

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PORSUK BARAJINDA SU KALİTESİNİN
MATEMATİK MODELLE İNCELENMESİ

Meltem KOÇAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSİLİĞİ
ANA BİLİM DALI

GEBZE
2006

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PORSUK BARAJINDA SU KALİTESİNİN
MATEMATİK MODELLE İNCELENMESİ

Meltem KOÇAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSİLİĞİ
ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU

GEBZE
2006

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: Porsuk Barajında Su Kalitesinin Matematik Modelle İncelenmesi

YAZAR ADI : Meltem KOÇAL

Bu çalışmanın amacı Porsuk Barajı su kalitesinin özellikle ötrofikasyon açısından incelenmesidir. Bu amaçla, Besi Maddesi modeli kullanılmıştır. Barajda su kalitesini etkileyen kirleticiler, yayılı ve noktasal olmak üzere iki farklı kaynaktan gelmektedir. Modelden elde edilen sonuçların güvenilir olabilmesi için kirletici girdilerinin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Noktasal kaynaklar ölçülebildiği halde yayılı kaynaklardan gelen kirleticilerin ölçülebilmesi mümkün değildir. Bilindiği gibi yayılı yüklerin taşınması genellikle yağış suları ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle yayılı kaynaklardan gelebilecek yüklerin hesaplanmasında bir su bütçesi modeli olan GROWA alt modeli kullanıldı.

GROWA Modelinin giriş verilerinin hazırlanması aşamasında bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan Arc View® yazılımı kullanıldı. Verilerin hazırlanması aşamasının ardından model çalıştırıldı. Sonuçlar, havzanın evaporasyon, yüzeysel akış, ve yeraltı suyu beslemesi haritaları olarak elde edildi. Son olarak sonuçlar arazi kullanım verileri ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirildi.

İkinci bölümde ise daha önce de benzer baraj göllerinin modelleme çalışmalarında da kullanılan Besi Maddesi modeli kullanıldı. Modelde kullanılan reaksiyon sabitleri değiştirilerek model için en uygun reaksiyon sabiti değeri araştırıldı. Daha sonra gölün hacim değerleri değiştirilerek, hacim değişikliğinin model sonuçlarına etkisi incelendi. Son olarak, elde edilen sonuçların bir değerlendirilmesi yapıldı.

SUMMARY

**TITLE OF THE THESIS: Investigation of Water Quality in Porsuk Dam Lake
Using a Mathematical Model**

AUTHOR: Meltem KOÇAL

This study aims to analyze the water quality of the Porsuk Dam Lake in terms of eutrophication. For this purpose, Nutrient Model was used. Pollutants influence the water quality of the dam lake originate from point and non point sources. To derive reasonable results from a model, pollutantans come into a water resource must be defined correctly. As pollutants from point sources can be measured, non point inputs of pollutants can not be measured. It is well known that non point pollutants are transported by runoff. For this reason, GROWA model, which is a water balance model, was used.

Preparation of the input data of GROWA model was performed by using a GIS software Arc View 3.2®. After preparation of the data the model was run. The results of the model were produced as the maps of evaporation, total runoff and groundwater recharge. After this, results were discussed comparing with land use data of the basin.

In the secand part of te study, Nutrient Model which has been used for modelling of the similar dam lakes was applied. The best reaction coefficients for the model are investigated by changing the value of the coefficients. After this, effects of value of volume on the model was determined. Finally, the results were discussed.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım ve yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, tez yöneticisi hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU'ya en içten duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bölümümüz öğretim görevlilerinden Sayın Prof Dr. Anatoly DİMOGLU'ya çalışmalarım sırasındaki katkıları nedeniyle en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin yazma aşamasında yardımlarından dolayı değerli arkadaşım Mustafa H. ÇELEN'e ayırdığı vakit için teşekkür ederim.

Tüm eğitim yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen annem Kamuran KOÇAL ve babam Taşkın KOÇAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GÖLLER VE GÖL KİRLİLİĞİ	2
2.1 Göllerin Sınıflandırılması	2
2.2 Rezervuarların Sınıflandırılması	3
2.3 Göllerin Trofik Seviyelerine Göre Sınıflandırılması	4
3. ÖTROFİKASYON VE ÖNEMİ	6
3.1 Genel	6
3.2 Besi Maddesi Kaynakları	8
3.3 Besi Maddesi Oranları ve Sınırlayıcı Kavramı	10
4. GÖL KALİTE MODELERİ	13
4.1 Modellerin Gereği	13
4.2 Modelin Kurulması	14
4.3 Modelin Kalibrasyonu	14
4.4 Modelin Verifikasyonu	14
4.5 Modelin Uygulanması İçin Gerekli Veriler	15
5. YAYILI KİRLLETİCİ KAYNAKLARIN MODELLENMESİ	16
5.1 Yayılı Kirletici Kaynakların Sınıflandırılması	16
5.1.1 Kırsal Alanlardan Gelen Yayılı Kaynaklar	17
5.2 Rezervuar Havza İlişkisi	17
5.3 Yayılı Kirletici Kaynaklar İçin Geliştirilen Modeller	18

5.3.1 GROWA Modeli	20
5.3.1.1 Derin Su Tablasına Sahip Düz ve Açık Alanlar	20
5.3.1.2 Yüksek Engebeli Araziler	22
5.3.1.3 Yeraltı Suyunun Etkilediği Alanlar	23
5.3.1.4 Yerleşim Alanları	24
5.3.1.5 Yeraltı suyu Beslenmesi	26
6. MODELLERİN PORSUK BARAJ GÖLÜNE UYGULANMASI	27
6.1 Porsuk Baraj Havzası	27
6.1.1 Nüfus Yapısı	28
6.1.2 Kirletici Kaynaklar	29
6.1.2.1 Endüstriyel Faaliyetler	29
6.1.2.2 Tarımsal faaliyetler	32
6.1.3 Baraj Gölünün Özellikleri	33
6.2. GROWA Modelinin Uygulanması	34
6.2.1 Verilerin Hazırlanması	34
6.2.1.1 İklim	36
6.2.1.2 Toprak	38
6.2.1.3 Arazi Kullanımı	39
6.2.1.4 Topoğrafya	41
6.2.1.5 Jeoloji	44
6.2.2 Model Sonuçları ve Değerlendirme	45
6.3 Besi Maddesi Modelinin Uygulanması	49
6.3.1 Tam Karışım Hal İçin Matematik İfadeler	52
6.3.2 Modelin Giriş Verilerinin Hazırlanması	55
6.3.3 Katsayıların Belirlenmesi	56
6.3.4 Geliştirilen Senaryolar	62
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	69
EKLER	70

SİMGELER-KISALTMALAR DİZİNİ

BN	Bağlı organik azot
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
BP	Bağlı organik fosfor
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇOP	Çözünmüş organik fosfor
ÇON	Çözünmüş organik azot
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
NO ₂ -N	Nitrit Azotu
NO ₃ -N	Nitrat Azotu
NH ₄	Amonyum
PO ₄	Fosfat
R ₁₂	NH ₄ -N'nun NO ₃ -N'e dönüşüm hızı
R ₁₃	NH ₄ -N'nun algler tarafından kullanılma hızı
R ₂₃	NO ₂ +NO ₃ -N'in algler tarafından kullanılma hızı
R ₃₄	Alglerin ayrışma hızı
R ₄₁	Çözünmüş organik azotun NH ₄ 'e dönüşüm hızı
R ₅₆	Reaktif fosforun algler tarafından kullanılma hızı
R ₆₇	Alglerin ayrışma hızı
R ₇₅	Çözünmüş organik fosforun inorganik fosfora dönüşme hızı
R ₁₁	NH ₄ -N'un toplam yok olma hızı
R ₂₂	NO ₂ +NO ₃ -N'nun toplam yok olma hızı
R ₃₃	Bağlı azotun toplam yokolma hızı
R ₄₄	Çözünmüş organik azotun toplam yok olma hızı
R ₅₅	İnorganik fosforun toplam yok olma hızı
R ₆₆	Bağlı fosforun toplam yok olma hızı
R ₇₇	Çözünmüş organik fosforun toplam yok olma hızı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Su ortamının normal ve ötrofikasyon nedeniyle bozulmuş besin Zincirleri	7
3.2 Besi elementlerinin başlıca bileşenleri	8
3.3 Bitki biyokütlesini kontrol eden minimum besin elementi prensibi	10
5.1 Eğim ve cepheye bağlı olarak Golf faktörü f_h değerleri	23
5.2 Yaprak döken ve kozalaklı ağaçların oluşturduğu ormanlar için, toprak çeşidi ve dönüşüm yaşına bağlı olarak uzun dönemli ortalama f parametresi	25
6.1 Sakarya havzası	28
6.2 Porsuk havzasında yer alan başlıca endüstriyel faaliyetler	30
6.3 Porsuk Baraj gölü.	33
6.4 Porsuk Barajı	33
6.5 Porsuk Barajı Havzası	35
6.6 Porsuk havzasında yer alan meteoroloji istasyonları	36
6.7 Porsuk havzası ortalama yağış haritası	37
6.8 Porsuk havzası toprak haritası	38
6.9 Porsuk havzasında arazi kullanım sınıflarının yüzdelik dağılımı	39
6.10 Porsuk havzası arazi kullanım haritası	40
6.11 Porsuk havzası dijital yükseklik haritası	41
6.12 Porsuk havzası eğim haritası	42
6.13 Porsuk havzası cephe haritası	43
6.14 Porsuk havzası jeoloji haritası	44
6.15 GROWA modeli çalışma prensibi	45
6.16 GROWA Modeline göre yıllık toplam akışa geçen yağış	46
6.17 GROWA Modeline göre yeraltı suyuna geçen yıllık toplam yağış.	47
6.18 GROWA Modeline göre yıllık toplam evapotranspirasyon	48
6.19 Nutrient modelinde besin maddesi çevrimi prensibi	50
6.20 Amonyum için, R kat sayılarına göre konsantrasyon değişimi	56
6.21 Nitrit-Nitrat için, R kat sayılarına göre konsantrasyon değişimi	56
6.22 Bağlı azot için, R kat sayılarına göre konsantrasyon değişimi	57
6.23 Fosfat için, R kat sayılarına göre konsantrasyon değişimi	57

6.24 Çözünmüş organik azot için , R kat sayılarına göre konsantrasyon değişimi	58
6.25 Bağlı fosfor için R kat sayılarına göre konsantrasyon değişimi	58
6.26: Çözünmüş organik fosfor için R kat sayılarına göre konsantrasyon değişimi	59
6.27 Amonyum için G çökelme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri	59
6.28 Nitrit-Nitrat için G çökelme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri	60
6.29. Partiküler azot için G çökelme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri	60
6.30 Çözünmüş organik azot için G çökelme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri	61
6.31 Fosfat için G çökelme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri	61
6.32 Bağlı fosfor için G çökelme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri	62
6.33 .Çözünmüş organik fosfor için G çökelme katsayılarına göre konsantrasyon Değişimleri	62
6.34 Hacim değerlerine göre amonyum azotu konsantrasyonunun değişimi	63
6.35 Hacim değerlerine göre nitrit-nitrat azotu konsantrasyonunun değişimi	63
6. 36 Hacim değerlerine göre bağlı azot konsantrasyonunun değişimi	64
6.37 Hacim değerlerine göre çözünmüş organik azot konsantrasyonunun değişimi	64
6.38 Hacim değerlerine göre fosfat konsantrasyonunun değişimi	65
6.39 Hacim değerlerine göre bağlır fosfor konsantrasyonu değişimi	65
6.40 Hacim değerlerine göre çözünmüş organik azot konsantrasyonu değişimi	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Trofik seviyelerine göre göller	4
3.1 Evsel atıksulardan gelen besi elementi yükleri	9
3.2 Yayılı kaynaklardan gelen besi elementi yükleri	9
3.3 Çeşitli su kaynaklarında sınırlandırıcı besi maddeleri	11
5.1 Kırsal bölgelerdeki başlıca yayılı kirletici kaynaklar	17
5.2 Yayılı kirletici kaynak modelleri	18
5.3 Bazı yayılı yük modellerinin karşılaştırılması	19
5.4. Renger & Wessolek (1996), Renger & Strebel (1980) ve Proksch (1990) tarafın geliştirilen metoda göre evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılan katsayılar	21
6.1 1990 ve 2000 yılı nüfus sayımları ve nüfus artış hızı	29
6.2 Porsuk baraj gölünün başlıca karakteristik özellikleri	34
6.3 Giriş verilerinin hazırlanma formatı	55

1. GİRİŞ

Günümüzde su kaynakları, elde edilmesi güç, pahalı ve kıt doğal kaynaklar durumundadır. Su kaynaklarının uluslararası paylaşımı su savaşlarına neden olabilecek duruma gelmiş bulunmaktadır. Gerçekte, bu sorunların nedeni su kaynaklarındaki azalma değil, hızlı nüfus artışı, kentleşme, endüstrileşme ve tüm bunların sonucu olarak su kaynaklarının kirletilmesidir. İnsan hayatı için en önemli ihtiyaçlarından biri olan su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması amacıyla geçmişten günümüze kadar olan süreçte pek çok araştırma yapılmış ve teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları da su kaynaklarında görülebilecek su kalitesi değişimleri hakkında bir fikir edinmemize yardımcı, karar vericiler için büyük öneme sahip olan su kalite modelleridir. Günümüzde bu amaçla kullanılabilecek bir çok model geliştirilmiştir.

Bu modellerin konusu olan alıcı su ortamlarının, hidrodinamik yapıları, besi maddesinin giderimindeki davranışları gibi özellikler uzun yıllar yapılan çalışmalarla aydınlatılmış durumdadır. Bu nedenle su ortamına giren besi elementleri ve diğer kirleticilerin tespit edilmesi durumunda bu kirletici parametrelerin nasıl bir davranış göstereceği konusundaki tahminler matematik modeller sayesinde oldukça kolaylaşmıştır.

Bu durumda alıcı ortamlara gelen kirletici yüklerin doğru tespit edilmesi konusu önem kazanmaktadır. Bilindiği gibi noktasal kaynaklardan gelen yükler etkili bir izleme yöntemiyle kolayca belirlenebilmektedir. Buna karşın, bir su ortamına yayılı olarak gelen yüklerin miktar ve türlerinin tespit edilmesi çok daha karmaşıktır. Çünkü bu tür kirletici yüklerin kaynakları, yayılma yolları ve kaynaktan alıcı ortama geçinceye kadarki süreçte geçirdikleri değişimler, çok çeşitlilik göstermekte ve birçok faktörden etkilenmektedir.

Bilindiği gibi yayılı yüklerin taşınımında en etkili faktör yağışlardır. Yağışlarla yer yüzüne inen suyun dağılımı yayılı yük modellerinde ele alınması zorunlu bir faktördür. Bu nedenle modelleme ve özellikle de yayılı yüklerin modellenmesi konulu bu tezde su bütçesinin hesaplanması ağırlıklı olarak ele alınmıştır.

2. GÖLLER VE GÖL KİRLİLİĞİ

Karalardaki çanak ve tekne gibi küçük alanlarda birikmiş sulara göl denir. Kara içerisinde ne kadar büyük olursa olsun, eğer denize bağlı değil ise bu yüzeysel sular göl olarak kabul edilir.

Göl biliminin öncülerinden Forel, 1890'lı yıllarda tüm durgun suları, göl olarak sınıflandırırken günümüzde göller 76 ayrı sınıfa ayrılmaktadır (U.S Army Corps of Engineers, 1987). Bu bölümde, göllerin oluşum ve su kalitesi özelliklerine göre sınıflandırılmasına yer verilmektedir.

2.1 Göllerin sınıflandırılması

Göller oluşumlarına göre tabii göller ve baraj gölleri olmak üzere başlıca iki gruba ayrılırlar.

