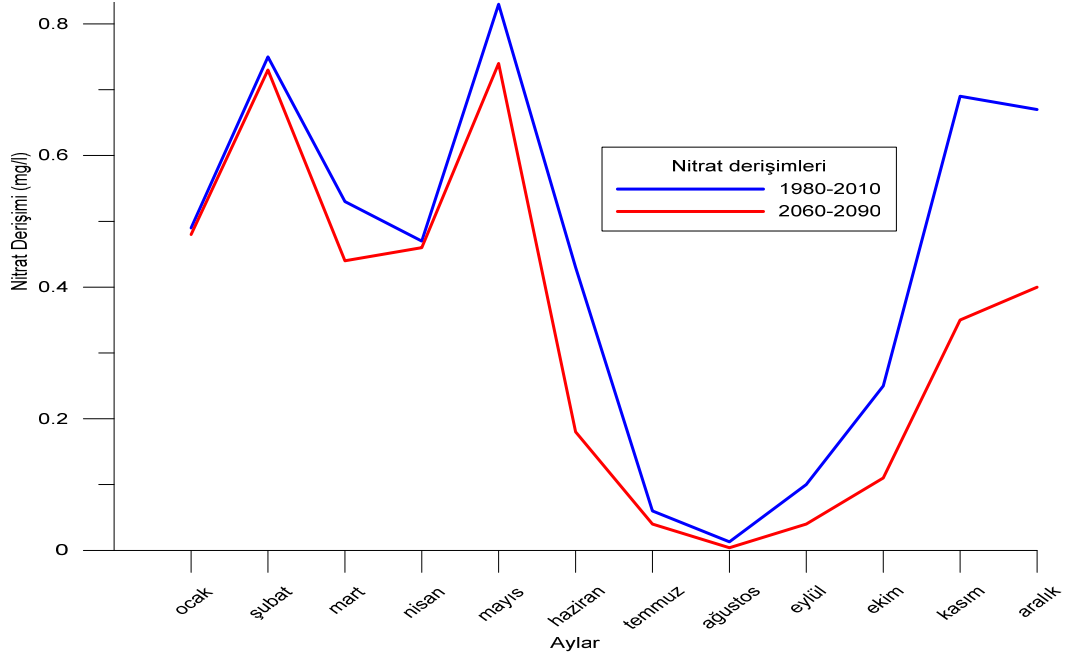


Şekil 7.28. H3B2 senaryosuna göre ortofosfat derişimleri ortalaması

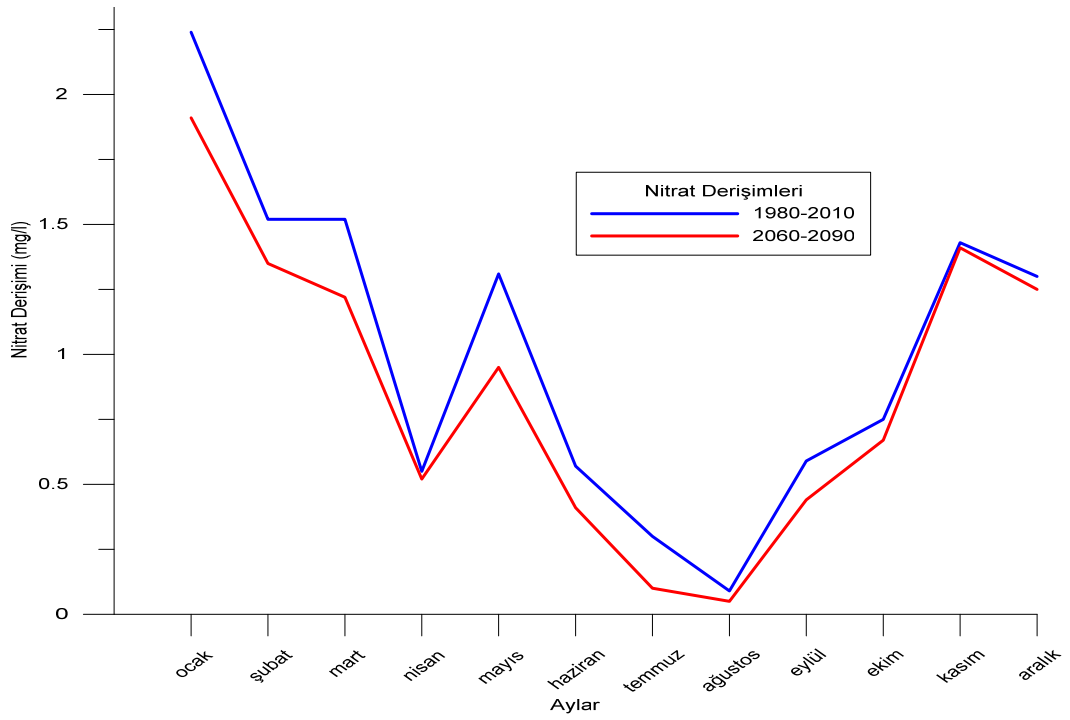
Nitrat derişimlerini incelediğimizde her bir senaryoya göre 30 yıllık periyotlarda düşüş görülmektedir.



Şekil 7.29. C3A1 senaryosuna göre nitrat derişimleri ortalaması

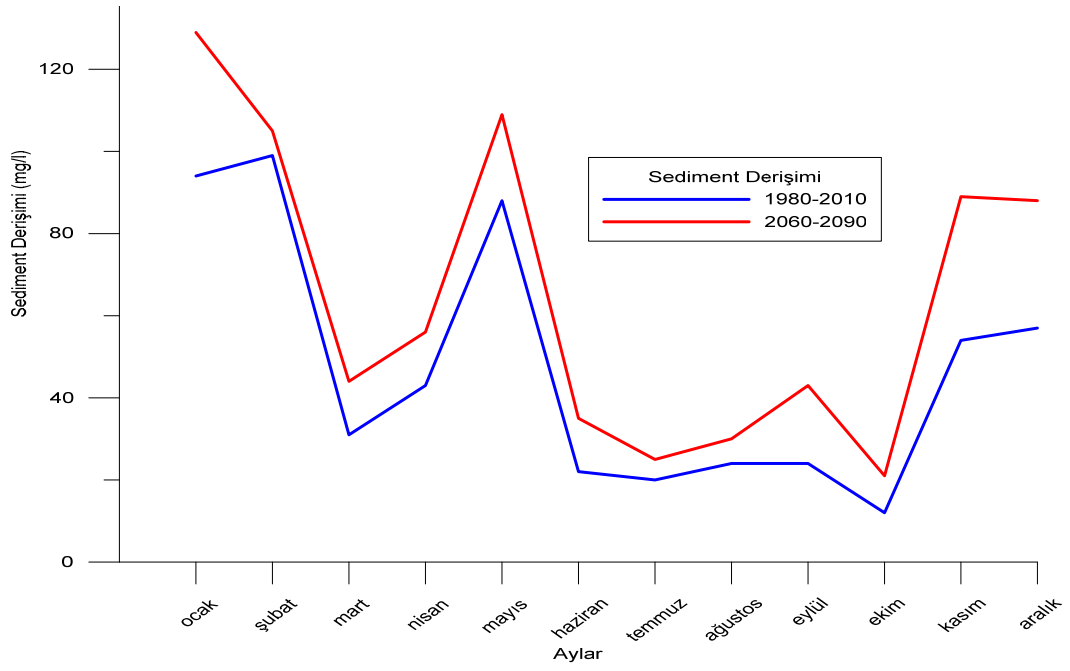


Şekil 7.30. C3A2 senaryosuna göre nitrat derişimleri ortalaması

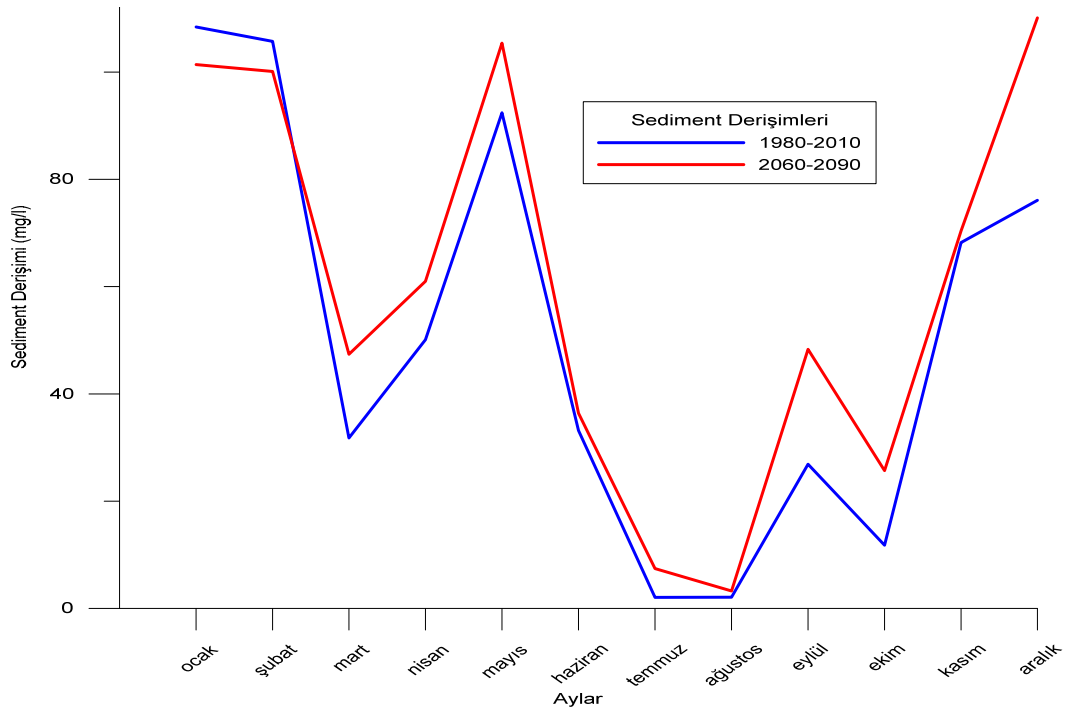


Şekil 7.31. H3B2 senaryosuna göre nitrat derişimleri ortalaması

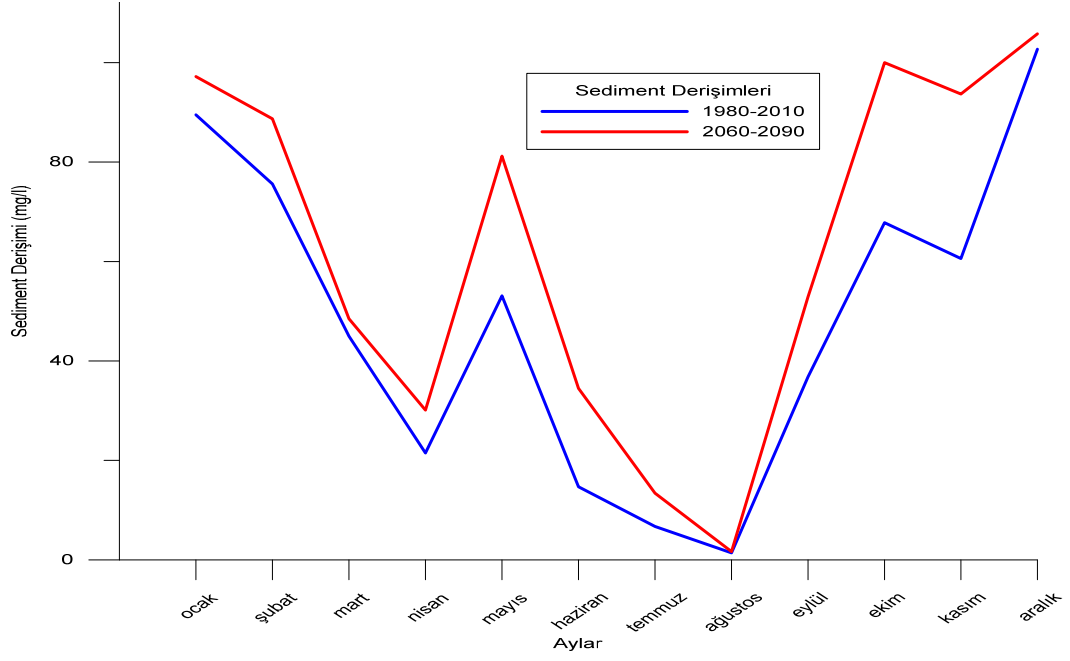
Sediment derişimleri incelendiğinde belirgin bir artış görölmektedir.



Şekil 7.32. C3A1 senaryosuna göre sediment derişimleri ortalaması

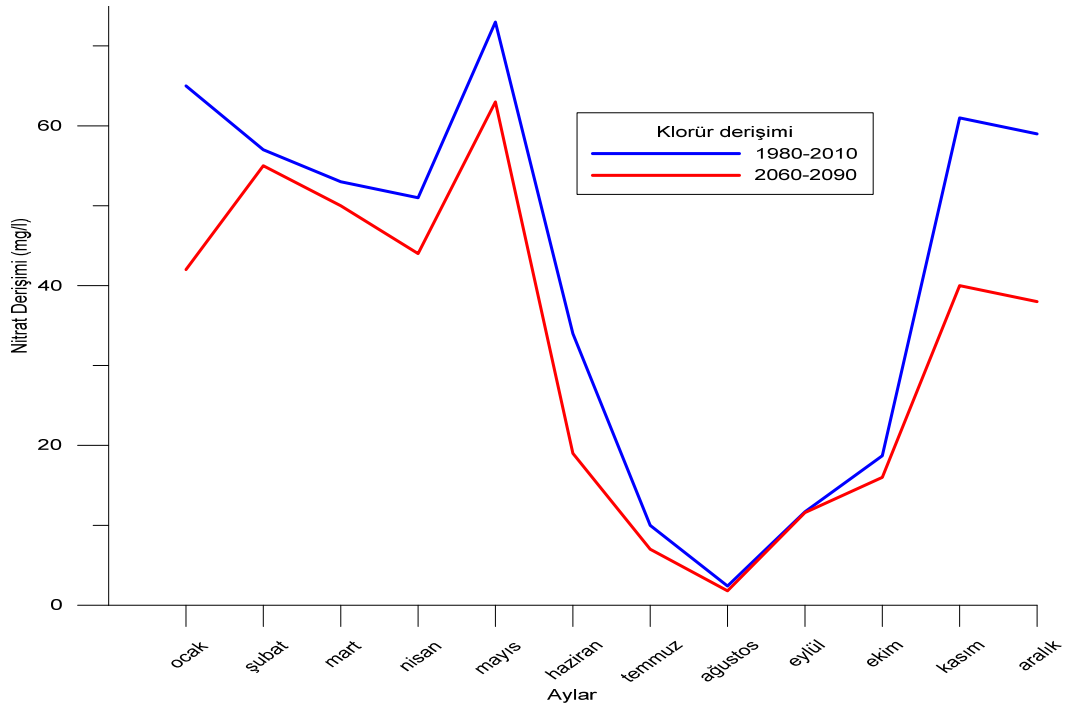


Şekil 7.33. C3A2 senaryosuna göre sediment derişimleri ortalaması

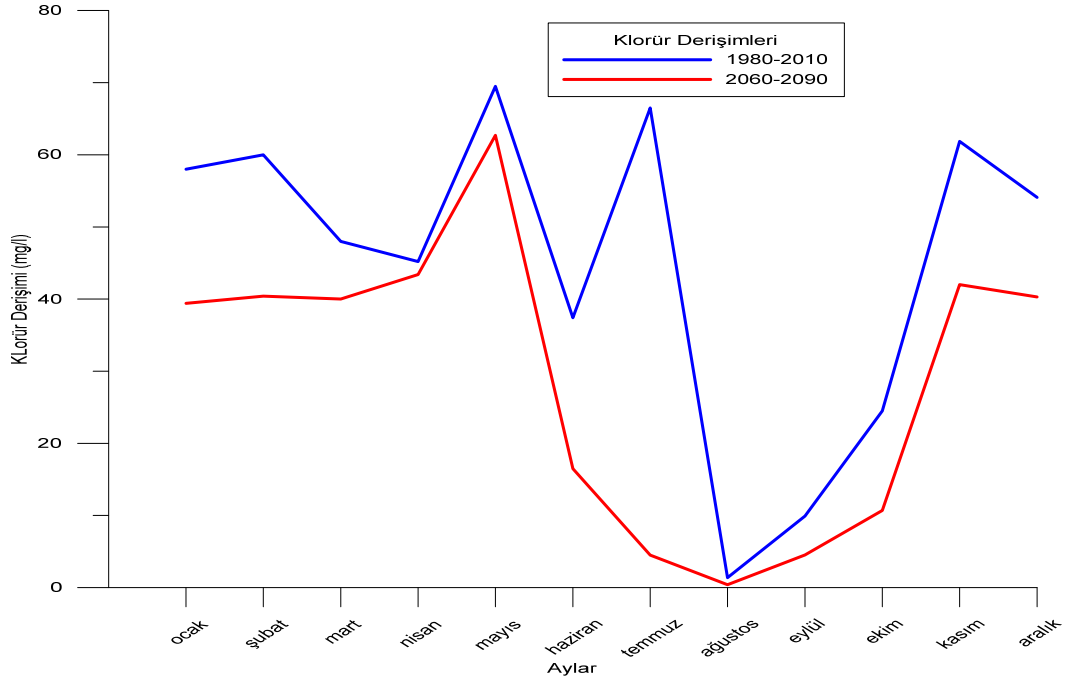


Şekil 7.34. H3B2 senaryosuna göre sediment derişimleri ortalaması

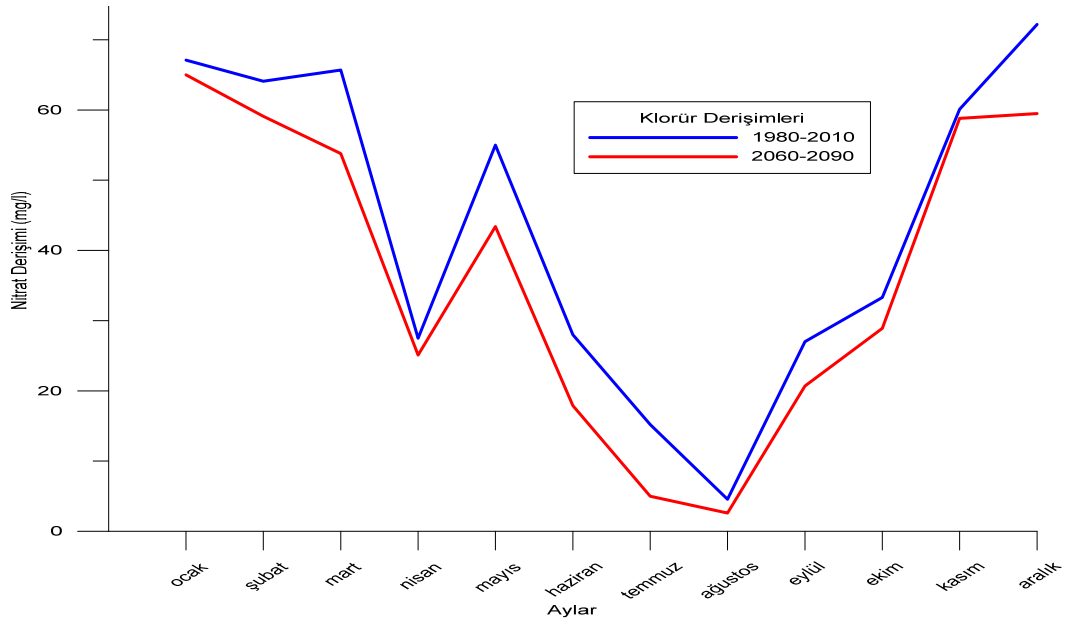
Klorür derişimleri incelendiğinde tüm senaryolara göre düşüş görülmektedir.