1. Tabii Göller: Tabii Göller de oluşumlarına göre 5 sınıfa ayrılır;

- a) Tektonik göller: Yer hareketleri sırasındaki kırılmalar, kıvrılmalar ve epirojenik hareketler sonucu oluşur (Hazar gölü).
- b) Volkanik göller: Volkanik çanaklarda biriken suların oluşturduğu göllerdir. Bu göller sönmüş volkanların kraterlerinden oluşur.
- c) Karstik göller: Çözünabilir taşlardan oluşmuş çanaklarda biriken suların oluşturduğu göllerdir. Bu göller kireç taşı ve alçı taşının olduğu yerlerde görülür (Dalmaçya).
- d) Buzul ve sirk gölleri: Örtü buzulları ile dağ buzullarının oluşturduğu çanaklarda yer alan göllerdir.
- e) Karma yapılı göller: İç ya da dış gücün etkisiyle oluşan çanak şeklindeki yer yüzü şeklinin, bir başka gücün etkisiyle büyütülüp derinleştirilmesiyle oluşan göllerdir (Van gölü). Karma yapılı göllerin çoğu, bir çanağın önünün; dış ve iç güçler tarafından kapatılmasıyla oluşan set gölleridir. Karma yapılı göller 5 gruba ayrılır;

- 1) Tektonik-volkan set gölleri ; Bir çanağın, volkanlardan çıkan lav ve katı maddeler ile kaplanması sonucu oluşan göllerdir (Van gölü) .
- 2) Akarsu set gölleri; Akarsuların, taşıdıkları alüvyon ve tortulların bir çanağın önünü tıkaması sonucu oluşan göllerdir (Çamiçi gölü) .
- 3) Kıyı set gölleri; Dalga biriktirmesi ile oluşan kıyı okların veya kordonların kıyı önünü kapatmasıyla oluşan göllerdir (B.Çekmece gölü).
- 4) Heyelan set gölleri; Yer göçmelerinin ve kaymaların bir çanağın önünü kapatması ile oluşan göllerdir (Tortum, Abant vb.).
- 5) Buzul taş set gölleri; Buzul taşların bir çanağın önünü kapatması ile oluşan göllerdir.

2. Baraj gölleri-Rezervuarlar: İnsanların bir vadinin önüne set yaparak oluşturduğu gölleridir. Rezervuarlar bir yandan doğal göller olarak değerlendirilirken bir yandan da doğal göllerden birçok farklılıklar göstermektedirler. Örneğin, doğal göllerin en derin kısımları genellikle gölün orta kısımlarında olmakla birlikte herhangi bir noktada olabilir rezervuarlarda ise en derin kısım baraja yakın bölgededir ve taban kısmı baraj yönünde eğimlidir. Ayrıca, doğal göllerde göle giren ve gölden çıkan su yüzeye yakinken, rezervuarlarda su çıkışı baraj gölünün yüzeyden dibe kadar herhangi bir noktasından olabilmektedir. Rezervuarların bu farklı hidrodinamik koşulları, su kalitesindeki değişimi etkileyebilmektedir. Ekoloji açısından bakıldığında ise, rezervuarlar genellikle değişken üretim potansiyeline sahiptirler. Rezervuarın ilk yıllarında yüksek, takip eden yıllarda düşük ve rezervuarın olgunlaşma dönemi denen daha sonraki yıllarda ise tekrar yüksektir. Doğal göller ise oligotrofik seviyeden ötrofik seviyeye ulaşan bir sıralama izlerler.

2.2 Rezervuarların sınıflandırılması

Rezervuarlar, fiziksel, kimyasal ve jeomorfolojik karakteristikler ve farklı sistemler kullanılarak sınıflandırmaktadır.

Tabakalaşmaya göre rezervuarlar, derinlik, rüzgar ve bekleme süresine bağlı olarak tabakalaşma gösterebilirler. Belli şartla altında, rezervuarlar epilimnion veya daha üst bir tabaka, metalimnion, veya geçiş tabakası ve hypolimnion veya daha

düşük bir tabaka oluşturmaktadırlar. Bununla birlikte, tabakalaşma görülüyorsa tüm rezervuar izotermal bir gradyanta sahip epilimnion tabakası oluşturur. Rezervuarların tabakalaşma durumu rezervuar suyunun ve dolayısıyla barajdan çıkan suyun kalitesinin değişiminde önemli bir etkiye sahiptir. Tabakalaşma göstermeyen bir rezervuardan çıkan su miktara bağlı olmaksızın ılık bir sudur; tabakalaşan bir rezervuarın taban seviyesinden çekilen su daha sersin bir sudur (U.S Army Corps of Engineers, 1987).

İşletme amaçlarına göre sınıflandırıldığında rezervuarların daha fazla kategoriye ayrıldığı görülmektedir. Buna göre rezervuarlar başlıca şu amaçlar için inşa edilmektedir (U.S Army Corps of Engineers, 1987);

- Taşkın kontrolü
- Elektrik enerjisi üretimi
- Akarsu debisinin artırma
- Rekreasyon
- Nehir taşımacılığında derinliğin belli
- Balık ve diğer canlıları korumak
- bir seviyede tutmak
- Su kaynağı

2.3 Göllerin Trofik Seviyelerine Göre Sınıflandırılması

Göllerin trofik seviyelerine göre sınıflandırılması alg ve besi maddesi konsantrasyonlarına göre yapılmaktadır. Buna göre Çizelge 2.1’de göllerin trofik seviyelerine göre sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 2.1 Trofik seviyelerine göre göller (Thoman et al., 1987).

Trofik Seviye	Oligotrofik	Mezotrofik	Ötrofik
Toplam Fosfor, µg/L	<10	10-20	>20
Klorofil-a, µg/L	<4	4-10	>10
Seki diski derinliği,m	>4	2-4	<2
Hipolimnetik Oksijen, % Doygunluk	>80	10-80	<10

Öligotrofik göller, jeolojik açıdan genç ve genellikle derin göller olarak kabul edilir. Su mavi renklidir ve suyun ışık geçirgenliği yüksektir. Çözünmüş besi maddesi konsantrasyonu düşük, canlı türleri değişik ve fazla sayıdadır. Hipolimnion tabakasında oksijen tüketimi azdır. Yüzeyde alg patlamaları görülmez.

Mezotrofik göllerde suyun rengi yeşildir. Orta derecede balık üretimi söz konusu olup, su bitkileri görülebilir.

Ötrofik göller, Suyun rengi yeşil veya kahverengidir ışık geçirgenliği ise hemen hemen hiç yoktur. Çözünmüş madde konsantrasyonu yüksektir. Alg patlamaları su yüzeyinden görülebilir. Su yüzeyindeki alg tabakası alt tabakalardaki fotosentezi engeller (Özecik, 2006).

3 ÖTROFİKASYON VE ÖNEMİ

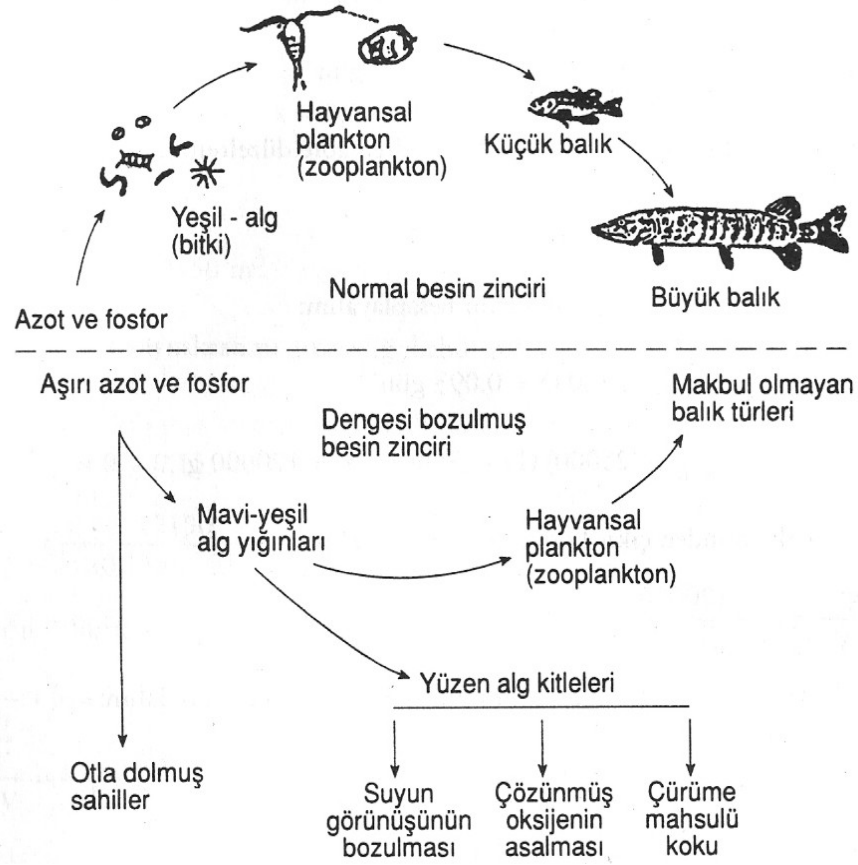
3.1 Genel

Ötrofikasyon problemi, kısaca; organik ve inorganik besi maddelerinin bir su ortamına girerek alglerin veya köklü sucul bitkilerin aşırı çoğalmasıyla su ortamının estetik, rekreasyon, balık varlığı ve su kaynağı değerlerini kaybetmesi şeklinde açıklanabilir (Muslu, 2001). Şekil 3.1’de ötrofikasyon sonucu bir göl ortamındaki canlı popülasyon üzerindeki olumsuz etkisi gösterilmektedir.

Su bitkilerinin gelişmesi ve birden bire büyük biyolojik kütlelere ulaşması yani alg patlamalarının olması, inorganik besi elementlerinin fotosentez yardımıyla organik bitki maddeleri haline dönüşmesinin bir sonucudur. Buradaki esas itici güç güneş radyasyonudur. Bu yüzden bir su kütlesinin ötrofikasyonu, yüzeysel suların coğrafi konumuna, güneş radyasyonunun çeşitli derinliklere nüfuz etme derecesine, besi elementi girişinin miktar ve şekline, su partiküllerinin hareket ve dispersiyonuna bağlı olarak değişebilir. Su bitkilerinin tür dağılımı farklı olduğundan bu faktörlerin her birinin etkisi de değişik olur. Örneğin bazı türler gelişmeleri için diğerlerinden çok daha az ışık ve besi maddesine ihtiyaç duyabilir. Bazıları köklü oldukları halde diğerleri yüzebilir. Bazıları da çeşitli fizyolojik şartlar altında tabana çökebilir.

Buna göre ötrofikasyon analizinde başlıca değişkenler şunlardır:

- 1- Su yüzeyindeki güneş radyasyonu ve bunun derinlikle değişimi
- 2- Su kütlesinin geometrisi; yüzey alanı; taban alanı; derinliği; hacmi
- 3- Akım, hız, dispersiyon
- 4- Su sıcaklığı
- 5- Besi elementleri
 - Azot
 - Fosfor
 - Silisyum
- 6- Fitoplankton biyokütlesi

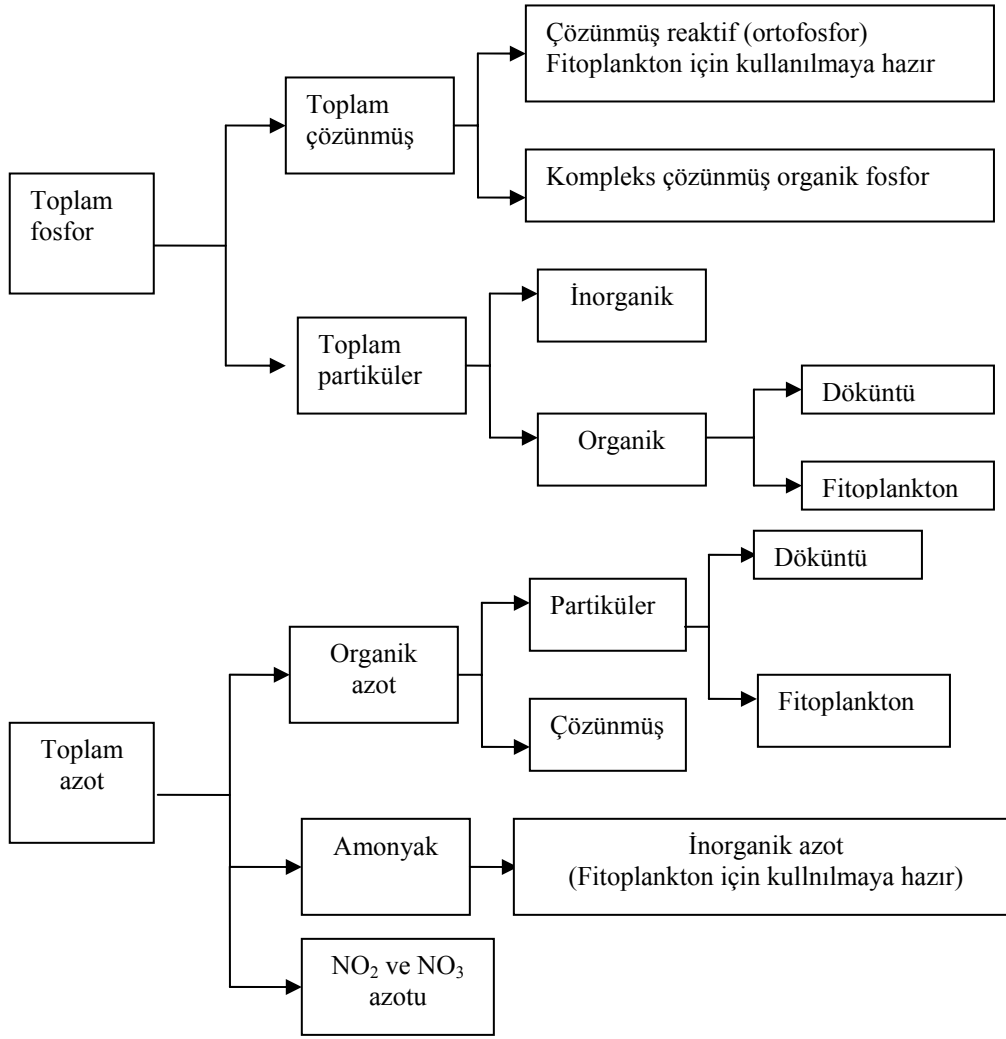


Şekil 3.1 Su ortamının normal ve ötrofikasyon nedeniyle bozulmuş besin zincirleri (Muslu, 2001).

Besi elementleri bir su kitlesinde birkaç formda bulunurlar ve fitoplankton tarafından kolayca alınabilecek şekilde değildirler. Şekil 3.2’de besi maddelerinin önemli katagorileri gösterilmektedir.

Buna göre toplam fosfor iki ana bileşenden oluşur toplam çözünmüş ve toplam partiküler fosfor. Çözünmüş reaktif fosfor fitoplanktonların kullanabileceği formdur. Partiküler fosfor formları içinde inorganik topraklardan gelen akış içindeki partiküller mevcuttur. Diğer bir kısmı ise organik partiküllerden oluşur. Bunlar döküntü içinde ve fitoplanktonda bulunabilir.

Toplam azot ise dört bileşenden oluşur; organik azot, amonyak azotu, nitrit ve nitrat azotu. Son üç azot formu, fitoplanktonların gelişmeleri için kullandıkları toplam inorganik azot bileşikleridir. Organik azot ise partiküler ve çözünmüş formda bulunur. Partiküler organik azot, organik döküntüleri ve fitoplankton biyokütlesini oluşturmaktadır.



Şekil 3.2 Besi elementlerinin başlıca bileşenleri (Muslu, 2001).

3.2 Besi Maddesi Kaynakları

Nokta Kaynaklar: Kirletici konsantrasyon ve türleri doğrudan tespit edilebilen ve alıcı ortama belli bir noktadan verilen kirletici kaynaklardır. Noktasal kaynaklar genel olarak karakteristik özelliklerine göre

1-Evsel atıklar

2-Endüstriyel atıklar olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir.

Yayılı Kaynaklar: Kirleticilerin konsantrasyon ve türleri doğrudan tespit edilemeyen ve alıcı ortama yayılı olarak giren kirletici kaynaklardır. Yayılı kaynakları da oluşum şekillerine göre 4 grupta incelemek mümkündür.

- 1-Ziraat alanlarından gelen yağmur suyu
- 2-Ormanlık alanlardan gelen yağmur suyu
- 3-Meskun bölgelerden gelen yağmur suyu
- 4-Atmosferik döküntü maddeleri

Çizelge 3.1 ve 3.2’de noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar için yaklaşık olarak yük ve konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Evsel atıksulardan gelen besi elementi yükleri (Muslu, 2001).

Besi Elementi	Miktarı mg/lt	İkinci kademe tasfiyeden sonra mg/lt	Fosfor giderme işleminde sonra mg/lt
Fosfor (P) Olarak			
Toplam fosfor (deterjanlı)	5-10	7	1-3
Toplam fosfor (deterjansız)P	2-5	4	-
Orto fosfor P (deterjanlı)	2-5	5	1-2
Azot (N) Olarak			
Toplam Azot (TN)	50	18	14
İnorganik Azot (IN)	30	8	7

Çizelge 3.2 Yayılı kaynaklardan gelen besi elementleri yükleri (Thomann, 1987).

Kaynak	Toplam Fosfor, TP (kg/ha/yıl)		Toplam azot, TN (kg/ha/yıl)	
	Ortalama	Değişme aralığı	Ortalama	Değişme aralığı
Tabii orman	0.4	0.01-0.9	3.0	1.3-10.2
Yağışlar	0.2	0.08-1.0	8.0	-
Kuru Döküntü	0.8	-	16.0	-
Meskün Bölgeler	1.0	0.1-10	5.0	1.20
Tarım alanları	0.5	0.1-5	5.0	0.5-50

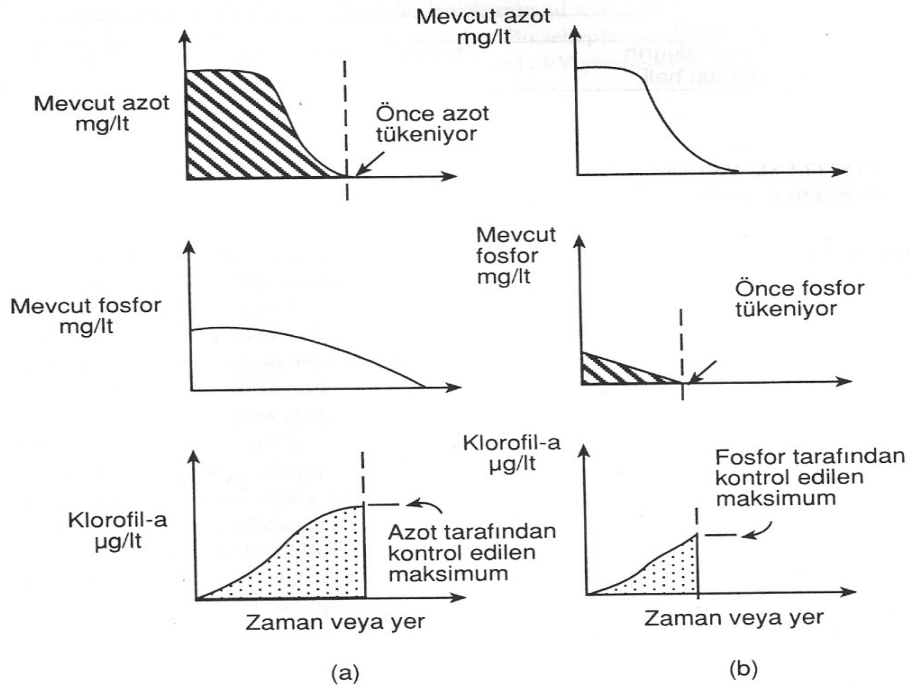
3.3 Besi Maddesi Oranları ve Sınırlayıcı Kavramı

Önce de belirtildiği gibi bitki biyokütlesi suda mevcut azot ve fosfor miktarının kullanımı ile artmaktadır. Bu bes elementleri noktasal veya yaygın kaynaklardan su ortamına karışabilir. Suyu verilen bu bes maddelerinin azalmasıyla bitki biyokütlesi de azalacaktır burada akla gelen iki soru;

- 1-Fosfor girişi mi azot girişi mi yoksa her ikisi birden mi kontrol edilmelidir?
- 2-Bitki biyokütlesinin istenilen bir miktarının sürdürülebilmesi için sulara verilebilecek bes miktarı ne olmalıdır?

Birinci sorunun cevabı için N/P oranını bilmek gerekir. İkinci soru ise ancak bir modelleme ile cevaplanabilir (Muslu, 2001).

Şekil 3.3’de burada geçerli olan prensip anlatılmaktadır. Sol tarafta azot tükenince biyokütle azalmaya başlar. Azotun tükendiği zamanda veya yerde fosfor hala yeterli konsantrasyonda bulunabilir. Diğer taraftan bunun tam tersi de olabilir. Bu durumda da bitki büyümesi fosfor tarafından kontrol ediliyor demektir.



Şekil 3.3 Bitki biyokütlesini kontrol eden minimum bes elementi prensibi.

a)Azot kontrollü; (b) Fosfor kontrollü (Muslu, 2001).

Bu iki durumdan hangisinin gerçekleşeceği bitkinin ihtiyaç duyduğu azot ve fosforun miktarına ve ortamda bulunan azot fosfor oranına bağlıdır. Fosfor tasfiyesi daha ucuz olduğundan biyolojik gelişmeyi fosforun kontrol etmesi tercih edilir.

Alg hücrelerinin yapısında bulunan N/P oranı için bazı kabullere göre hesap yapılabilir (Çizelge 3.3). Klorofil-a'nın μg 'ı başına 1 μg fosfor (1 μg P/ μg klorofil-a) ve 10 μg azot (10 μg N/ μg klorofil-a) oranları kabul edilirse, N/P <10 için sistem azot tarafından, N/P >10 için sistem fosfor tarafından kontrol edilir. N/P= 10 için ise tabiki her iki besi elementi de sistemi kontrol edemeyecektir. Ancak bu hesaplar bitki stekiometrisi ile ilgili olduğundan genel bir kural olarak N/P> 20 olması durumunda fosfor kontrolü, N/P< 5 olması halinde ise azot kontrolünün olduğunu söylenebilir. Aşağıdaki şekilde çeşitli su kaynaklarında sınırlandırıcı besi maddesi konsantrasyonları verilmektedir.

Çizelge 3.3 Çeşitli su kaynaklarında sınırlandırıcı besi maddeleri (Muslu, 2001).

Nehir ve Akarsular	
Nokta kaynakların hakim olması hali	
Fosfor tasfiyesi yok	N/P<<10 azot kontrollü
Fosfor tasfiyesi var	N/P>>10 fosfor kontrollü
Noktasal olmayan kaynakların hakim olması hali	N/P>>10 fosfor kontrollü
Nehir Ağızları	
Tatlı sular bölgesi	
Noktasal olmayan kaynakların hakim olması hali	N/P>>10 fosfor kontrollü
Noktasal kaynakların hakim olması hali	N/P<<10 azot kontrollü
Tuzlu sular bölgesi	N/P<<10 azot kontrollü
Tuzlu su-tatlı su geçiş bölgesi	N/P=azot veya fosfor kontrollü
Göller	
Büyük göller	
Noktasal olmayan kaynakların hakim olması hali	N/P>>10 fosfor kontrollü
Küçük göller	
Noktasal olmayan kaynakların hakim olması hali	N/P<<10 azot kontrollü

Buna göre büyük göllere noktasal olmayan kaynaklardan giriş olur ve bu sularda fitoplankton büyümesi fosfor kontrolündedir. Küçük göller ise önemli noktasal kaynakların etkisi altındadır ve fitoplankton azot kontrollüdür. Fakat fosfor tasfiyesi yapılırsa fosfor kontrollü olabilirler. N/P oranı faydalı bir ölçü olmakla beraber kesin bir yargıya varmamızı sağlayamaz çünkü; bazen azot kontrollü tatlı su sistemlerinde azotu tasfiye edip fitoplankton sayısı azaltılmak istenirken $N/P < 4$ gibi düşük oranlara ulaşılması halinde bile mavi-yeşil alglerin ürediği görülmüştür. Bunun nedeni bu algin eksik azotu atmosfer azotunu bağlayarak giderebilmesidir (Muslu, 2001).

4 GÖLLERDE SU KALİTESİ MODELLERİ

4.1 Modellerin Gereği

Su kaynaklarının verimli ve uzun süreli kullanımı için, ilgili kuruluşlarca gerekli planlama ve düzenleme çalışmalarına uygun bir karara varabilmesi için, mevcut ve gelecekteki besi maddesi yüklerinin su kaynaklarında meydana getireceği tesirlerin daha önceden bilinmesi gerekir. Aksi taktirde telafisi mümkün olmayan hatalara sebep olacak karar ve uygulamalara gidilebilir. Yüzeysel sulara giren besi maddelerinin sebep olduğu zararlı etkilerin giderilmesi için alınacak önlemler son derece pahalı olup uygulamaları da kolay değildir. Bu tür yanlış uygulamalara meydan vermemek için, karar mercilerince kullanılabilecek su yatağındaki çeşitli kirletici madde konsantrasyonlarını önceden hesaplamaya yarayan matematik modellere ihtiyaç vardır. Ötrofikasyonu belirleyen dinamik değişkenlere temsil eden bu matematik modeller ile geçmişteki verilerin incelenmesi, mevcut durumun değerlendirilmesi ve gelecekteki ihtiyaçların plan ve projelendirilmesi daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Karpuzcu, 1979).

1970 ve 1980’li yıllarda hızla gelişmeye başlayan bilişim teknolojisi, su kalitesi ve havza yönetiminde matematiksel modellerin kullanılması yaklaşımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. 1990’lı yılların sonlarında, su ekosistemi araştırmaları ve çevresel yönetim amacıyla kullanılan matematiksel modellerin sayısının 4000 civarında olduğu tahmin edilmektedir (A., Ertürk.,2005).

Günümüzde bu konudaki modelleme çalışmalarında kullanılan ve birbirleriyle entegrasyonu sağlanabilen çeşitli yazılımlar mevcuttur. Bunlar;

- Matematiksel modelleme yazılımları (hidrolojik, hidrodinamik, su kalitesi ve havza modelleme yazılımları)
- Matematiksel modellemeye yardımcı yazılımlar (senaryo üreticiler, model parametre tahmin yazılımları, genel amaçlı duyarlılık analizi yapan yazılımlar, vb.)
- Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları
- Diğer yazılımlar (program geliştirme araçları, elektronik tablolar yazılımları, veri tabanı yazılımları, vb.) olarak sıralanabilir.

4.2 Modelin Kurulması

Mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılacak matematik modellerinin, hesap kolaylığı ve uygulama imkanları bakımından mümkün olduğu kadar basit olması; ortamda meydana gelen reaksiyonları belirlemesi bakımından da yeteri kadar ayrıntılı olması gerekmektedir. Modelde, reaksiyona giren belli başlı parametrelere aynı derecede önem verilmelidir. Bu fikir Harleman ve Najarial (1975) tarafından şu şekilde belirtilmiştir; “Bir su kalitesi modelinin başarısı, aynı anda çok fazla parametrenin ele alınabilmesine bağlı değildir. Esas olan madde korunumu gibi temel prensiplerin eksiksiz uygulanması ve çevrimdeki elemanların bir formdan diğerine dönüşümünde sebep netice fonksiyonlarının uygun kurulabilmesidir” (Karpuzcu, 1978).

4.3 Modelin Kalibrasyonu

Gözlenen ve model yardımıyla tahmin edilen veriler arasında mümkün olan en iyi uyumun sağlanması için model parametrelerinin ayarlanması işlemine modelin kalibrasyonu denilmektedir.

Kullanılacak matematik modelin, farklı iklim koşullarındaki farklı yapısal karakteristiklere sahip su ortamlarında kullanılabilmesi için gerçek veri setleri ile kalibre edilmesi modelleme biliminin en önemli şartlarından biridir.

4.4 Modelin Verifikasyonu

Kalibrasyon işleminde sonra aynı parametrelerin farklı fiziksel şartlar altında farklı senelerin benzer mevsimleri için kirlетici konsantrasyonları hesaplanır. Bu değerlerin aynı zaman aralığında deneysel olarak ölçülen değerler ile karşılaştırılması işlemine modelin verifikasyonu denir (Karpuzcu,1979).

Bu işlem basamağının da kalibrasyon gibi, modellemesi yapılan sistemin en iyi şekilde temsil edilmesi için, uygulanması gerekmektedir. Verifikasyon ile istenilen sonuç elde edilemiyorsa modelin tekrar kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu işlem döngüsü mümkün olan en yakın sonucun alınmasına kadar devam ettirilir.

4.5 Modelin Uygulanması İçin Gerekli Veriler

Su kalitesi modelleri; modelin kompleksliğine, alıcı su ortamına ve su kalitesi parametrelerine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. En kompleks model verilen duruma uygulanabilecek en zor ve maliyeti yüksek modeldir (Özbayrak ve Bakan, 2006). Dolayısıyla modellemesi yapılan su kalite parametrelerinin artmasıyla birlikte model karmaşıklığı da artacaktır.

Bir su kalitesi modelinde su kalitesini etkileyen tüm veriler model için gerekli veriler olarak düşünülebilir. Her su kalitesi modeli için aynı olmamakla beraber bir modelin oluşturulması için gerekli bilgiler genellikle şu verilerden oluşmaktadır;

1. Su ortamını fiziksel özellikleri: Hacim, derinlik, yüzey alanı gibi bilgiler belirlenmesi en kolay verilerden biridir.
2. Su ortamının hidrodinamik özellikleri: Hidrodinamik yapının belirlenmesi en karmaşık işlemlerden biri olup ayrı bir uzmanlık alanıdır. Mevsimsel tabakalaşmalar, akıntılar su kalitesini etkileyen önemli parametrelerdir.
3. Meteorolojik veriler: Özellikle kirletici parametrelerin reaksiyon hızı gibi özelliklerini etkileyen sıcaklık verileri, tabakalaşma süreçlerini etkileyebilecek rüzgar ve güneş ışığı ile ilgili veriler modellerde sıklıkla kullanılan parametreler arasındadır.
4. Kirletici parametreler: Su ortamının gerçeğe en yakın şekilde tanımlanması açısından su ortamından alınacak numunelerin alınma noktaları, alınma sıklığı, analiz yöntemleri modelleme çalışmalarını etkileyen önemli faktörlerdir. Ayrıca numune alma sıklığı önem verilmesi gereken diğer bir konudur.
5. Su ortamında bulunan canlı organizmaların çeşitleri ve konsantrasyon değerleri ve sedimentin yapısı ile ilgili veriler.
6. Çeşitli reaksiyon sabitleri ve katsayılar: Genellikle literatürden sağlanmakla birlikte modellemesi yapılan su ortamı için bu verilerin elde edilmesi de mümkündür.
7. Su ortamına gelen dış yükler; noktasal ve yayılı kirletici yükler

5. YAYILI KİRLETİCİ KAYNAKLARIN MODELLENMESİ

Bir su ortamının kirlenmesinde noktasal kaynaklar kadar yayılı kaynakların da önemli etkisi bulunmaktadır. Tarım alanları, maden sahaları gibi insan faaliyetleri sonucu doğal yapısı bozulmuş alanlardan azot, fosfor gibi besin elementlerinin yanı sıra tarım ilaçları, ağır metal gibi çeşitli kirleticiler su ortamlarına karışmaktadır.

Noktasal kirleticiler, ülkemizde de başarılı uygulamaları bulunan çeşitli arıtma teknolojileri ile kontrol edilebilirken, yayılı kirleticiler konusunda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle tarım alanları, ormanlık alanlar ile fundalık ve çayır alanlarından, yağış sularının sürüklenmesi sonucu, yüzeysel su kaynaklarına ulaşan azot ve fosfor bileşiklerinin kontrol edilmesi oldukça karmaşık ancak en az noktasal kaynaklardan yayılan yüklerin kontrolü kadar önemli bir sorundur. Bu konuda, ülkemizde yeni olmakla birlikte, dünyada uzun zamandır çalışmalar yürütülmekte ve çeşitli modeller geliştirilmektedir.

5.1 Yayılı Kirleticiler Kaynakların Sınıflandırılması

Yayılı kirleticiler kaynaklar çok çeşitlilik göstermekle birlikte genel olarak şehirleşmiş bölgelerden gelen yayılı kaynaklar ve kırsal bölgelerden gelen yayılı kaynaklar olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır (Mays, 1996).

Bu sınıflandırmanın yanı sıra, daha spesifik bir sınıflandırma yaparak, yayılı kirleticiler kaynakları 6 sınıfa ayırmak mümkündür (Orhon ve ark., 2002).