Şekil 7.35. C3A1 senaryosuna göre klorür derişimleri ortalaması

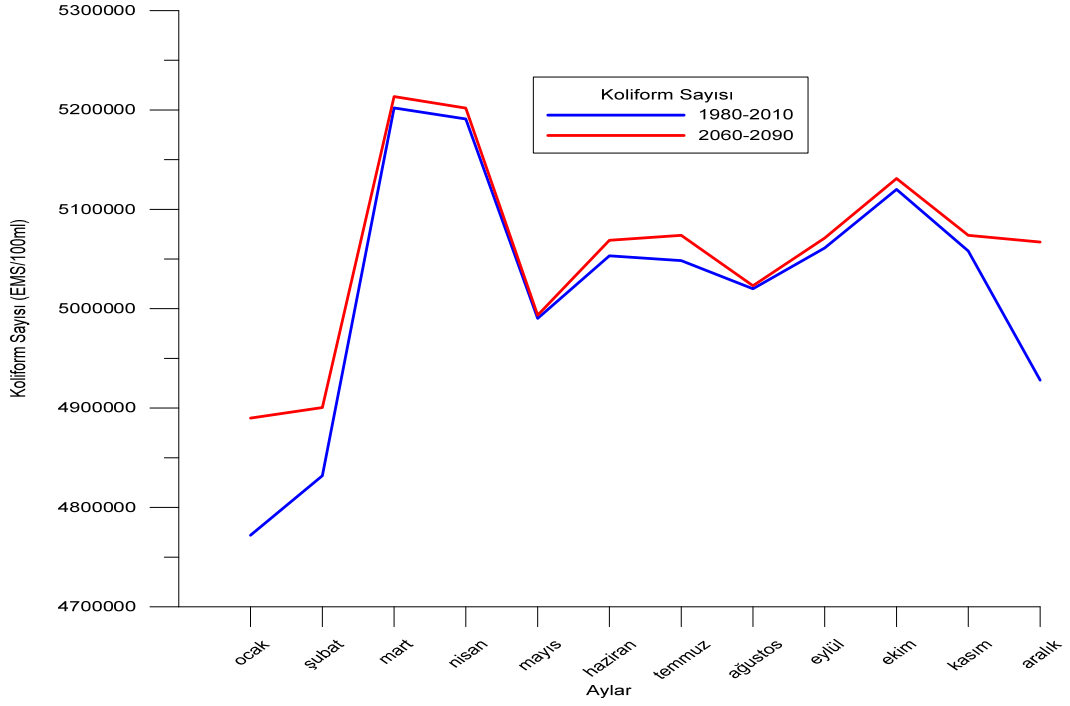


Şekil 7.36. C3A2 senaryosuna göre klorür derişimleri ortalaması

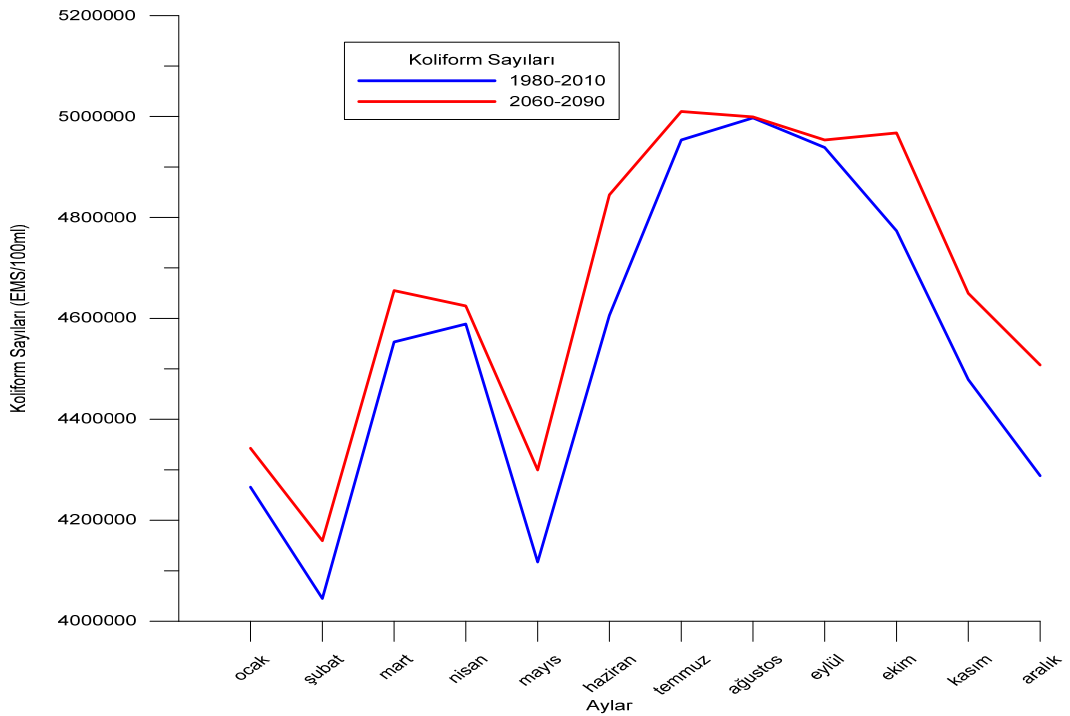


Şekil 7.37. H3B2 senaryosuna göre klorür derişimleri ortalaması

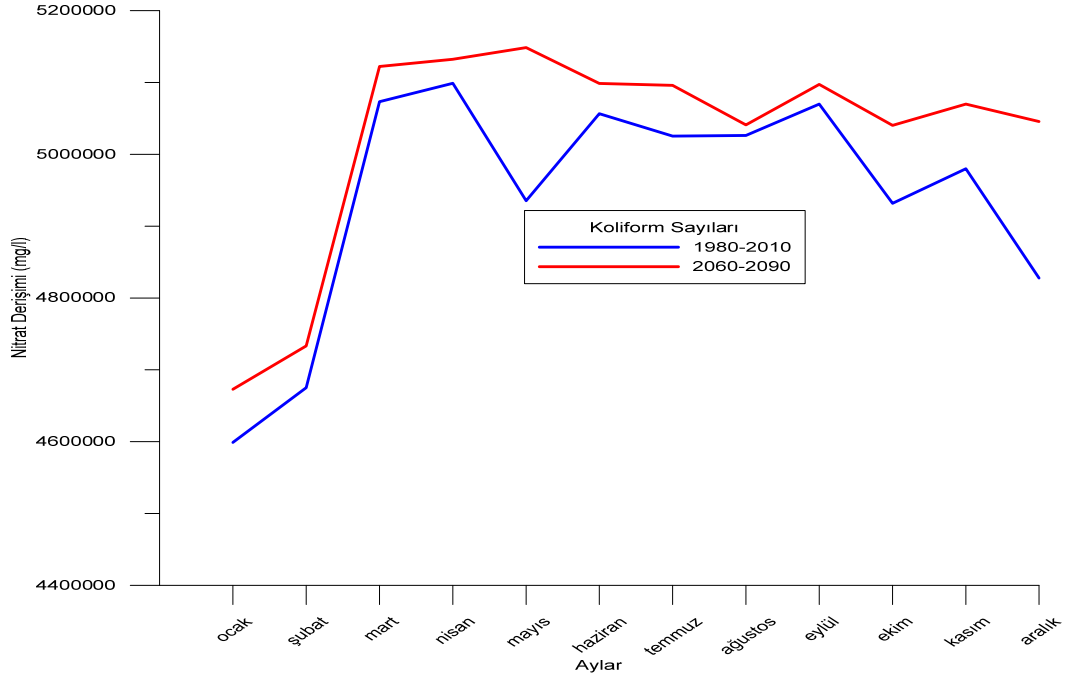
Koliform sayıları incelendiğinde genel bir artış görülmektedir.