1. Yağış suları ve yıkama suları gibi yüzeysel akış ile taşınanlar,
2. Tarım ve orman alanlarından gelenler,
3. Atmosferden su ve toprakla taşınan kirleticiler,
4. Yerleşim alanlarından gelen kontrolsüz yağış suları,
5. Katı atık depo ve dökme sahalarından, maden sahalarından ve fosseptiklerden yeraltı sularına karışan sızıntı suları,
6. Kirlenmiş nehir ve derelerin doğal ortama yayılmaları,

Bu tez çalışmasında ele alınan yayılı kaynak türü ise kırsal alanlardan kaynaklanan yayılı yüklerdir.

5.1.1 Kırsal Alanlarda Gelen Yayılı Kaynaklar

Genellikle içme ve kullanma amacıyla faydalandığımız yeraltı ve yerüstü su kaynaklarımızın ortaya çıkış noktaları kırsal alanlardır. Dolayısıyla kirlenmenin başladığı ilk nokta da kırsal alanlar olmaktadır.

Buna göre kırsal alanlardan su ortamlarına karışabilecek yayılı yüklerin genel bir sınıflandırılması Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Kırsal bölgelerdeki başlıca yayılı kirletici kaynaklar (Alberk, 1997).

Kaynak	Sulara karışan başlıca kirleticiler
Tarım Alanları	-Sediment -Tarım ilaçları - İnorganik tuzlar
Yoğun otlatma yapılan çayır ve meralar	-Sediment -Besin maddeleri (Azot, Fosfor vb.)
Maden sahaları	-Sediment - Metaller -Tuzlar - Asitli Sular
İnşaat sahaları (Yol yapımı vb.)	-Sediment

5.2 Rezervuar-Havza İlişkisi

Bütün rezervuar ve akarsu sistemleri, havzaları veya drenaj alanlarıyla bir bütündür. Bu yüzden, havza geometrisi, jeolojisi, iklimi, konumu ve arazi kullanımı doğrudan yada dolaylı olarak akarsu veya rezervuar su kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Dolayısıyla rezervuarlarda su kalitesi değişimi yağmur suları ve akarsu tarafından taşınan fiziksel, kimyasal ve biyolojik yüklerden kaynaklanmaktadır.

Ayrıca, rezervuarlardaki birçok su kalitesi problemi, projenin yürütülmesindeki yanlışlıklar veya rezervuarın yapısından da kaynaklanabilmektedir (U.S Army Corps of Engineers, 1987).

5.3 Yayılı Kirleticiler Kaynaklar İçin Geliştirilen Modeller

Daha önce de bahsedildiği gibi yayılı kirleticilerin modellenmesinde hidrolojik çevrim önemli bir bileşendir. Bu nedenle hidrolojik çevrimlerin doğru şekilde modellenmesi gerekmektedir (Alberk, 1997).

Yayılı kirleticilerin modellenmesi ve dolayısıyla hidrolojik modelleme için genellikle parametrik modeller kullanılmaktadır. Bunun nedeni yayılı kirleticilerin, yağış, buharlaşma, yeraltı suyuna geçiş, yüzey akışı gibi birçok parametreye bağlı olmasıdır. Yayılı kirleticilerin taşınması sırasında meydana gelen, bozunma tepkimeye girme, gibi olaylar da yine çeşitli teorik ve ampirik denklemlerle hesaplanmaktadır. Günümüzde tüm bu süreçlerin gerçekleştirilmesi, gelişen teknolojiye uygun olarak, geliştirilen bilgisayar modelleri ile yapılmaktadır. Çizelge 5.2’de kullanılan bazı yayılı kirletici modelleri verilmektedir.

Çizelge.5.2 Yayılı kirletici kaynak modelleri (Alberk, 1997).

Model	Modelin İsmi	Geliştiren Kuruluş ve kişiler
HSPF	Hidogeological Simulation Program-Fortran	U.S Environmental Protection Agency
CREAMS	Chemical Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems	U.S Department of Agriculture Agricultural Research Service
GLEAMS	Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Response Simulation	U.S Department of Agriculture Agricultural Research Service
ANSWERS	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation	Purdue University, Agricultural EGINEERING Department
AGNSP	Agricultural Nonpoint Source Pollution Model	U.S Department of Agriculture Agricultural Research Service
SWRRB	Simulator for Water Resources in Rural Basins	Williams, J.R., Nicks, A.D., Arnold, J.G.
UTM-TOX	Unified Transport Model for Toxic Materials	U.S Environmental Protection Agency

Çizelge 5.2’da verilen modellerin bazı özelliklerinin birbirleri ile karşılaştırılması Çizelge 5.3’da verilmektedir.

Çizelge 5.3 Bazı yayılı yük modellerinin karşılaştırılması. (Mays, 1996)

Özellik	HSPF	CREAMS	ANSWERS	AGNSP	SWRRB	UTM-TOX
Simülasyon türü	S/T	S/T	T	S/T	S	S/T
Yağmur ve yağış analizi	V	V	V	V	V	V
Erozyon modeli	V	V	V	V	V	V
Pestisit	V	V	Y	V	V	V
Besi maddeleri	V	V	Y	V	V	Y
Seçime bağlı bir parametre	V	Y	Y	Y	Y	V
Biyo kimyasal süreçler	V	V	Y	Y	V	Y
Arazi kullanım seçenekleri	V	Y	V	V	V	V
Su kalitesi modeli	V	Y	Y	Y	Y	V
Bilgisayar Gereksinimi	V	V	V	V	V	y
Veri ve Kullanıcı Gereksinimi	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Orta	Yüksek
Model karmaşıklığı	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Yüksek

S: Sürekli simülasyon

T: Tek bir yağış olayının simülasyonu

V:Var

Y:Yok

Bir sonraki bölümde, bahsedilen bu modellere benzer şekilde yayılı yük hesaplamalarında önemli bir etken olan su çevriminin modellenmesinin yapıldığı GROWA modeli ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

5.3.1 GROWA Modeli

GROWA, temel su döngüsü bileşenlerini (evapotranspirasyon, toplam akışa geçen yağış, yüzeysel akış ve yeraltı suyu beslemesi gibi) uzun vadeli yıllık ortalama değerler olarak hesaplayan modüllere sahip hücresel bir modeldir (Bogena et al., 2005).

Model yardımıyla toplam yüzeysel akış hesaplanırken, temel su döngüsü denklemi baz alınır. Bu denkleme göre; uzun vadedeki toplam yıllık yüzeysel akış seviyesi, ortalama yıllık yağış ve evapotranspirasyon arasındaki fark ile elde edilir. Bu sonuçlardan faydalanılarak havzadaki yayılı yüklerin hareketinin ve miktarlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

5.3.1.1 Derin Su Tablasına Sahip Düz Ve Açık Alanlar

Modelde, Renger ve Wessolek' un geliştirdiği metot (1996) ile derin su tablasına sahip düz ve açık araziler için yıllık evapotranspirasyon (ETa_{RW}) aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir

$$ETa_{RW} = a \cdot P_{wi} + b \cdot P_{su} + c \cdot \log(W_{pl}) + d \cdot ET_o + e \quad (5.1)$$

ETa_{RW} : Evapotranspirasyon, Renger & Wessolek (1996) [mm/a]

a, b, c, d, e : Spesifik arazi kullanım katsayıları [-]

P_{wi}, P_{su} : Kış ve yaz mevsimi yağışları [mm/a]

W_{pl} : Bitkilerin kullanabileceği taban suyu miktarı [mm]

ET_o : Potansiyel evapotranspirasyon [mm/a]

Bu denklemden, bitki örtüsünün özellikleri, Çizelge 5.4'de gösterilen, spesifik arazi kullanım katsayılarıyla (a, b, c, d_{Haude}, e), ifade edilmektedir. Buna göre tarım alanları, mera ve çam ormanları için, Renger & Wessolek (1996) tarafından belirlenen regresyon sabitleri kullanılırken yaprak döken ağaçlardan oluşan ormanlar için Renger & Strebel (1980) tarafından belirlenen sabitler kullanılmıştır. Bu durumda yağış seviyeleri yıllık ortalama değerler olarak alınmakta ve bitkilerin kullanabileceği taban suyu miktarı göz önünde bulundurulmamaktadır. Bitki örtüsünün bulunmadığı alanlarda evapotranspirasyon değerinin elde edilmesi için Proksch (1990) tarafından geliştirilen basit bir yaklaşım uygulanmaktadır. Bu metot,

farklı toprakların lizimetre sonuçları (DVWK,1996) için elde edilmiş olup sadece yıllık yağış seviyesini dikkate alınmaktadır.

Çizelge 5.4. Renger & Wessolek (1996), Renger & Strebel (1980) ve Proksch (1990) tarafın geliştirilen metoda göre evapotranspirasyonun hesaplanmasında kullanılan katsayılar (Bogena et al.,2005).

Bitki örtüsü	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>dHaude</i>	<i>e</i>
Tarım alanları	0,08	0,39	153	0,12	-109
Meralar	0,1	0,48	286	0,1	-330
Yaprak döken ormanlar	0,29	0,33	166	0,19	-127
Kozalaklı ormanlar	0,047	0,047	0	0,02	430,1
Bitki örtüsü bulunmayan alanlar	0,074	0,074	0	0	59,2

Burada yıllık potansiyel evapotranspirasyon, ET_o , için Haude metodu (1954) baz alınmıştır. Bununla birlikte, FAO (Food and Agriculture Organization) otlak alanların referans evapotranspirasyonunu uluslararası standart olarak önermektedir (Allen et al., 1994). Önerilen bu standart Penman-Monteith bağıntısına dayanmaktadır (ATV-DVWK, 2002) ve Alman Meteoroloji servisinin bünyesinde, Wendling tarafından (1995), ulusal boyutta saptanması yapılmıştır. Wendling (1995) tarafından yaygınlaştırılan otlak alanlar için referans evapotranspirasyonun kullanılması durumunda, *d* regresyon katsayısı şu şekilde düzenlenmelidir (Bogena et al., 2005):

$$d_{Wendling} = 0.926 \cdot d_{Haude} \quad (5.2)$$

Renger & Wessolek (1996) tarafından geliştirilen ampirik evapotranspirasyon hesaplama yöntemi, Rijetma (1968)'nin fiziksel yaklaşımına dayanmaktadır. Bu yöntem, küçük ölçekteki toprak ve bitki örtüsü değişimlerini de kapsamak amacıyla birçok arazi faktörünü göz önünde bulundurmaktadır. Bununla birlikte bu metod sadece ortalama olarak topraktan süzulebilen suyun yeraltı suyu beslemesine karşılık geldiği, derin su tablasına sahip, düz ve açık alanlar için kullanılabilir. Hennings (2000) bu metodun uygulanabilmesi için eğimin maksimum % 3.5 olması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca, iklim koşullarına bağlı sınırlamalar da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin yıllık yağış miktarının, tarım alanları için, 800 mm'yi ormanlar için 1300 mm'yi aşmaması gerekmektedir.

Bu şartların sağlanamaması durumunda, Renger & Wessolek (1996) tarafından geliştirilen bu metod doğrudan kullanılamamaktadır.

Kunkel & Wendland (1998, 2002), genel bir kullanımının sağlanabilmesi için Renger & Wessolek (1996) tarafından verilen bu metodu genişletmişlerdir. Yapılan bir modifikasyonla topoğrafya, yeraltı suyu etkisi ve arazi yapılaşma oranının göz önünde bulundurulması sağlanmıştır. Ayrıca, derin su tablasına sahip bu alanlar için hesaplanan evapotranspirasyon seviyesi, maksimum evapotranspirasyon değerinden yüksek, yağış değerlerinden düşük olmayacak şekilde düzenlenmiştir.

5.3.1.2 Yüksek Engebeli Araziler

Bu tür arazilerde, evapotranspirasyon seviyesi ayrıca eğim ve cephe gibi arazi faktörlerinden de etkilenmektedir. Bu etki düzeltme faktörü f_h ile gösterilmektedir.

$$ETa_{relief} = f_h(\alpha, \varphi) \cdot ETr_{RW} \quad (5.3)$$

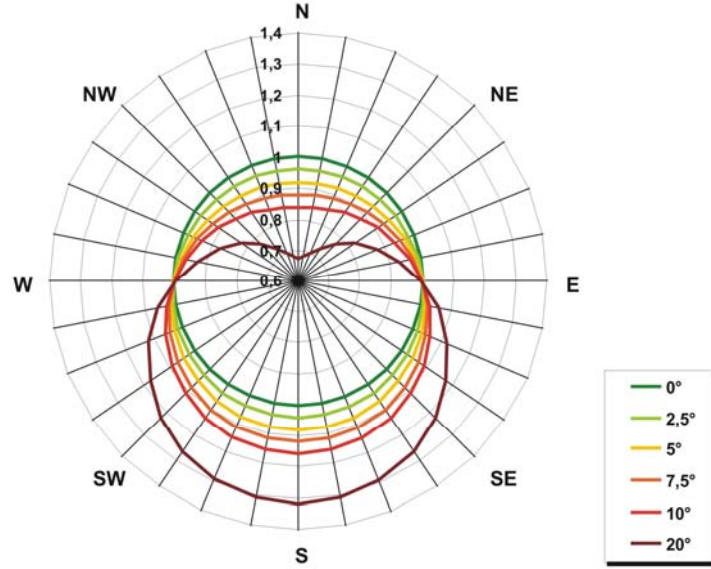
ETa_{relief} : Yüksek engebeli arazilerde evapotranspirasyon [mm/a]

Golf (1981) tarafından, yüksek engebeli arazilerle ilgili sonuçlarını Kunkel & Wendland (1998)'in genişlettiği, bir araştırma yapılmış ve aşağıdaki eşitlik bulunmuştur:

$$f_h(\alpha, \varphi) = \varphi \left[1.605 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(\alpha - 90) - 2.5 \cdot 10^{-4} \right] + 1 \quad (5.4)$$

f : eğim

Şekil 5.1'de doğrulama faktörünün eğim ve cepheye göre değişimi, bir grafik yardımıyla gösterilmiştir. Evapotranspirasyon seviyesinin, güneye bakan yamaçlarda kuzeye bakan yamaçlardan daha fazla olduğu şekilden açıkça görülebilmektedir. Örneğin, evapotranspirasyon seviyesi, güneye bakan 10° eğimli bir yamaçta düz bir yüzeye sahip araziden % 16 daha fazladır. Kuzeye bakan 10° eğime sahip bir yamaç için ise, evapotranspirasyon seviyesi düz bir yüzey için belirlenen evapotranspirasyon seviyesinin sadece % 84'ü kadardır. Bu fark eğimin artmasıyla daha da büyür. Toplam akışın hesaplanmasında kullanılan yağış ve evapotranspirasyon arasındaki korelasyonlar nedeniyle, bu durum belli şartlarda yüzeysel akış seviyesinde önemli değişmelere neden olabilmektedir.



Şekil 5.1. Eğim ve cepheye bağlı olarak Golf faktörü f_h değerleri (Bogena et al., 2005).

5.3.1.3 Yeraltı Suyunun Etkilediği Alanlar

Yeraltı suyundan kapiler yükselen suyun da buharlaşması nedeniyle bu tip arazilerde evapotranspirasyon için Denklem 5.1' in kullanılması düşük bir değer hesaplanmasına neden olur. Bu nedenle, bu tür bölgeler için evapotranspirasyon, maksimum evapotranspirasyon değerine eşit kabul edilmektedir.

$$ETa_{gw} = ET_{max} \quad (5.5)$$

ETa_{gw} : Yeraltı suyunun etkilediği alanlar için evapotranspirasyon [mm/a]
 ET_{max} : Maksimum evapotranspirasyon [mm/a]

Maksimum evapotranspirasyon, 12 cm boyundaki çim bitki örüsü için teorik olarak elde edilen, potansiyel evapotranspirasyonun bir modifikasyonudur. Diğer arazi kullanım tiplerindeki evapotranspirasyon seviyesi bu değerden açık bir şekilde sapabilir. Maksimum evapotranspirasyonun potansiyel evapotranspirasyondan yüksek ya da düşük olması bitki örtüsü tipine ve yüksekliğine bağlıdır. Maksimum evapotranspirasyon f değeri kullanılarak potansiyel evapotranspirasyondan (ET_o) elde edilmektedir (Bogena et al., 2005).

$$ET_{max} = f \cdot ET_o \quad (5.6)$$

f parametresi değeri, regresyon yardımıyla, arazi kullanımı, farklı arazi şartları için lizimetre ölçümüyle saptanan su tutma kapasitesi ve bitki örtüsü boyunun fonksiyonu olarak elde edilir Glugla et al. (1996) tarafından lizimetre ölçümlerine göre yeterli nemin sağlanabildiği alanlarda örneğin; kapileritenin yüksek ve dolayısıyla kapiler suyun evapotranspirasyonunun gerçekleştiği durumlarda, potansiyel evapotranspirasyonun maksimum evapotranspirasyonu ifade ettiği kabul edilmiştir (Bogena et al., 2005).

$$f = \frac{ET_{\max}}{ET_o} \approx \frac{ETa_{\text{lizimetre}}}{ET_o} \quad (5.7)$$

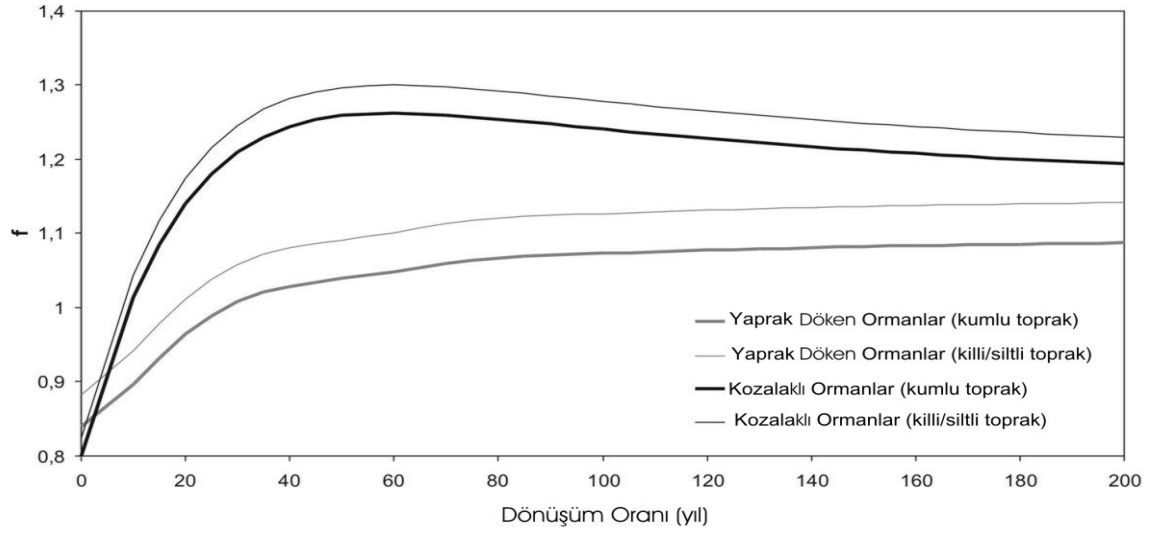
$ETa_{\text{lizimeters}}$: lizimetre ile yapılan evapotranspirasyon ölçümü [mm/a]

Derinden alınan toprakları için f değeri lizimetre ile $f = 1.51 \pm 0.76$ olarak elde edilmiştir.

Yapılaşmanın bulunduğu alanlar ve bitki örtüsü bulunmayan alanlar için, Glugla et al. (1999) bitki örtüsü bulunmayan bir lizimetrenin evapotranspirasyon değeri ile etkili bir yağışın ardından çim örtüsünde meydana gelen evapotranspirasyon değerlerini karşılaştırdılar. Yaprak döken ormanlar ve kozalaklı ormanlar için lizimetre düzeneklerinden elde edilen veriler kullandılar. evapotranspirasyonun, yağış değerleri ile süzülme değeri ölçümlerinin farkı olduğunu göz önünde bulundurarak Glugla et al. (2002), aşağıdaki eşitliği geliştirdiler:

$$ET_{\max} = \frac{ETa}{0.8} \quad (5.8)$$

Engibeli olmayan araziler için f parametresi, Denklem 5.8 baz alınarak toprak özellikleri ve döngü yaşının fonksiyonu olarak hesaplanmıştır (Bogena et al., 2005). Burada döngü yaşı bir ağacın kesilmesine kadar geçen dönemdir. Şekil 5.2’de f değerinin toprak tipi ve dönüşüm yaşına bağlı değerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Yaprak döken ve kozalaklı ağaçların oluşturduğu ormanlar için, toprak çeşidi ve dönüşüm yaşına bağlı olarak uzun dönemli ortalama f parametresi . (Bogena et al., 2005).

Ayrıca, maksimum evapotranspirasyonu belirlemek için, eğim ve cephe faktörlerinin etkisi de ek bir f_H faktörü ile Denklem 5.9' da gösterildiği şekilde yer almıştır.

$$ET_{\max} = f_H \cdot f \cdot ET_o \quad (5.9)$$

CORINA bitki örtüsü veri tabanına dayanarak z_B (Ortalama bitki örtüsü yüksekliği) ve UA (bitkilerin ortalama rotasyon yaşı) parametrelerinin tahmini yapılmıştır.

Düzeltilme faktörü f_V , Denklem 5.1 yardımıyla varsayılan açık bir alan için hesaplanan evapotranspirasyon ve Wessolek & Facklam (1997) tarafından uygulanan yöntemle Berlin bölgesi için elde edilen evapotranspirasyon değerlerinin karşılaştırılmasıyla 3.44 olarak belirlenmiştir. ATV-DVWK (2002)' ye göre, yapılaşma oranları CORINA literatürü kullanılarak elde edilebilmektedir (Bogena et al., 2005).

5.3.1.4 Yerleşim Alanları

Bina ve yapıların çeşitliliği nedeniyle, yerleşim alanlarının su dengesi hesaplamalarına olan etkisinin belirlenmesi oldukça zordur. Günümüzde konuyla

ilgili yapılmış çalışmalar bulunmakla birlikte, elde edilen sonuçlar diğer çalışmalarla birlikte kullanılamamaktadır.

Burada kullanılan yöntem Berlin bölgesinde yerleşim alanlarının yeraltı suyuna etkisini araştırmış olan Wessolek & Facklam (1997)' in çalışmalarına dayanmaktadır. Bu çalışmalardan yola çıkarak Kunkel & Wendland yapılaşma olan bölgeler için evapotranspirasyonun azalmasını ifade eden bir düzeltme faktörü geliştirmişlerdir (Denklem 5.10) (Bogena et al., 2005).

$$ETa_{urban} = ETa_{RW} - f_v \cdot G \quad (5.10)$$

ETa_{urban} : Yerleşim alanları için evapotranspirasyon [mm/a]

G : Bina, yol gibi yapılarla örtülen arazi yüzeyi [%]

f_v : Düzeltme faktörü [-]

5.3.1.5 Yeraltı Suyu Beslenmesi

GROWA modelinde, yeraltı suyu beslenmesinin hesaplanması amacıyla toplam akışa geçen yağış, direk yüzeysel akış ve topraktan yeraltı suyuna süzülen akış şeklinde iki kısma ayrılır. Peschke (1997)' ye göre topraktan süzülen su uzun vadede yeraltı suyu beslemesini sağlamaktadır. Dörhöfer & Josopait (1980) ve Hennings (2000) aşağıdaki denklemle toprak boyunca akışa geçen suyu bir “taban akış indisi” (BFI) yardımıyla aşağıdaki şekilde tayin etmişlerdir. Bu yöntemle yeraltı suyu beslenmesi, $GW_{recharge}$, toplam akışa Q_{toplam} bağlı olarak verilmiştir:

$$GW_{recharge} = BFI \cdot Q_{total} \quad (5.11)$$

BFI değeri bazı özel koşullara bağlıdır ve uzun vadede yaklaşık olarak sabit kabul edilir. Tüm Porsuk havzasında yeraltı suyu beslenmesinin belirlenebilmesi için, BFI değerlerinin tüm alana yayılması gerekmektedir.

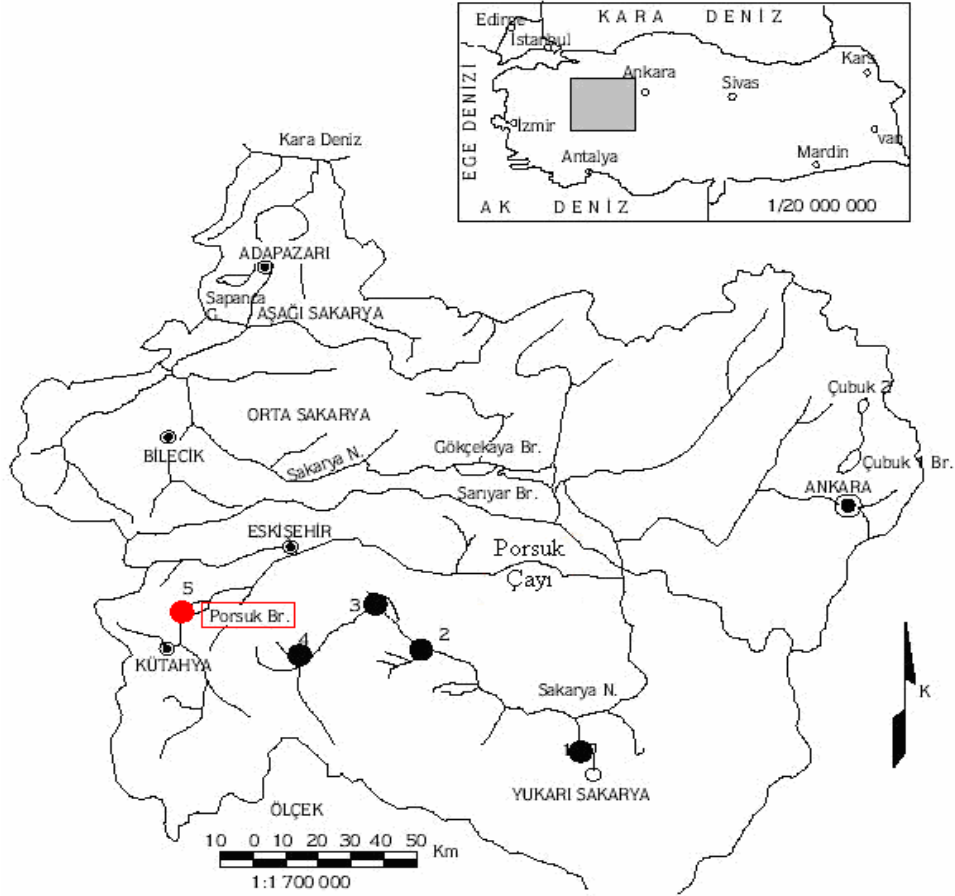
6. MODELLERİN PORSUK BARAJ GÖLÜNE UYGULANMASI

6.1 Porsuk Baraj Havzası

Porsuk Çayı Türkiye’de yer alan 26 adet su havzasından birisi olan Sakarya havzasını beslemekte ve Sakarya Nehrinin önemli bir kolunu oluşturmaktadır. Şekil 6.1’den de görüldüğü gibi Porsuk Çayı Eskişehir ve Kütahya illerinden geçerek Sakarya Nehrine karışmaktadır. Bu çalışmanın inceleme alanı olan Porsuk Baraj Gölü ise Kütahya ve Eskişehir illeri arasında inşa edilmiştir ve dolayısıyla Kütahya civarındaki noktasal ve yayılı kaynaklardan gelen kirlilik yüklerinden etkilenmektedir.

Bu tez çalışmasında, öncelikle havzada halen yürütülmekte olan, havzadaki, yayılı yüklerin modellenmesi konulu proje kapsamında bir kısmı Almanya’da yürütülen modelleme çalışmaları ve şu ana kadar alınan sonuçları açıklanmıştır. Almanya’da yürütülen çalışmalarda, Devlet Su İşleri (DSİ)’ tarafında sağlanan veriler, çeşitli bilgisayar yazılımlarının yardımıyla GROWA modelinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Havzanın arazi kullanımı, toprak, jeoloji topoğrafya gibi özellikleri hakkında bilgi veren haritalardan oluşan verilerin hazırlanması aşaması üç ay sürmüştür. Bu aşamanın ardından elde edilen veriler modele girilerek havzanın su bütçesi hesaplanmıştır. Havzadaki yayılı yüklerin hesaplanması için öncelikle yağışla meydana gelen akışın bileşenlerinin hesaplanması gerekmektedir sonraki aşama ise elde edilen bu veriler yardımıyla, özellikle tarımsal faaliyetlerden nehir kollarına gelen yayılı yüklerin tespit edilmesidir.

Baraj gölü su kalitesi için ise, bir matematik model ile su kalitesinin çeşitli değişkenlere bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Öncelikle modelde kullanılan katsayıların modele etkisi araştırılmış ve ardından elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Son olarak ise Porsuk baraj gölü için çeşitli senaryolar geliştirilmiştir.



Şekil 6.1 Sakarya Havzası.

6.1.1 Nüfus yapısı

Havzada özellikle iki büyük kentin etrafında yoğunlaşan endüstri faaliyetleri bölgeye önemli bir ekonomik potansiyel kazandırmaktadır. Bölgedeki diğer bir ekonomik unsur ise tarım faaliyetleridir.

Bölge halkının çoğu geçimini tarım faaliyetlerinden karşılamaktadır. Toprakların işlenebilme özelliği ile verimliliği halkın tarıma olan eğilimini giderek arttırmakta ve bu doğrultuda artan kamuoyu baskısı da sulama projeleri yatırımlarının kısa vadede gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Sandıkçı, 1996).

Çalışma alanı, nüfus yoğunluğu açısından Türkiye'nin önemli bölgelerinden biridir. Havzadaki iki büyük yerleşim merkezi % 4,5 olan nüfus atış oranını etkilemektedir. Çizelge 6.1'de çalışma alanına ait nüfus bilgileri verilmiştir.

Çizelge 6.1 1990 ve 2000 yılı nüfus sayımları ve nüfus artış hızı.

İlçeler	1990 Yılı Genel Nüfus Sayımı Sonuçları			2000 Yılı Genel Nüfus Sayımı Sonuçları			Nüfus Artış Hızı		
	Toplam	Şehir	Köy	Toplam	Şehir	Köy	Toplam	Şehir	Köy
Merkez	176.184	130.144	45.240	207.905	166.665	41.240	16.56	24.11	-9.25
Altıntaş	25.152	5.604	19.548	25.271	6.375	18.896	0.47	12.89	-3.39
Aslanapa	15.420	2.235	13.185	13.094	2.348	10.746	-16.35	4.93	-20.45
Dumlupınar	6.840	3.599	3.281	5.494	3.310	2.184	-21.91	-7.25	-40.69