Şekil 7.38. C3A1 senaryosuna göre koliform sayıları ortalaması

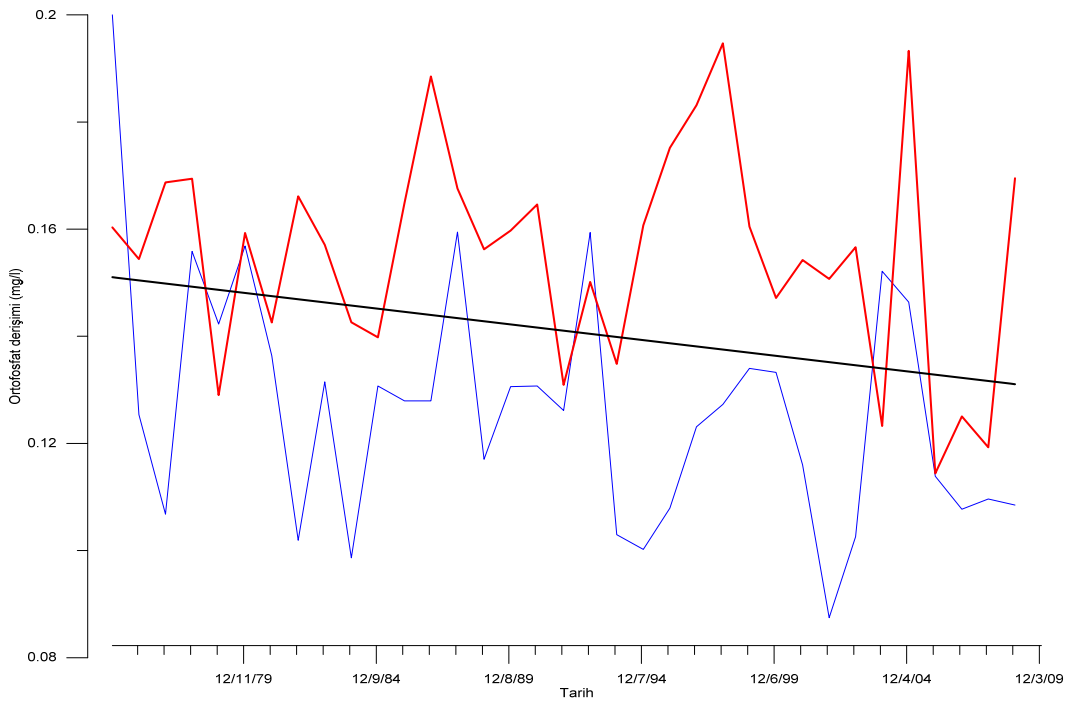


Şekil 7.39. C3A2 senaryosuna göre koliform sayıları ortalaması

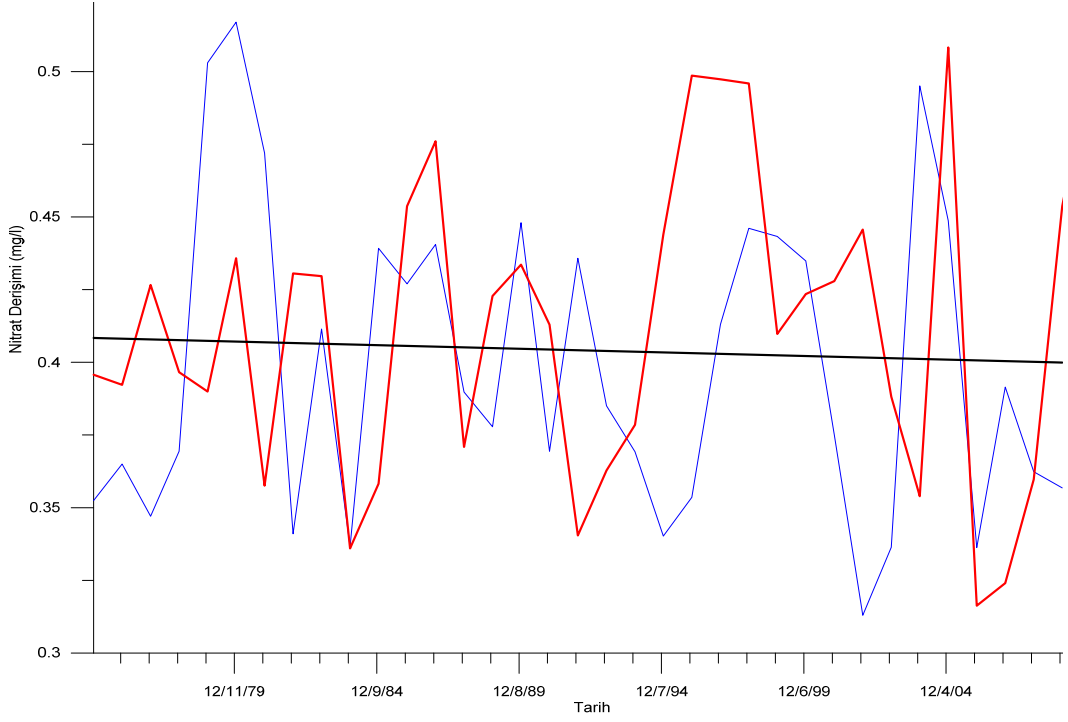


Şekil 7.40. H3B2 senaryosuna göre koliform sayıları ortalaması

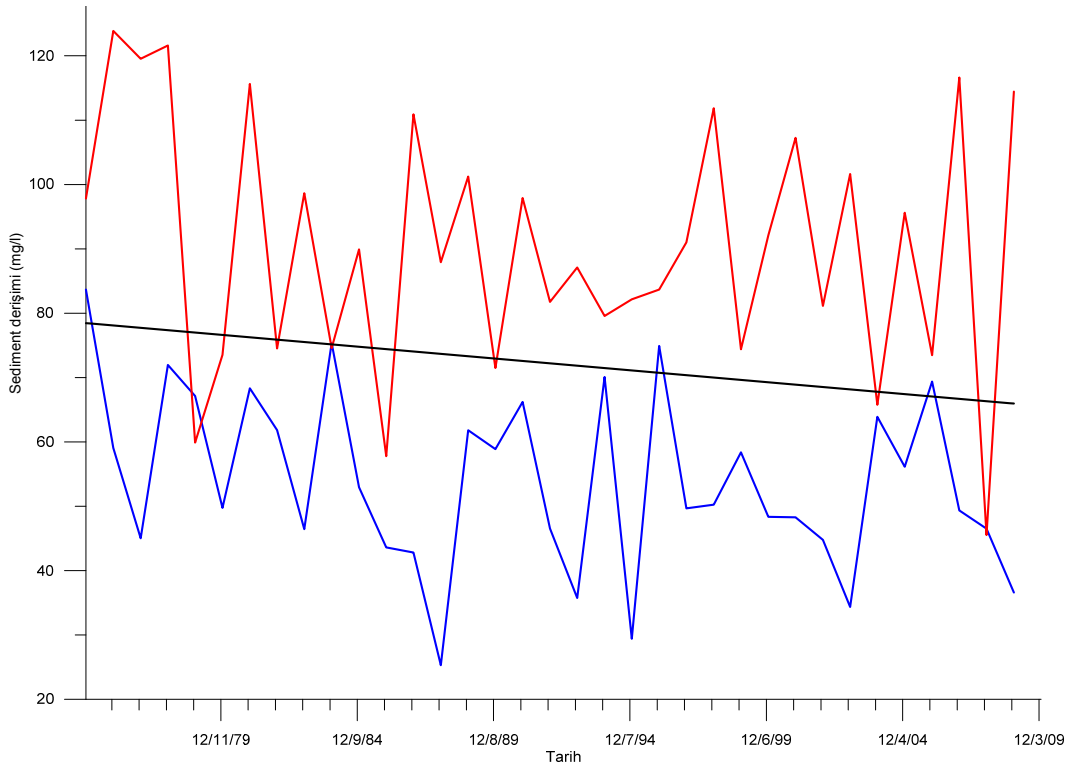
1975-2009 parametre gözlem sonuçlarının senaryo benzerliğiyle ilgili yapılan çalışma sonucu, C3A2 senaryosuna en yakın olduğu belirlenmiştir. Şekil 7.41, 7.42, 7.43 ve 7.44.'te bu durum incelenmiştir.



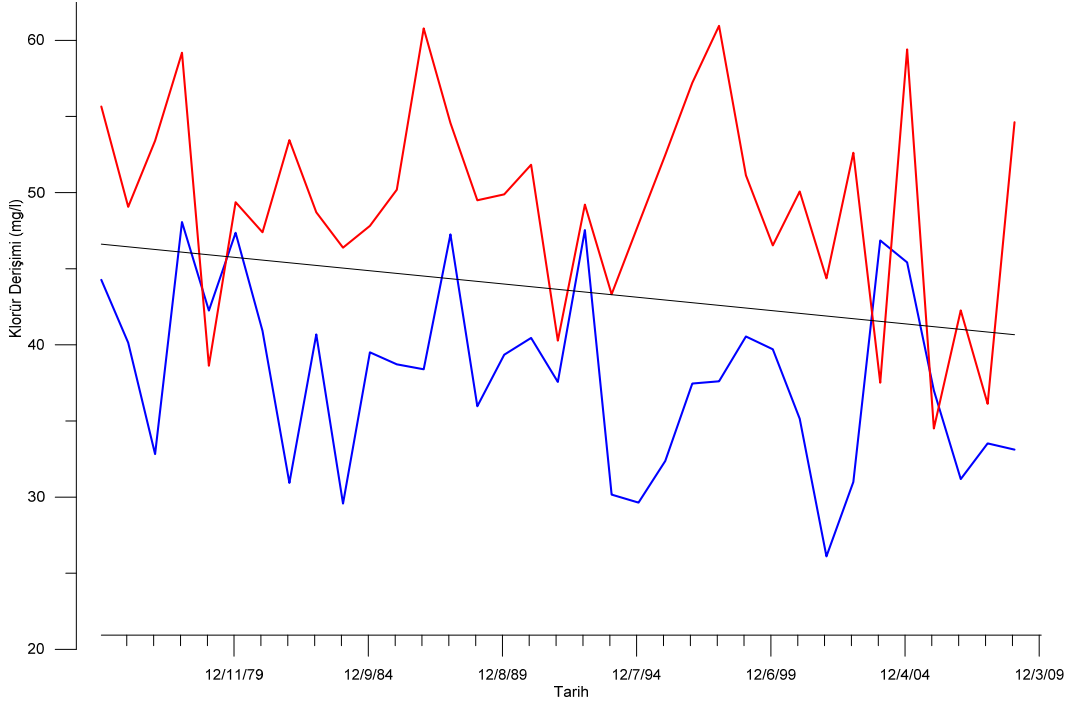
Şekil 7.41. Ortofosfat derişiminin C3A2 senaryosu ve gözlem sonuçları



Şekil 7.42. Nitrat derişiminin C3A2 senaryosu ve gözlem sonuçları



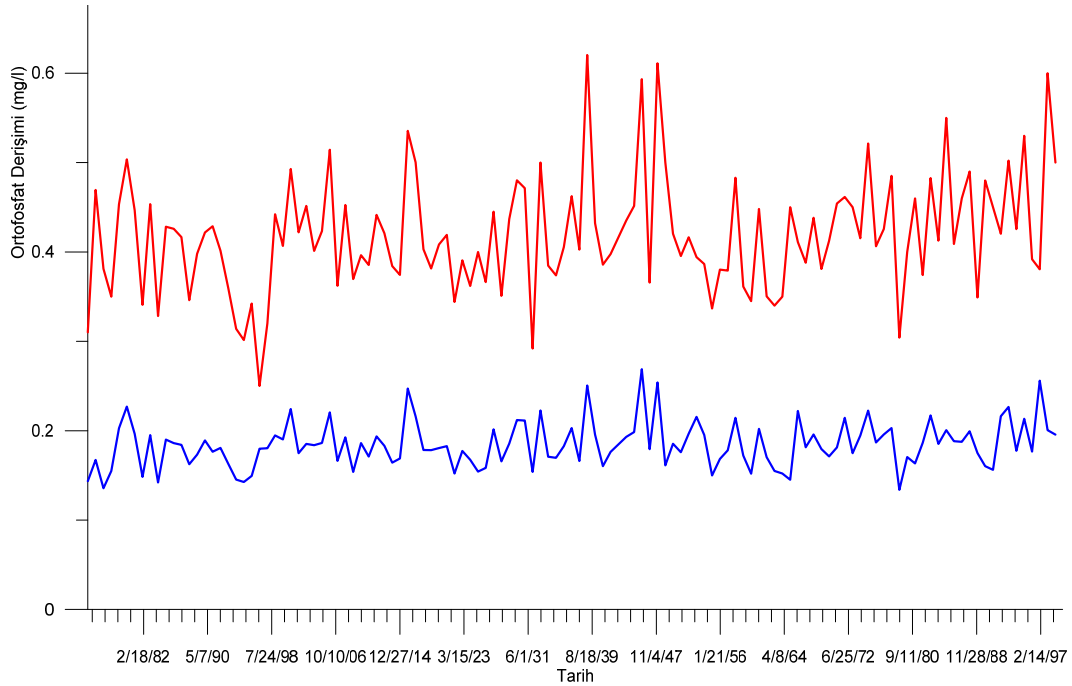
Şekil 7.43. Sediment derişiminin C3A2 senaryosu ve gözlem sonuçları



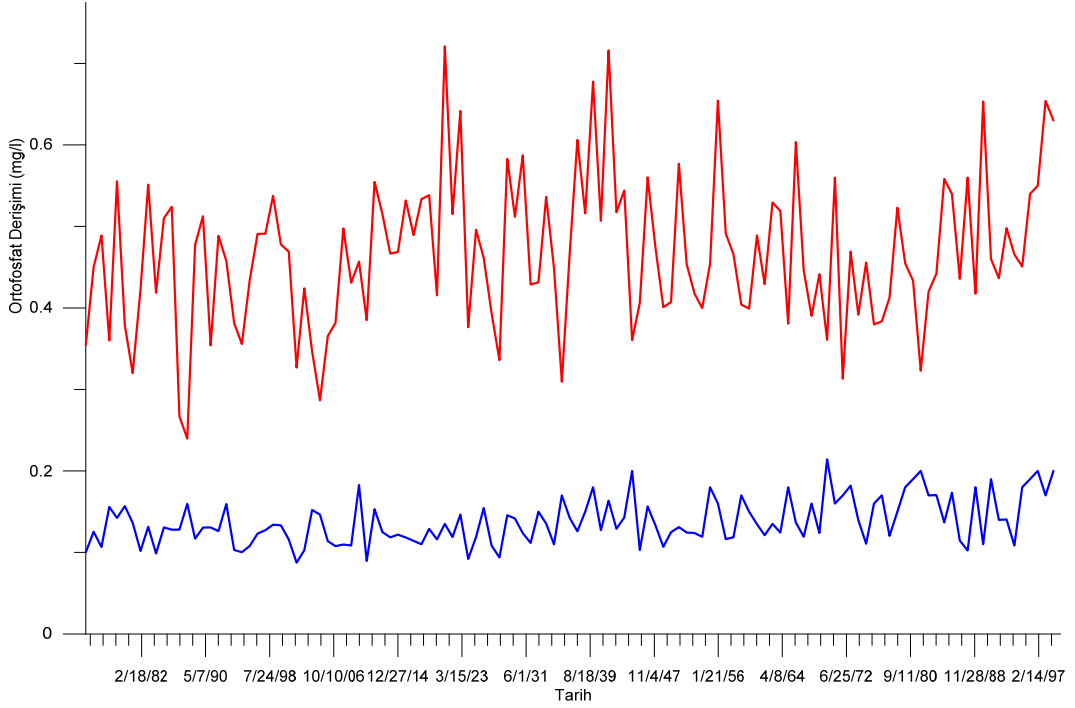
Şekil 7.44.Klorür derişiminin C3A2 senaryosu ve gözlem sonuçları