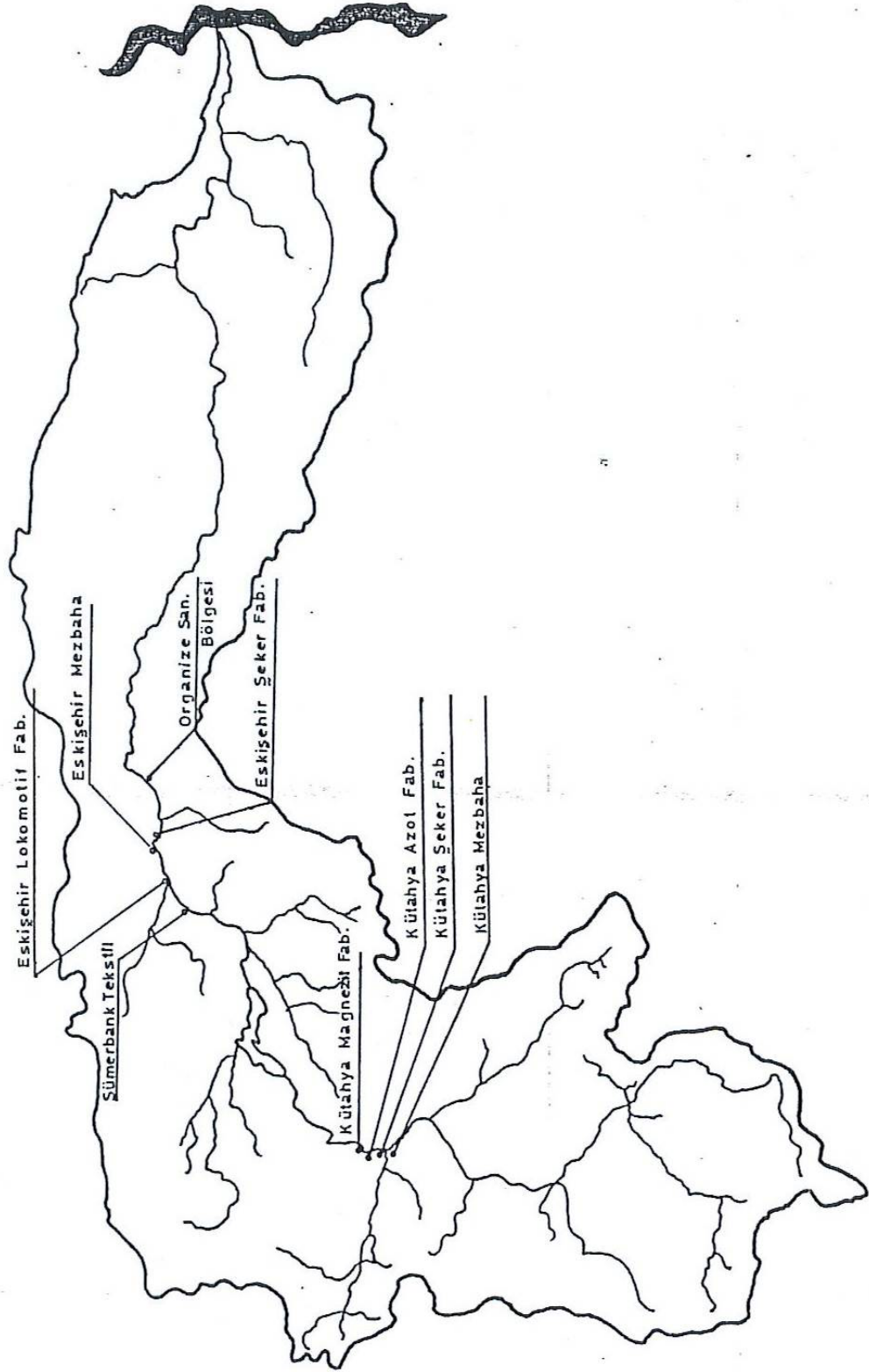
Gerek endüstriyel gerekse tarımsal faaliyetleri dolayısıyla ekonomik gelişmeyi etkileyen en önemli faktör bölgenin demografik yapısıdır. Porsuk havzasında bugün endüstri ve tarım alanlarındaki gelişmeler bir arada süregelmektedir. Ancak havza ekonomisinin gelecekte ulaşacağı boyutlar iş gücünün ve dolayısıyla da nüfus artışının bir fonksiyonu olacaktır. Bu nedenle, su kalitesi yönetiminde gelecekteki durumun belirlenebilmesi için havzanın nüfus özelliklerine önem verilmelidir.

6.1.2 Kirlenici Kaynaklar

Tez çalışma alanı olan Porsuk barajının Kütahya ve Eskişehir illeri arasında yer alması nedeniyle burada sadece barajdan önce atık sularını Porsuk nehrine veren faaliyetler hakkında bilgi sunulmuştur. Havzada yer alan endüstriyel faaliyetlerin konumları Şekil 6.2’de verilmektedir.

6.1.2.1 Endüstriyel Faaliyetler

Porsuk çayını oluşturan kaynaklardan Kütahya ili girişine kadar olan bölümde herhangi bir endüstri faaliyeti bulunmamakta, bu kesimde Porsuk nehri sadece tarım alanlarından gelen yayılı kaynakların atıkları ve kırsal kesimden gelen evsel nitelikli atıklarla az miktarda kirlenmektedir. Kütahya ili girişi öncesinde yer alan çok eski gözlemistasyonu olan Ağaçköy’de su değerlendirmeleri yapıldığında % 90 ihtimale göre hazırlanmış değerlerden NO₂ –N (nitrit azotu) ve O PO₄ (ortofosfat), BOI₅ ve NO₃-N (nitrat azotu) değerleri arasından 1. sınıf özelliğinde olduğu görülmektedir (Sandıkçı, A., 1996).



Şekil 6.2 Porsuk havzasında yer alan başlıca endüstriyel faaliyetler (Sandıkçı 19966).

Kütahya ili ve öncesinde yer alan ve eskiden beri atıkları ile Porsuk çayını tehdit eden deşarjlar ve bunların ait olduğu kuruluşlar, alınan önlemleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Kütahya Belediye Mezbahası

1988 yılına kadar olan dönemde Kütahya Belediyesine ait mezbahada kesilen hayvanların kanı ve katı atıkları doğrudan Porsuk nehrine verilmekte idi. Ancak 1988 yılından itibaren kan dahil bütün atıkları değerlendirdiği, sadece yıkama suyunu Porsuğa verdiği tespit edilmiş, mezbahanın kirletici yükünün önemli ölçüde azaldığı ölçümlerle tespit edilmiştir .

Kütahya Şeker Fabrikası

Önemli bölümü pancar yıkamadan gelen ve bir miktar da prosesden gelen atıklarını 1981 yılı öncesinde doğrudan Felent çayı vasıtasıyla Porsuk Nehrine vermektedir. 1981 yılından sonra fabrika tarafından yaptırılan çöktürme ve dinlenme havuzları ve havalandırma üniteleri ile atıklarını önlemeye çalışmıştır. Fabrika yetkililerinin verdiği bilgiye göre kampanya dönemleri sonunda havuzlarda çöktürölüp havalandırılan atık sular belirli standartlara getirilerek Felent çayına verilmektedir.

Kütahya Azot Fabrikası

Kütahya azot fabrikasının günde 500 m³/saatlik debiye sahip amonyum (NH₄) ve Nitrat (NO₃) iyonları içeren sıvı atığı açığa çıkmaktadır. Bu atık birkaç ön dinlendirme havuzlarında dinlendirilerek kısmi arıtmadan sonra direkt olarak Porsuk nehrine verilmektedir.

Kütahya Magnezit Fabrikası (KÜMAŞ)

Yazın 600, kışın 500 personelin çalıştığı çeşitli işlemlerden geçirilerek konsantre magnezit ve sinter magnezit haline getirilip, çok yüksek ısıda çalışan ağır sanayi için yüksek ısıya dayanıklı tuğla yapımında kullanılacak hammaddeyi elde etmeye yönelik olarak kurulan bir tesistir.

Hammadde olarak 20-200 km uzaklıktaki açık magnezit işletmelerinden getirilen, yılda 400 000 ton ham cevherin 300 000 tonu konsantre cevher olarak kullanılır. 100 000 tonu katı olarak açığa çıkar.

Seyit Ömer Termik Santrali atıkları

Güvez deresi membasında yer alan bu tesis saf su elde etmek için kullandıkları kireç düşürücü kimyasal madde atıkları ile kömür yıkama ve soğutma sularından gelen atıklarını çöktürdükten sonra Güvez deresine vermektedir. Bu dere ise Beşdeğirmen mevkiinden Porsuk çayına karışmaktadır. Arıtma tesisi 1989 yılında tamamlanmıştır.

6.1.2.2 Tarımsal Faaliyetler

DSİ tarafından havzada Eskişehir - Alpu ve Kütahya sulama planları adı altında iki adet sulama projesi yaptırılmıştır. Havzada yürütülen tarımsal aktivitelerde, çiftlik hayvanlarının üretimi ve ıslahı da önemli bir yer tutmaktadır. Havzada başlıca sığır, koyun ve keçi üretilmektedir. Ayrıca havza içerisinde kümes hayvancılığı ve arıcılık ta yapılmaktadır.

Baraj gölünün yaklaşık 27 km öncesinde kurulmuş olan Çalca istasyonunda yapılan ölçümlerden, WHO (World Health Organization) ve DSİ tarafından birlikte yürütülen çalışmalarda Kütahya ve civarındaki tarım arazilerinden BOD yükü 174,815 kg/yıl olarak hesaplanmıştır (Sandıkçı, 1996).

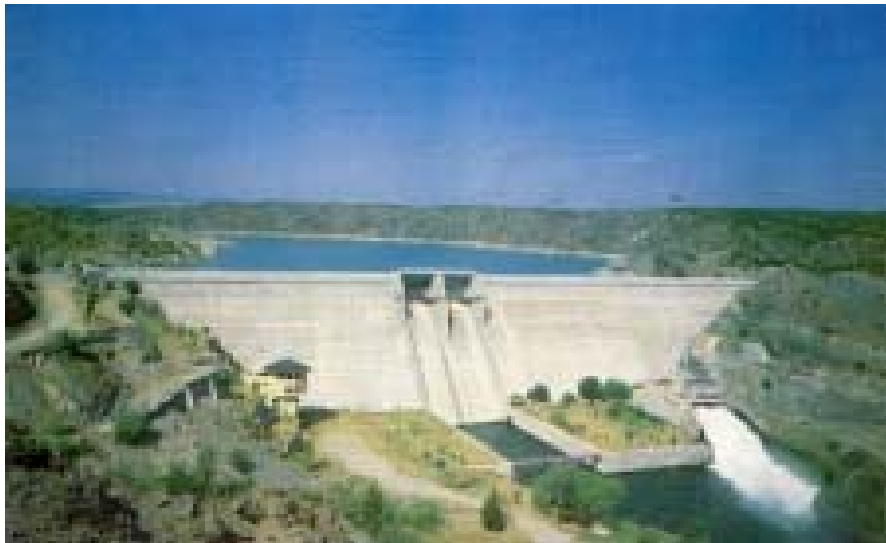
6.1.3 Baraj Gölünün Özellikleri

Eskişehir'in 25 km güneybatısında yer alan Porsuk baraj gölü (Şekil 6.3) yaklaşık 500 000 kişiye su temin etmektedir.



Şekil 6.3 Porsuk Baraj gölü.

Şekil 6.4'de bir görüntüsü yer alan Porsuk Barajının yapımına 1966 yılında başlanmış ve 1972 yılında tamamlanmıştır. Baraj gölünün hacmi $457 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ uzunluğu 16 km, yüzey alanı $27,20 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ ve drenaj alanı, göl girişinde, 1325 km^2 dir (Muhammetoğlu, 2004).



Şekil 6.4 Porsuk Barajı (DSİ, 2006).

Çizelge 6.2’de bazı özellikleri verilen Porsuk barajı başlıca 3 amaç için inşa edilmiştir;

- * Taşkın koruma
- * Sulama
- * İçme ve kullanma suyu temini

Çizelge 6.2 Porsuk baraj gölünün başlıca karakteristik özellikleri (DSİ).

Tipi	Beton ağırlık	Gövde hacmi	224000 m ³
Kiret kotu	886.70 m	Kret uzunluğu	258 m
Temelden Yüksekliği	64.70 m	Talvegden yüksekliği	49.70 m
Maksimum Su Kotu	885.20 m	Normal su kotu	882.60 m
Maksimum Depolama Hacmi	525.10 ⁶ m ³	Maks. Depolama alanı	27.7 km ²
Aktif Göl Hacmi	446.10 ⁶ m ³	Ölü Göl Hacmi	19.10 ⁶ m ³
Göl drenaj alanı	5018 km ²	Ortalama Derinlik	4.5-20 m

6.2 GROWA Modelinin Uygulanması

Çalışmalarının önemli bir kısmı Almanya’da yürütülen bu aşama, model için gerekli verilerin hazırlanması, modelin kalibrasyonu, modelin çalıştırılması ve verifikasyonu aşamalarından oluşmaktadır. Aşağıda, ayrıntılarıyla açıklanan verilerin hazırlanması aşamasından sonra elde edilen verilerin açıklaması yapılmıştır.

6.2.1 Verilerin Hazırlanması

GROWA modelinde kullanılan veriler başlıca 6 bölüme ayrılabilir. Bunlar;

İklim verileri,

Toprak verileri,

Arazi kullanımı verileri,

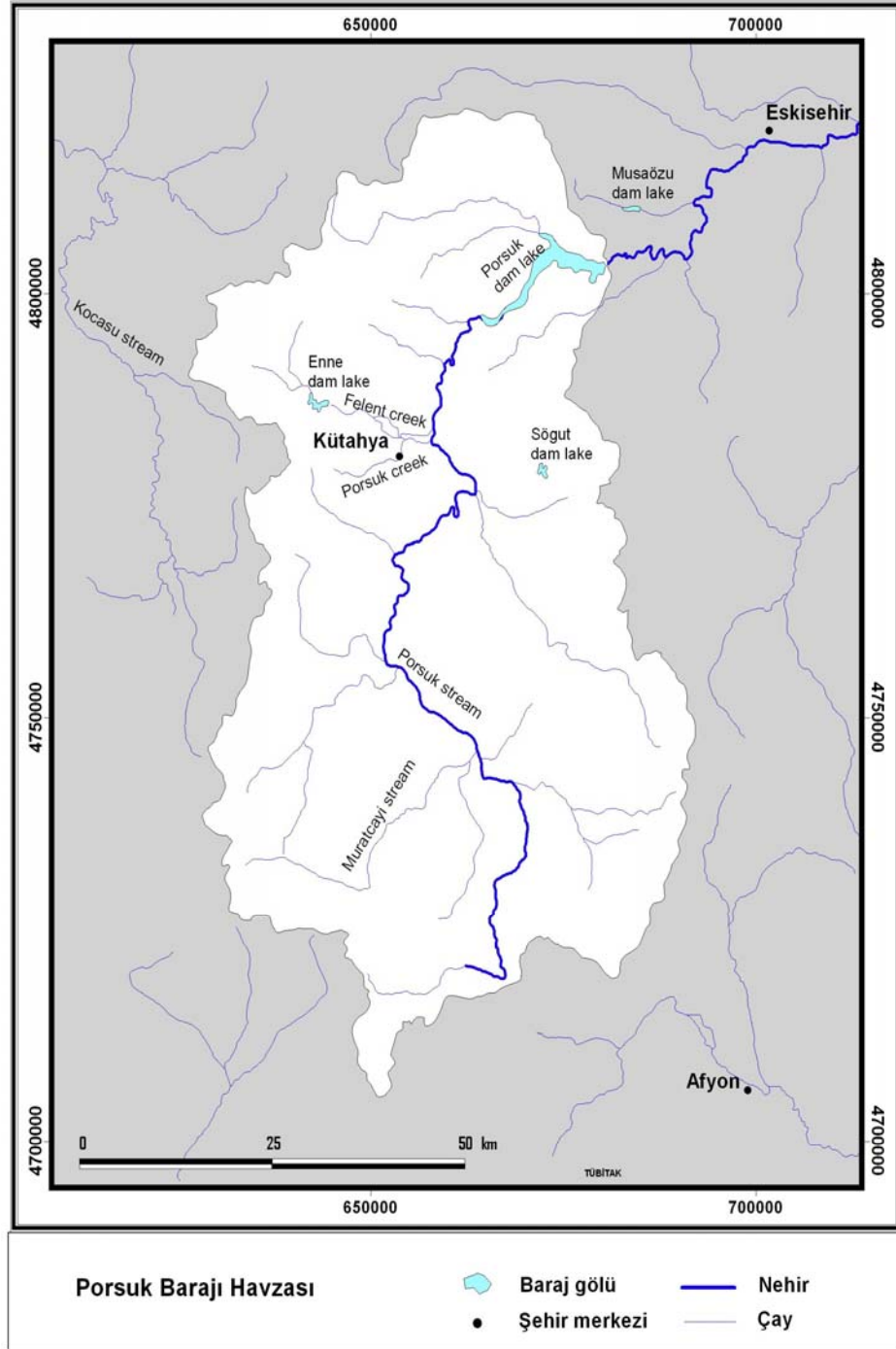
Jeolojik veriler,

Topoğrafik veriler,

Akış verileridir (günlük olarak akar suların debi değerleri).

Bu verilerden akış verileri dışındaki veriler, bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ESRI firmasının ArcView® yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Modelde kullanılan tüm dijital ve analog veriler DSİ Genel Müdürlüğünden sağlanmıştır.