7.4. İklim Senaryolarına Göre Kirlilik Parametrelerinin Maksimum ve Minimum Değerleri

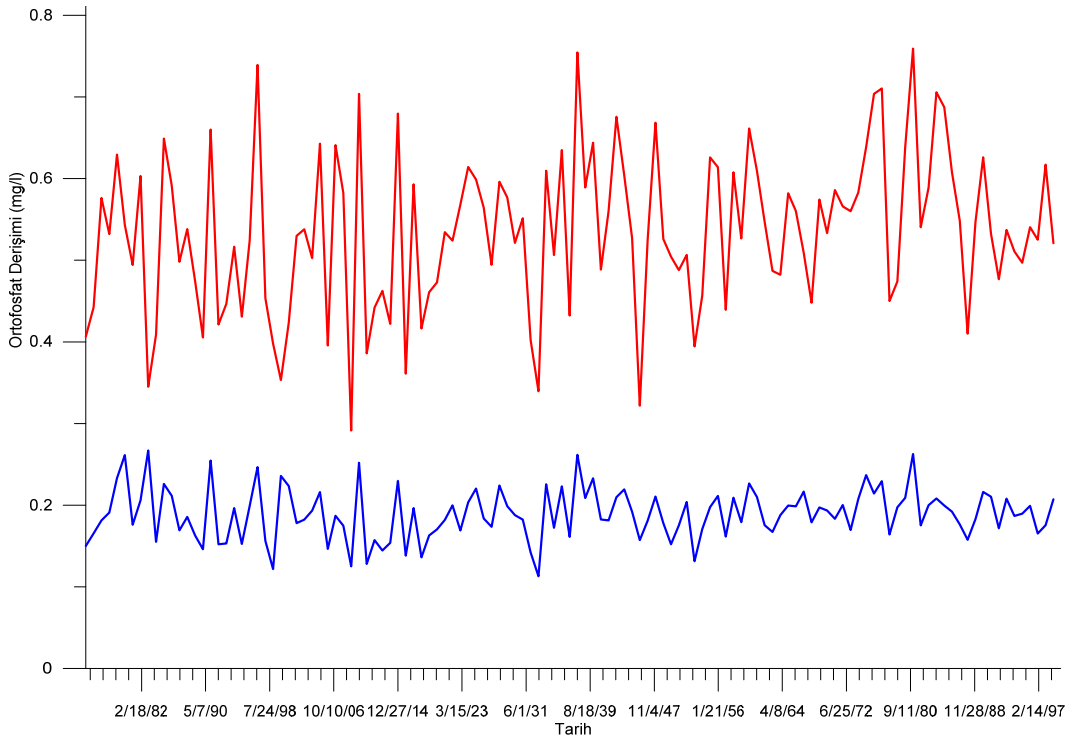
İklim senaryolarına göre parametreler değiştirildiğinde ve geçirimsiz havzaya maksimum kirlilik yükleri gönderildiğinde ortofosfat derişimindeki değişim Şekil 7.45., 7.46. ve 7.47.'de gösterilmiştir. Buna göre kirlenmiş sularda maksimum ortofosfat derişimi 0.6mg/l' dir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre toplam fosfor derişimi 0.65mg/l' den fazla olan sular IV. kalite su yani çok kirlenmiş su sınıfına girmektedir. Ayrıca literatür incelendiğinde şehirs el havzalardan gelen yüzeysel sularda maksimum ortofosfat derişimi 2mg/l'yi bulmaktadır.



Şekil 7.45. C3A1B senaryosuna göre max ve min ortofosfat derişimleri



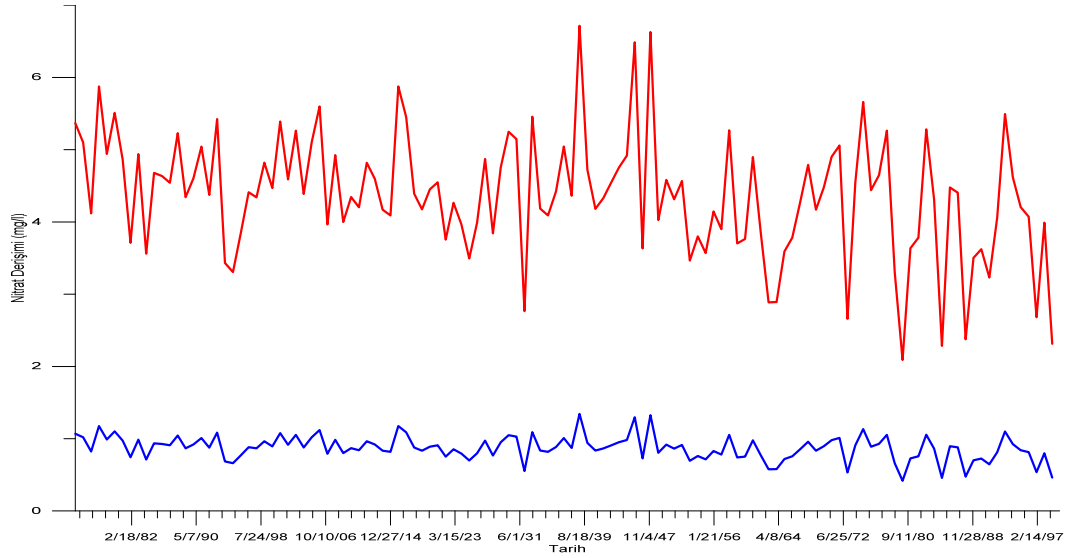
Şekil 7.46. C3A2 senaryosuna göre max ve min ortofosfat derişimleri



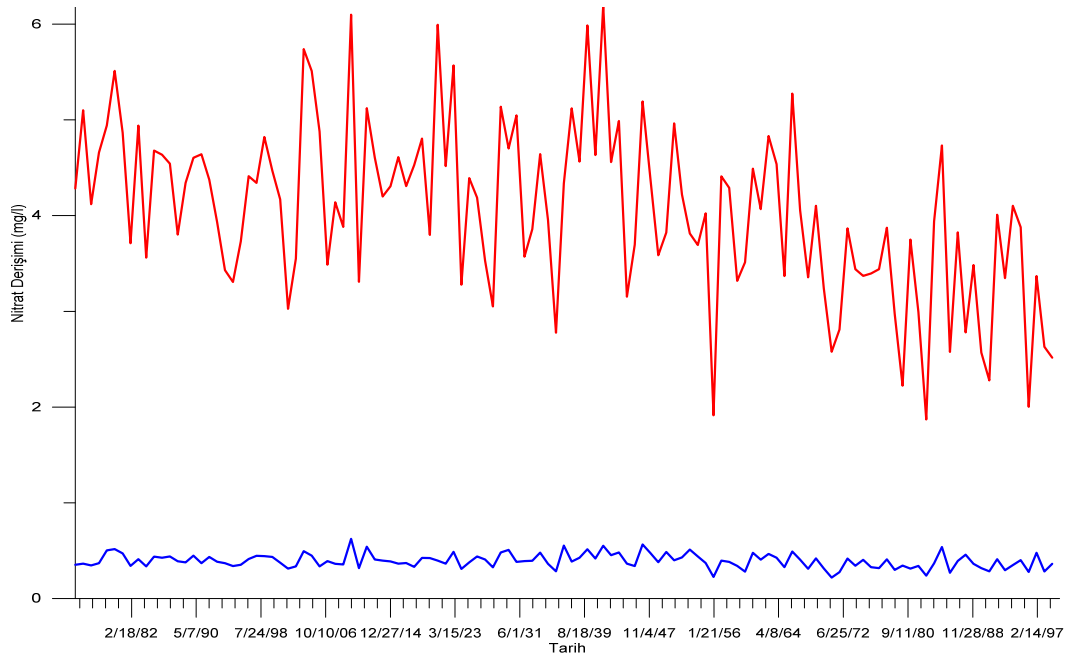
Şekil 7.47. H3B2 senaryosuna göre max ve min ortofosfat derişimleri

Model sonuçları incelendiğinde nitrat derişimleri genel olarak düşmektedir. Bunun sebebi olarak nitrifikasyon-denitrifikasyon süreci ve

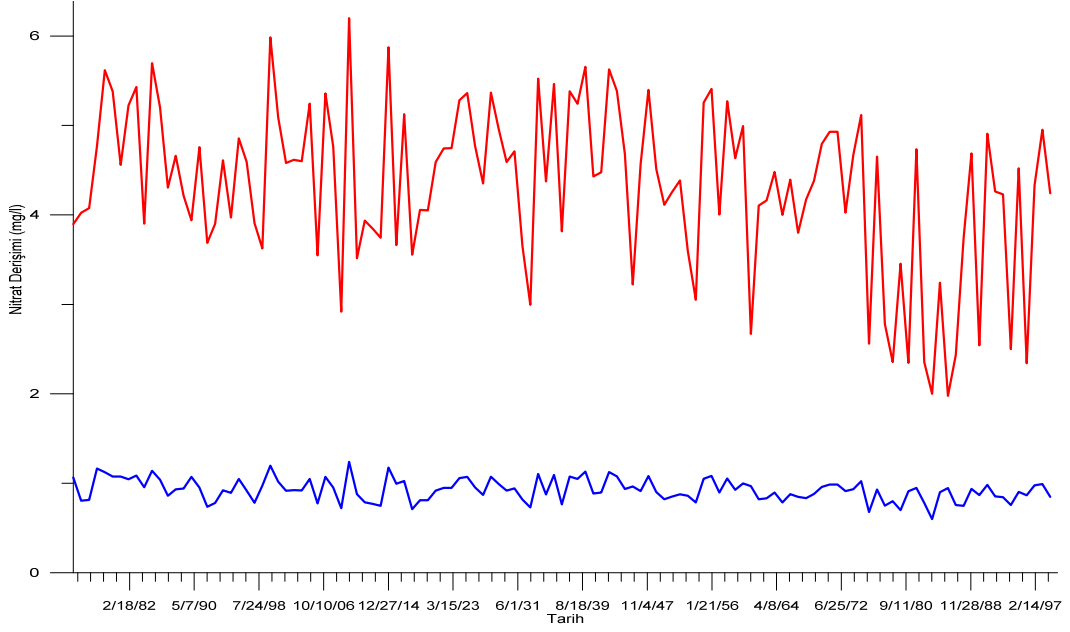
çözünmüş oksijenin düşüşü gösterilmektedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre 20mg/l'den fazla nitrat derişimi olan sular IV. kalite su sınıfına girmektedir fakat bu değer yüzeysel sular için çok yüksektir. Genel olarak şehirselle bir havzadan gelen yüzeysel sularda maksimum nitrat derişimi 5-8mg/l civarındadır. Şekil 7.48., 7.49. ve 7.50.'de görüldüğü üzere iklim senaryolarının model sonuçları maksimum 7mg/l nitrat derişimi tahmin etmektedir.