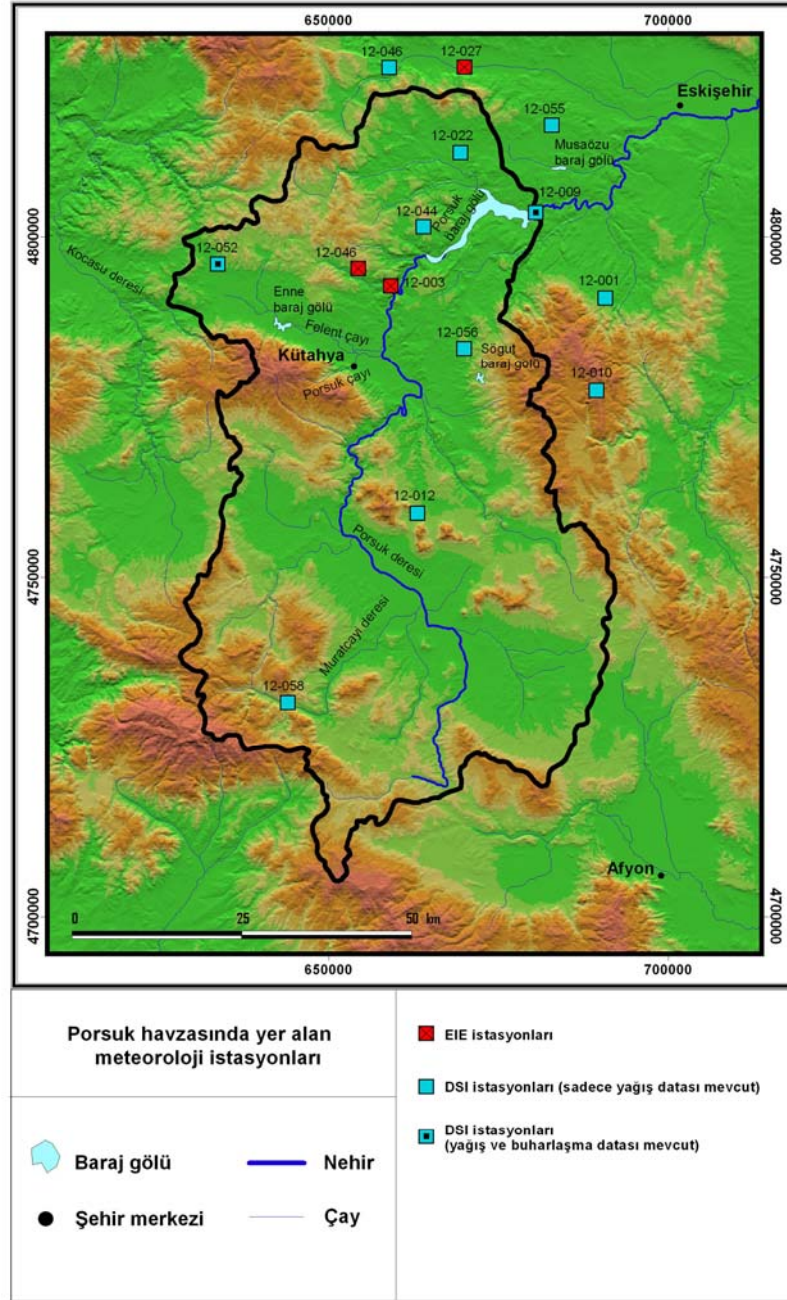
Şekil 6.5’ de havzanın, adı geçen yazılım kullanılarak, hazırlanan haritası verilmektedir.



Şekil 6.5 Porsuk Barajı Havzası.

6.2.1.1 İklim

Tüm havzayı kaplayan iklim bilgilerinin oluşturulması amacıyla DSI'nin havzada yer alan ölçüm istasyonlarından (Şekil 6.6) faydalanılmıştır. Havzanın, 1975- 2000 yılları arasında elde edilen verilere dayanılarak hazırlanan yıllık ortalama yağış haritası Şekil 6.7'de verilmektedir.

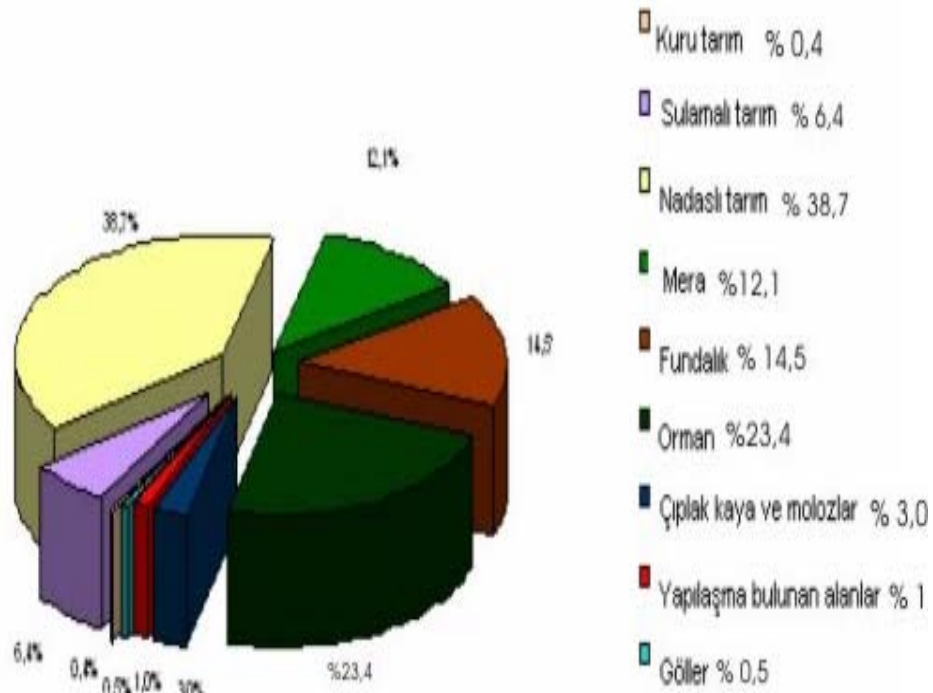


Şekil 6.6 Porsuk havzasında yer alan meteoroloji istasyonları.

6.2.1.3 Arazi Kullanımı

Porsuk havzasından arazinin üçte birinden fazlası nadaslı tarım arazisidir (Şekil 6.9). Nadaslı tarım arazileri genellikle havzanın kuzeybatı ve güneydoğusunda yer almaktadır.

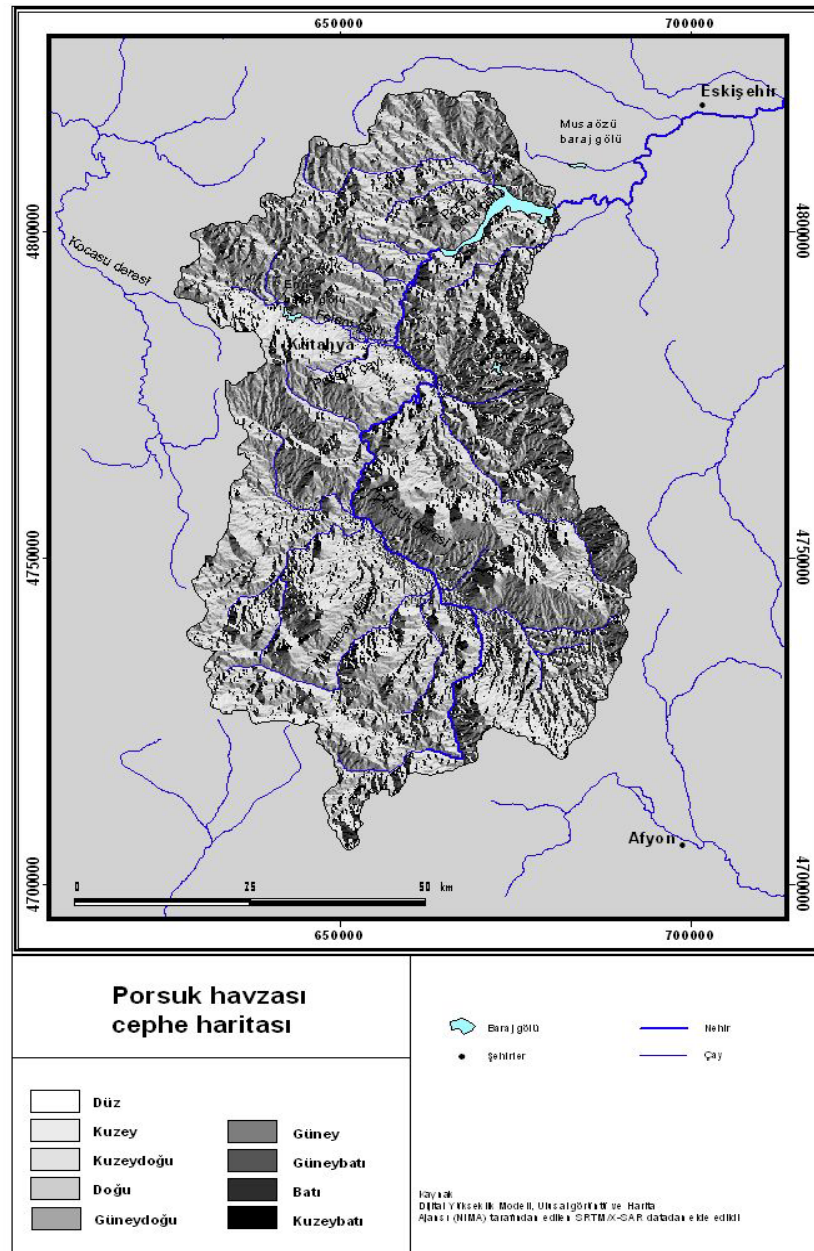
Ormanlık ve fundalık alanların toplamı 1784,29 km² olup % 37,92 luk bir dilim ile havzanın ikinci büyük bitki örtüsü sınıfını oluşturmaktadır. Mera alanları % 12,1 ile havzanın diğer bir önemli bitki örtüsü sınıfı durumundadır. Porsuk havzasındaki yerleşim alanları ise (yaklaşık % 1,0) dağınık haldeki yerleşim birimlerinden meydana gelmektedir. Porsuk çayından sulama amaçlı faydalanılması nedeniyle sulu tarım yapılan araziler (% 6,4), Porsuk Çayı kıyısında ve çoğunlukla havzanın güneyi ile Kütahya ilinin kuzeyinde yer almaktadır . Çıplak kayalık alanlar (% 3,0) Porsuk baraj gölünün kuzey ve güneyinde bulunmaktadır. Diğer bir arazi kullanım sınıfı olan kuru tarım arazileri havzada oldukça düşük bir yüzdeye sahiptir (% 0.4). Havzadaki durgun yüzeysel sular ise baraj göllerinden (Porsuk, Musaözü, Enne Söğüt baraj gölleri) oluşmaktadır.



Şekil 6.9 Porsuk havzasında arazi kullanım sınıflarının yüzdelik dağılımı.

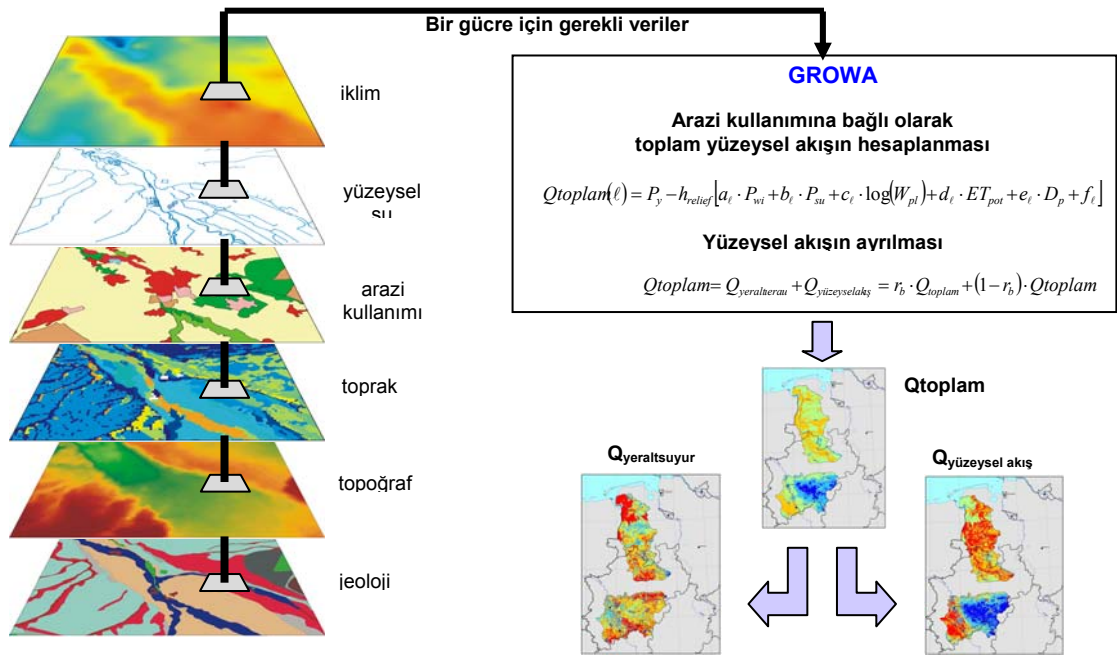
Bu işlem için yazılımın ek bir uzantısı olan DEMAT fonksiyonundan yararlanılmıştır. Daha sonraki adımda ise Horn metodu seçilerek, yazılımın, eğim ve cephe haritalarını bu yöntemle göre hesaplaması sağlanmıştır.

SRTM verilerinden hesaplanan eğim havzadaki jeolojik durum hakkında bir fikir edinilmesini sağlar. Özellikle eğimin %2'den az olduğu yerler konsolide olmayan kayaçların bulunduğu bölgelerdir. En yüksek eğime (%25) sahip araziler Kütahya ilinin batısında görülmektedir.



Şekil 6.13 Porsuk havzası cephe haritası.

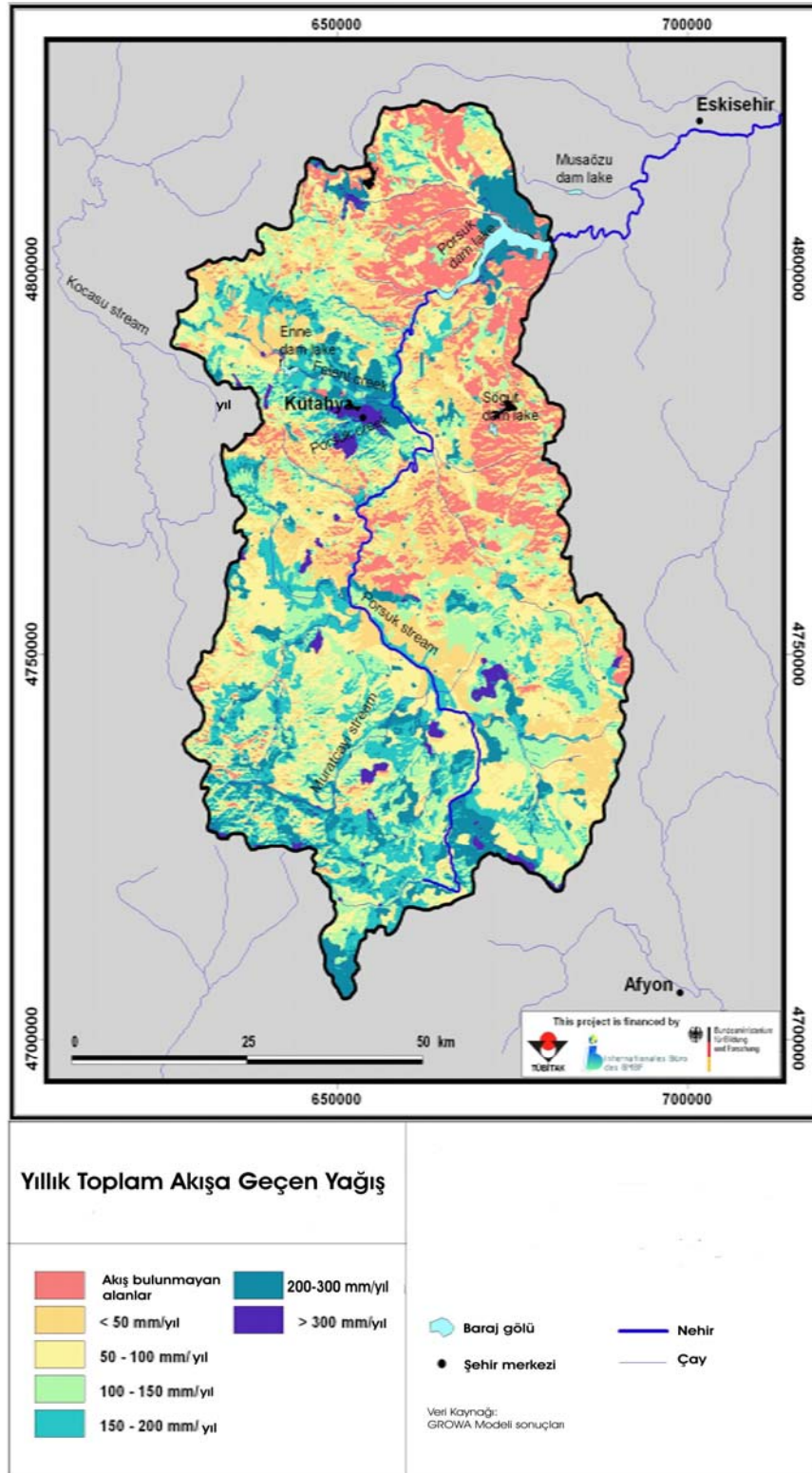
Hazırlanan bu veriler ve akarsu debileri kullanılarak GROWA modeli ile havzadaki su döngüsü bileşenleri (evapotranspirasyon, yeraltı suyuna geçen akış ve yüzeysel akış) hesaplandı ve haritalar şeklinde elde edildi. Akarsu debileri modelin kalibre edilmesi amacıyla kullanıldı. Şekil 6.15’de modelin çalışma prensibi verilmektedir.