Şekil 7.48.C3A1B senaryosuna göre max ve min nitrat derişimleri

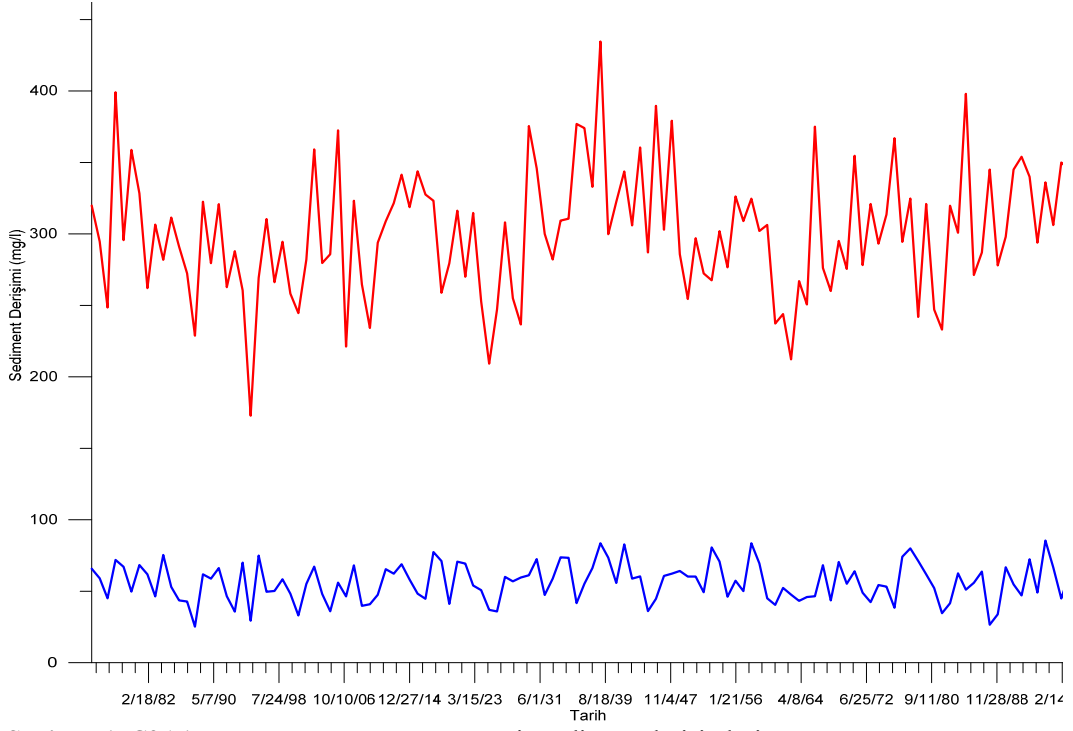


Şekil 7.49. C3A2 senaryosuna göre max ve min nitrat derişimleri

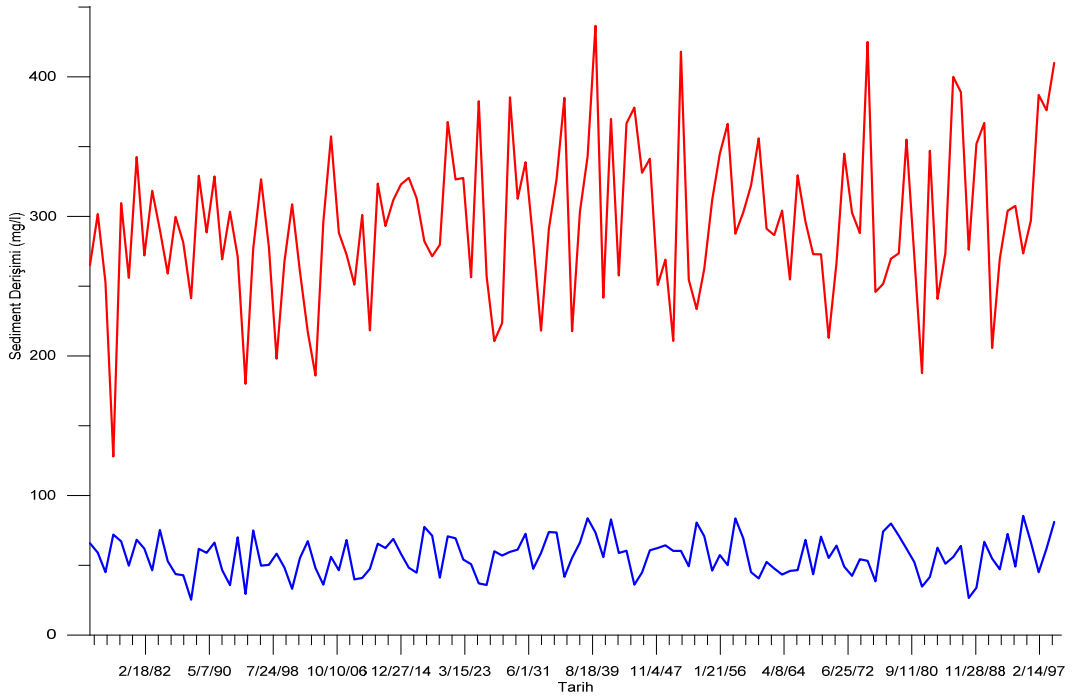


Şekil 7.50. H3B2 senaryosuna göre max ve min nitrat derişimleri

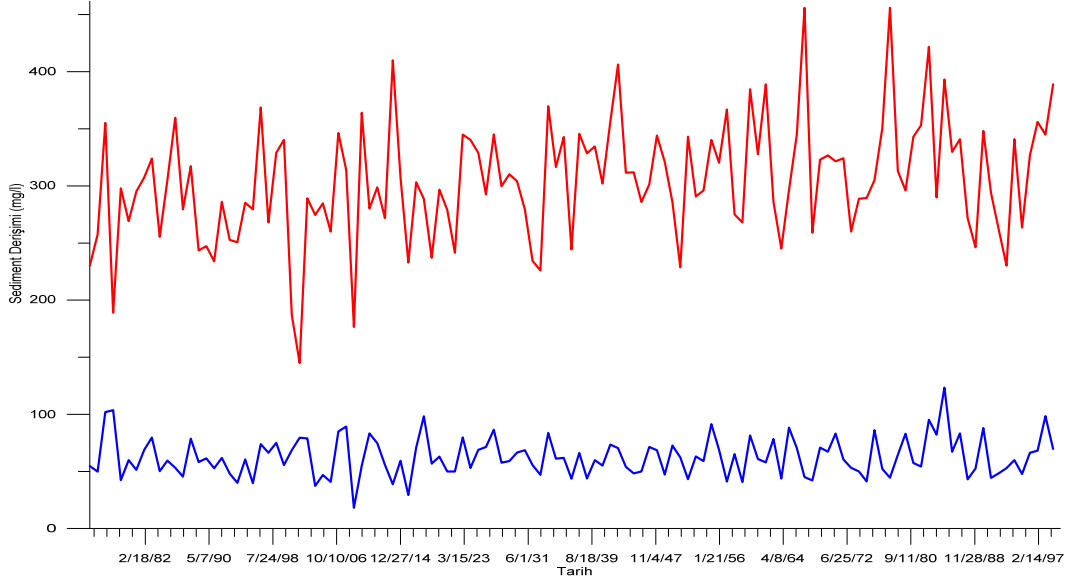
Sediment derişimi sonuçlarına bakıldığında, derişimin genelinde bir miktar artış gözlenmektedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre toplam katı madde değeri 5000mg/l'den fazla olan sular çok kirlenmiş su sınıfına girmektedir. Lager ve Smith (1974)'in yaptıkları çalışmalara göre, yüzeysel sulardaki askıda katı madde miktarı 200-500mg/l arasındadır. Şekil 7.51., 7.52. ve 7.53.'de sonuçlarda görüldüğü gibi maksimum sediment derişimi 450mg/l'yi geçmemektedir.



Şekil 7.51. C3A1B senaryosuna göre max ve min sediment derişimleri

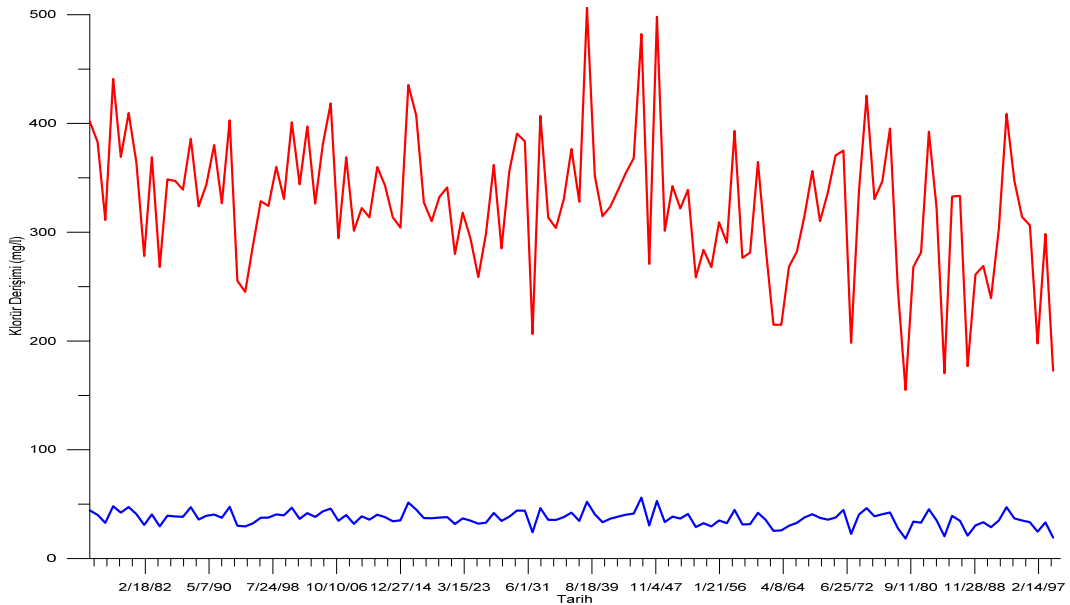


Şekil 7.52. C3A2 senaryosuna göre max ve min sediment derişimleri

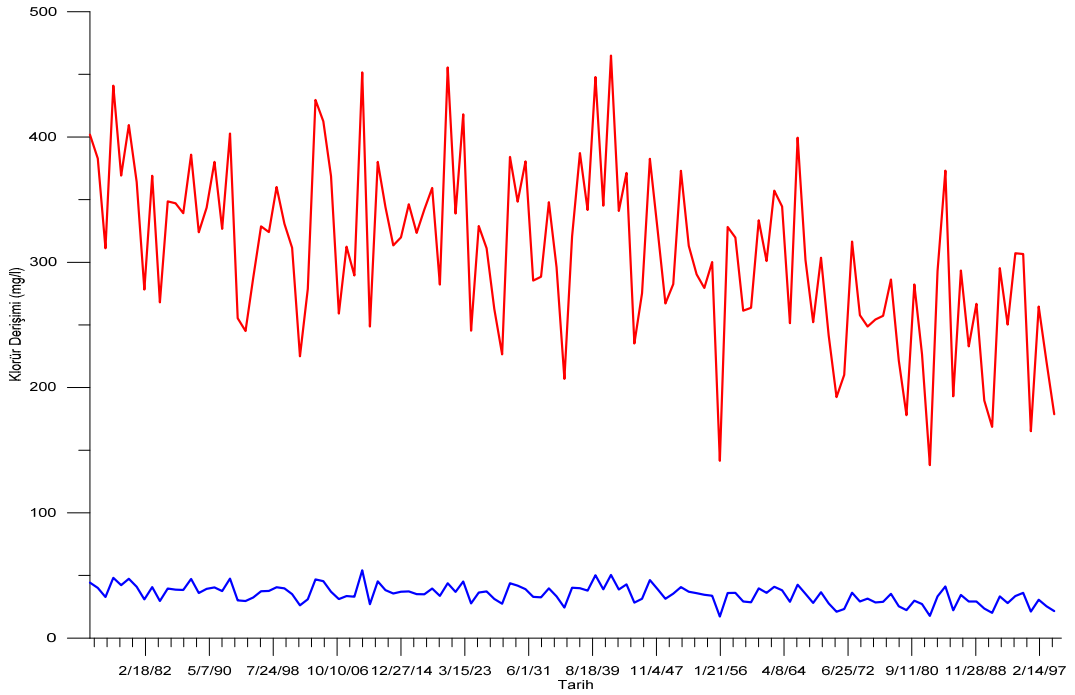


Şekil 7.53. H3B2 senaryosuna göre max ve min sediment derişimleri

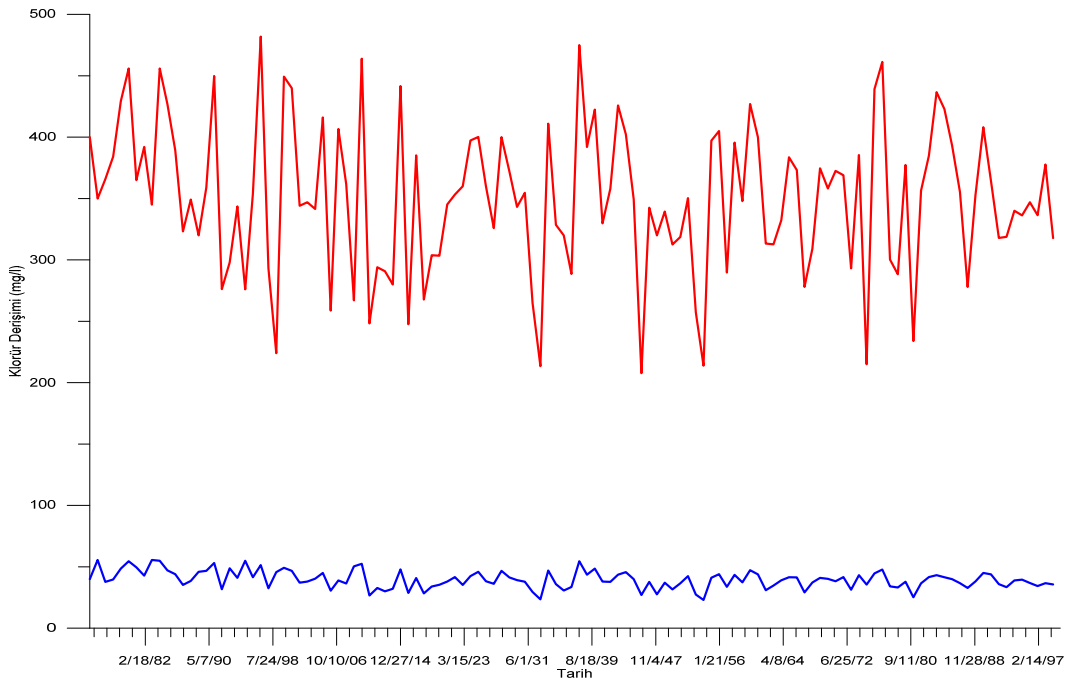
Klorür derişimleri incelendiğinde şehirsul havzaya klorürle ilgili bir yük verilmediğinde derişimlerde düşüş görülmektedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre klorür derişimi 400mg/l'den fazla olan sular çok kirlenmiş su sınıfına girmektedir. Klorür değerlerine bakıldığında yüzeysel sularda maksimum klorür derişimi miktarı 300-500mg/l arasında değişmektedir. Şekil 7.54., 7.55. ve 7.56.'deki sonuçlar incelendiğinde klorür derişimi 500mg/l'nin üzerine çıkmamaktadır.



Şekil 7.54. C3A1B senaryosuna göre max ve min klorür derişimleri



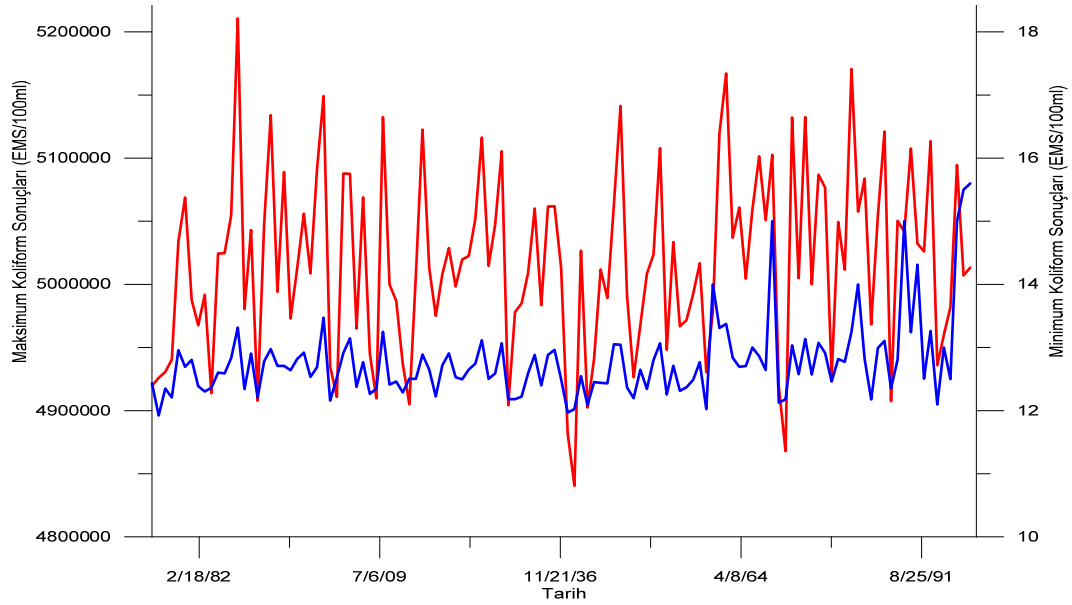
Şekil 7.55. C3A2 senaryosuna göre max ve min klorür derişimleri



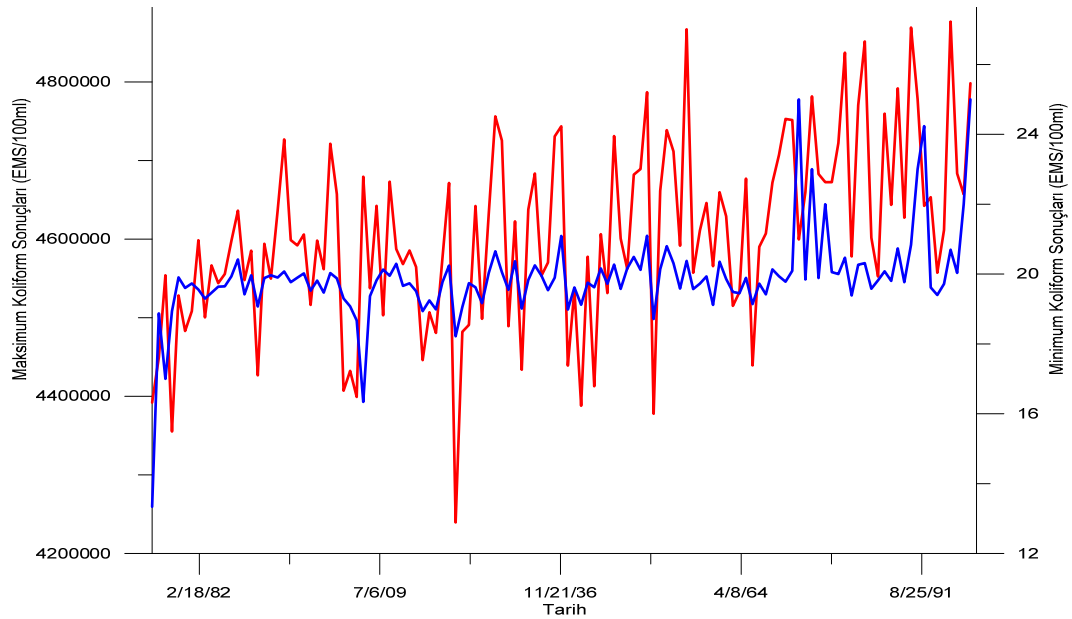
Şekil 7.56. H3B2 senaryosuna göre max ve min klorür derişimleri

Sonuçlar incelendiğinde toplam koliform değerlerinde de bir artış gözlemlenmektedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre toplam koliform

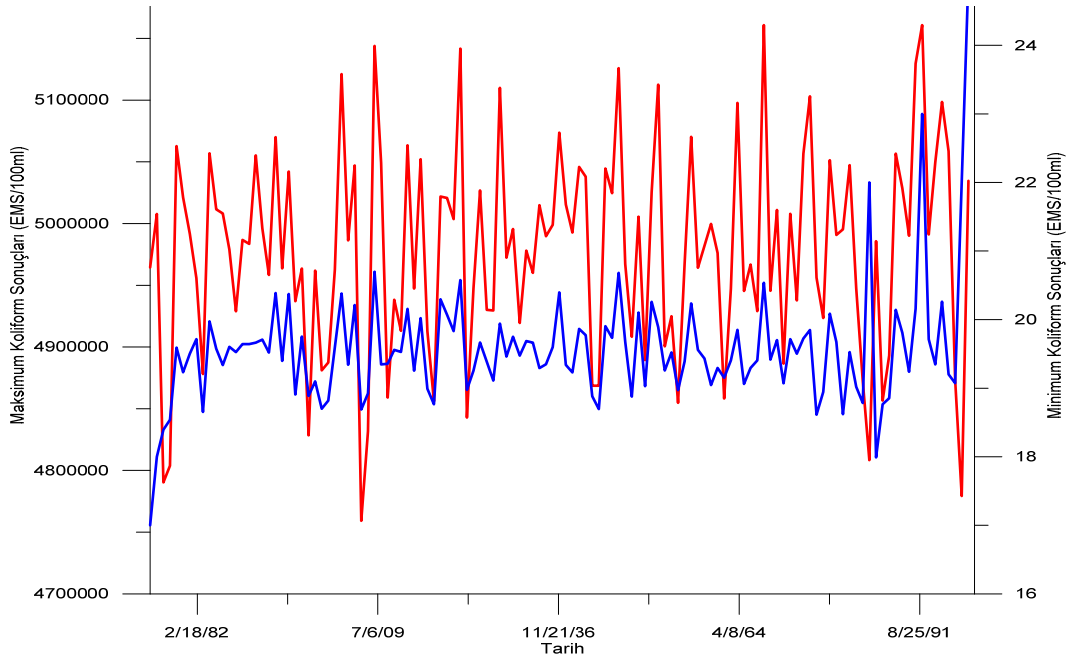
değeri 100000mg/l'den fazla olan sular çok kirlenmiş su sınıfına girmektedir. Literatür incelendiğinde, şehirsal havzalardan gelen yüzeysel sularda toplam koliform değeri $10-10^9$ EMS/100ml arasında değişmektedir. Şekil 7.57., 7.58. ve 7.59.'taki model sonuçlarına göre, maksimum koliform değeri 5000000 EMS/100ml iken, minimum koliform değeri yaklaşık 20 EMS/100ml bulunmuştur.



Şekil 7.57. C3A1B senaryosuna göre max ve min koliform sayıları



Şekil 7.58. C3A2 senaryosuna göre max ve min koliform sayıları



Şekil 7.59. H3B2 senaryosuna göre max ve min koliform sayıları

8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sakarya nehrinin en büyük kolu olan Porsuk çayından temin edilen su, Kütahya ve Eskişehir'in kullanma suyu ihtiyacını karşıladığı gibi, hem alıcı ortam olarak, hem de tarım arazilerinin sulanması için kullanılması Porsuk çayının bölge için önemini ortaya koymaktadır. Bu nedenle gerçekleştirilen yüksek lisans tezi kapsamında Eskişehir kent merkezinden Aşağı Porsuk Çayı havzasına katılan sudaki kirlilik parametreleri modellenmiş ve iklim değişikliğinin etkileri iklim senaryolarına göre belirlenmiştir. Bu yöndeki çalışmalar, dünyanın farklı yerlerinde çeşitli modeller kullanılarak yaygın bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Çalışmaların sağlıklı yürüyebilmesi için havzaların özelliklerini yansıtan parametrelerin doğru bir şekilde belirlenebilmesi önem arz etmektedir. Maalesef ülkemizde, modellere uygun verilerin ölçülmemesi, bilgiye ulaşmanın zorluğu, bu tarz çalışmaların sınırlı sayıda kalmasının en büyük nedenlerindedir.

Ülkemizde toplanan su kalitesi verileri son derece yetersizdir. Farklı kurumlarda, farklı verilerin dağınık bir yapıda olması, bilgiye ulaşmak isteyen açısından zaman alıcı ve yorucu bir süreci doğurmaktadır. Modellerin ihtiyaç duyduğu havzalara ait bilgiler veritabanlarında toplanmalıdır. Aynı zamanda veri kalite kontrol süreçlerinin iyileştirilmesi ve eksik verilerin istatistiksel olarak tamamlanması gerekmektedir.

Bu tez çalışması ile Eskişehir'in içinde bulunduğu geçirimsiz havzanın hidrolojik modeli kurulmuş ve temel kirletici bileşenler açısından modelleme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Aşağı Porsuk Çayı havzasına az da olsa etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın şehirde değişen koşullar karşısında havzanın vereceği tepkinin ortaya konması açısından önemli olduğu ve gelecekte Aşağı Porsuk Çayı havzası üzerinde gerçekleştirilecek çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alley,.W.M. (2001), *Groundwater and Climate*, The MIT Press, Cambridge.
- Anonim-1: *HSPF help file*, EPA/600/R-97/080, PB97-193114 (1997)
- Anonim-2 (2007), *Eskişehir il çevre durum raporu*, Eskişehir İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Eskişehir.
- Arnell, N.W. (2003),”Effects of IPCC SRES emissions scenarios on river runoff: a global perspective,*Hydrology and Earth System Sciences*, **7**, 619-641.
- Albek, M. (2001), *Seydi suyu havzasında yaygın kaynak kirliliğinin sediment bazında modellenmesi*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Beniston, M. ve Diaz, H.F. (2004), “The 2003 heat wave as an example of summers in green house climate. Observations and climate model simulations for Baseli Switzerland”, *Global and Planetary Change*, **44**, 73-81.
- Boorman, D. (2003), “LOIS in-stream water quality modelling. Part 2: Results and scenarios”, *The Science of the Total Environment*, 314-316.
- Chen, Z., Grasby, S. Ve Osadetz, K. (2004), Relation between climate variability and groundwater levels in upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada, *Journal of Hydrology*, 290, 43-62.
- Chen, C.W., Asce, F., Herr, J.W., Goldstein, R.A., Ice, G., Cundy, T. (2005), “Resrospective comparison of watershed analysis risk management faremework and hydrologic simulation program Fortran applications to Mica Creek Watershed”, *Journal of Environmental Engineering*, **131**, 1277-1283.
- Dimento, J. ve Doughman, P. (2007), *Climate Change*, The MIT Press, Cambridge.
- Donigian, A.S. ve Crawford, N.H. (1976), *Modelling Nonpoint Pollution from the Land Surface*, Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia, EPA/600/3-76-083.

- Ellis, J. B. (1986), *Pollutional Aspects of urban runoff*, in *Urban Runoff Pollution*, Springer-Verlag, New York, 1-38.
- Francou, B., Cuodrain, A. (2005), “Glacier shrinkage in the Andes and consequence for water sources”, *Journal of Hydrological Science*, **13**, 107-110.
- Goreau, T.J., Hayes, R.L. ve Mcallister, D. (1994), “Regional patterns of sea surface temperature rise: implications for global ocean circulation change and the future of coral reefs and fisheries”, *World Resource Review*, **17**, 350-375.
- Hardy, J. T. (2004), *Climate Change Causes, Effects and Solutions*, Wiley Pres, Washington.
- Hayashi, S., Murakami, S., Watanabe, M. ve Bao-Hua, X. (2004), “HSPF Simulation of runoff and sediment loads in the Upper Changjiang River Basin, China”, *Journal of Environmenta lEngineering*, **130**, 801-815.
- http-1:<http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/10028.pdf>
- http-2: http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/asres/sres_home.html, The IPCC Data Distribution Centre (2007).
- http-3: http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/asres/qualatative_SRES.html, The IPCC Data Distribution Centre (2007).
- Im, S., Brannan, K.M., Mostaghimi, S. ve Cho, J. (2004), “Simulating fecal coliform bacteria loading from an urbanizing watershed”, *Journal of Environmental Science and Health*, **39**, 663-679.
- Kirshen, P., McCluskey, M., Vogel, R. Ve Strzepek, K. (2005), “Global analysis of changes in water supply yields and costs under climate change: A case study in China”, *Climatic Change*, **68**, 303-330.
- Lager, J. A., Smith W.G. (1974), *Urban Stormwater Management an Tecnology: An Assessment*, EPA-670/2-74-040, Office of Research and Development, U.S.Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Leibendgut, H. (1975), *Wir und die Umwelt. Wirkungen des Waldes auf die Umwelt des Menschen*. E.Rentsch Verlag, Zürich und Stuttgart.
- Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T.P. ve Stephens, C. (2000), “Warming of the world ocean”, *Science* **287**, 2225-2229.

- Liu, Z., Kieffer, J.M., Kingery, W.L. ve Huddleston, D.H. (2007), “Watershed modeling of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand using a Hydrological Simulation Fortran program”, *Journal of Environmental Science and Health*, **42**, 2023-2032.
- Mishra, A., Kar, S. ve Singh, V.P. (2007), “Determination of runoff and Sediment yield from a small watershed in sub-humid subtropics using the HSPF model”, *Wiley InterScience*, **21**, 3035-3045.
- Mishra, A., Kar, S. ve Raghuwanshi, N.S. (2009), “Modeling nonpoint source pollutant losses from a small watershed using HSPF model”, *Journal of Environmental Engineering*, **135**, 92-100.
- Nearing, M.A. (2001), “Potential changes in rainfall erosivity in the United States with Climate Change during the 21st Century”, *Wiley InterScience*, **25**, 303-310.
- Novotny, V., ve Chesters, G. (1981), *Handbook of Nonpoint Pollution: Sources and Management*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Novotny, V. (2003), *Water Quality Diffuse Pollution and Watershed Management*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Orlando, A.A. ve Uchrin, C.G. (2007), “Modeling the hydrology and water quality using BASINS/HSPF for the upper Maurice River watershed New Jersey”, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, **42**, 289-303.
- Öztürk, K. (2002), “Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye’ye Olası Etkileri”, G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt. 22, Sayı 1, 47-65.
- Ramirez, E., Francou, B., Ribstein, P., Desloîtres, M., Guerin, R., Mendoze, J., Gallaire, R., Pouyaud, B., Jordan, E. (2001), “Small glaciers disappearing in the tropical Andes: a case study in Bolivia: Glaciar Chacaltaya”, **47**, 187-194.
- Renard, K.G., Freidmund, J.R. (1994), “Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE”, *Journal of Hydrology*, **157**, 287-306.
- Shiklomanov, I.A. (2003), Climate change and Dynamics of freshwater inflow to the Arctic Ocean, *Vodnye Resursy*, **30**, 645-654.

- Şen, Z. (2008), *İklim Değişikliği Yerel Yönetimler ve Sektörler*, Bayrak Yayıncılık, İstanbul.
- Şen, Z. (2009), *İklim Değişikliği Tatlı Su Kaynakları Ve Türkiye*, Bayrak Yayıncılık, İstanbul.
- Wang, W.Z., Jiao; J.Y. (1996), “Rainfall and erosion sediment yield in the Loess Plateau and sediment transportation in the Yellow River basin”, *Science Press*, Beijing, 132-134.
- Zhang, G.H., Nearing, M.A., Liu, B.Y. (2005), “Potential effects of climate change on rainfall erosivity in the Yellow River basin of China”, *Journal of Hydrology*, **145**, 287-300.
- Zhang, J., Said, A. Ve Ross, M. (2010), “Approach using active groundwater storage for hydrologic model calibration in West-Central Florida”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **136**, 58-62.