Şekil 6.15 GROWA modeli çalışma prensibi (Bogena et al., 2005).

6.2.2 Model Sonuçları ve Değerlendirme

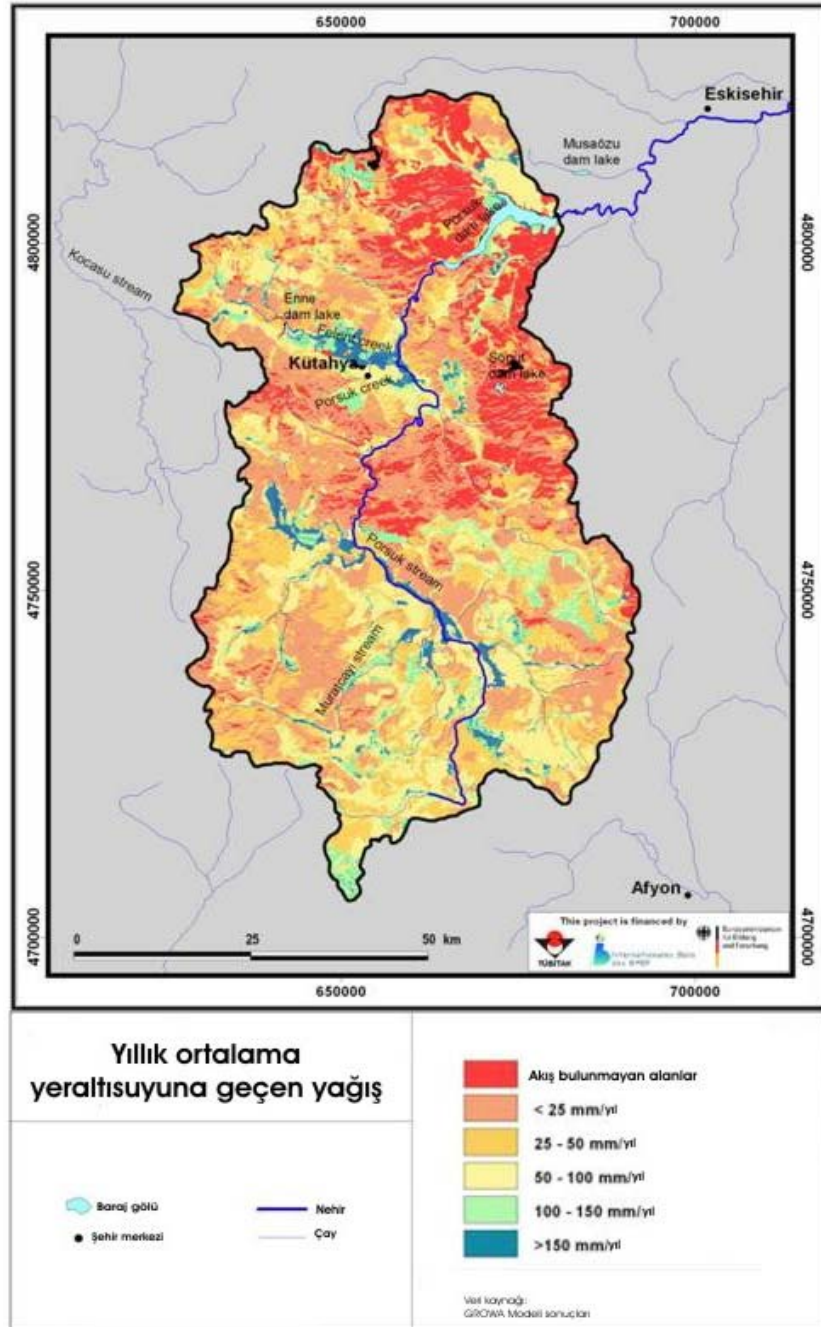
Şekil 6.16’ de GROWA modelinden alınmış ilk sonuçlar görülmektedir buna göre yağışın en fazla yüzeysel akışa geçtiği yerler (> 300 mm/yıl) Kütahya il merkezi ile havzanın güney batı ve güney doğusunda yer alan sınırlı bazı bölgelerdir. Havzanın arazi kullanım haritasına baktığımızda (Şekil 6.11) bu alanlardan Kütahya il merkezi dışındaki yerlerin fundalık alanlar ile çayır ve meralar olduğu görülmektedir. İkinci olarak yüzeysel akışın yüksek (200-300 mm/yıl) görüldüğü yerler ise havzanın güneyi ile nehrin, havzanın batısında kalan kollarının çevresi ve Kütahya ilinin kuzey kesimleridir. Havzanın güneyinde ve Kütahya ilinde eğimin oldukça fazla olması buralarda akışın yüksek olmasını etkileyen önemli bir faktördür.



Şekil 6.16 GROWA Modeline göre yıllık toplam akışa geçen yağış.

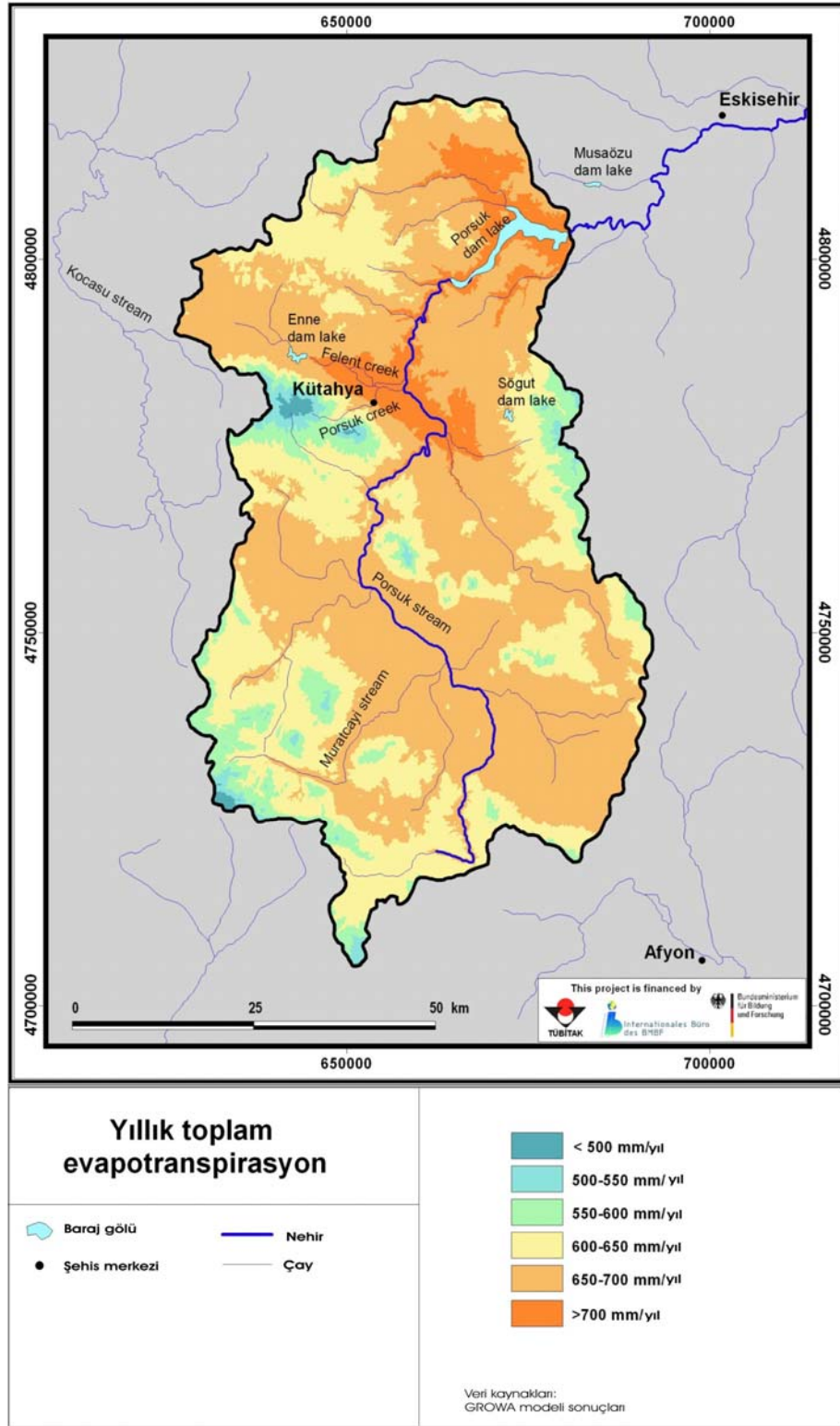
50-200 mm/yıl akışın görüldüğü alanlar ise çoğunlukla nadaslı tarım yapılan alanlardır. Yine arazi kullanımı haritasıyla karşılaştırıldığında ormanlık alanlarda, oldukça yüksek bir eğim olmasına rağmen, hemen hemen hiç yüzeysel akış görülmemektedir.

Şekil 6.17’de havzaya gelen toplam yağışın yeraltısuyuna geçen miktarları veren model sonucu görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi yeraltı suyuna en fazla geçiş nehir kolları boyunca görülmektedir.



Şekil 6.17 GROWA Modeline göre yeraltı suyuna geçen yıllık toplam yağış.

Şekil 6.18’de ise havzanın yıllık toplam evapotranspirasyon haritası yeralmaktadır.



Şekil 6.18 GROWA Modeline göre yıllık toplam evapotranspirasyon.

En yüksek evapotranspirasyon değerleri, özellikle ormanlık alanlar ile yükseltinin az olduğu nehir kolları boyunca görülmektedir.

6.3 Besi Maddesi Modelinin Uygulanması

Detaylı bir besi maddesi modeli, en azından sudaki mikroskobik canlılar ve özellikle algler için temel teşkil eden, azot ve fosfor gibi besi maddelerinin çevrimini içine almalıdır. (Karpuzcu, 1978).

Kullanılan modelde azotun:

1. $\text{NH}_4\text{-N}$ (amonyum azotu)
2. $(\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N})$ (nitrit + nitrat azotu)
3. Bağlı organik azot (biyokütlede)
4. Çözünmüş organik azot olmak üzere dört formu,

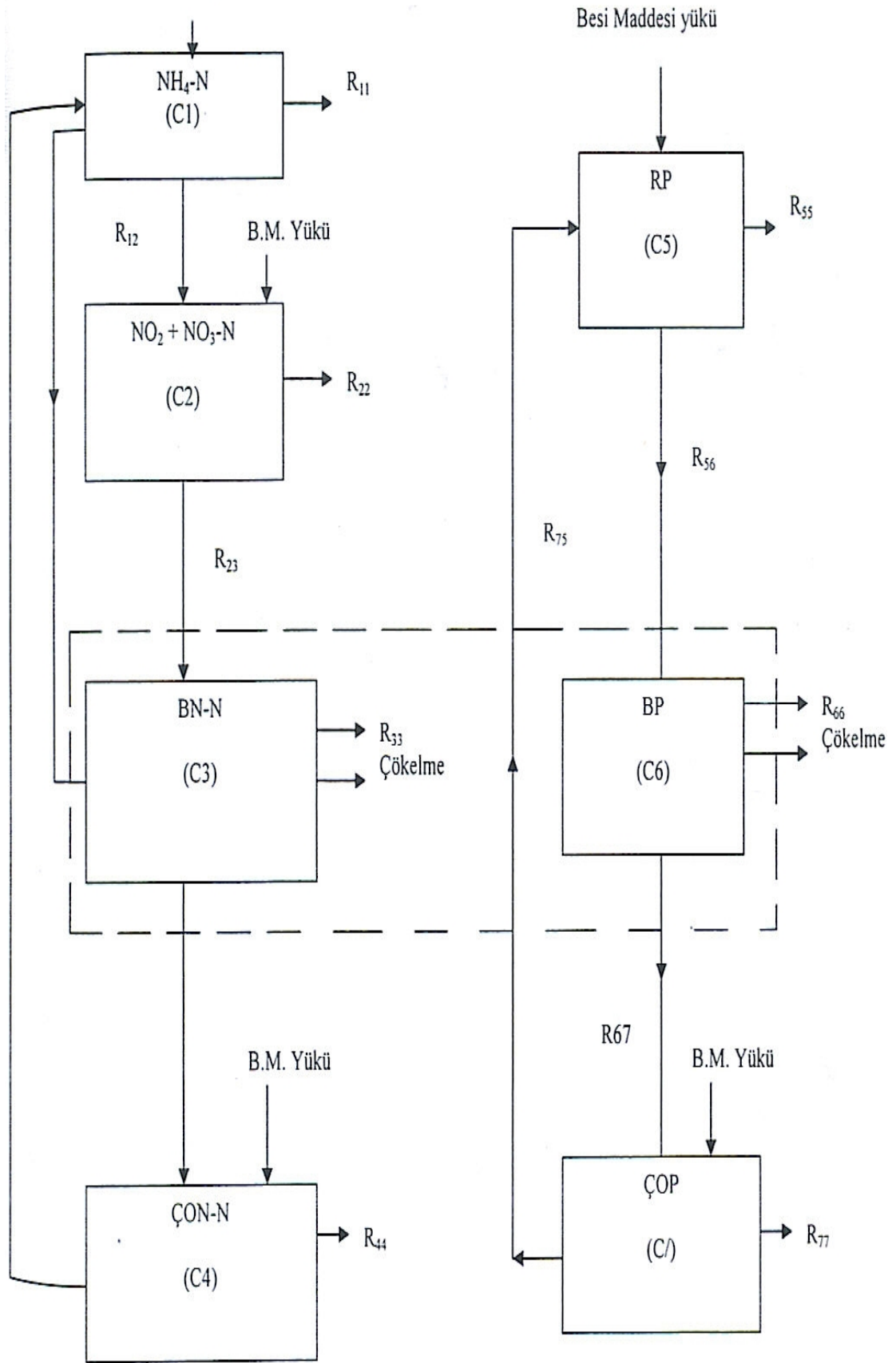
fosforun ise:

1. Reaktif – P (inorganik – ortofosfat)
2. Bağlı – P
3. Çözünmüş organik – P olmak üzere üç ayrı formu ele alınmıştır.

Yüzeysel sulardaki besi maddesi çevrimi fazla derin olmayan su yatakları ve derinliği fazla olamayan tabakalaşmış suların öfotik bölgeleri için Şekil 6.19'da gösterilmiştir.

Kullanılacak modeldeki çevrim için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

1. Nitrit ve nitrat tek bir azot formu olarak ele alınmıştır. Bunun sebebi nitritin çok kısa zamanda nitrata dönüşen bir ara ürün olması ve yüzeysel sulardaki $\text{NO}_2\text{-N}$ 'nin $\text{NO}_3\text{-N}$ 'a nazaran çok düşük konsantrasyonlarda bulunması,
2. Alglerin atmosferden temin ettikleri azot (fixation) ihmal edilmiştir. Bunun sebepleri:
 - a) Atmosferden bağlanan azotun biyokimyası henüz açıklık kazanmamıştır. Sadece belirli algler atmosferden azot alabilmektedir.



Şekil 6.19 Nütriënt modelinde besi maddesi çevrimi prensibi

- b) Atmosferden kazanılan N hakkında hassas ve güvenilir veriler mevcut değildir.
 - c) Azot çevriminin bütünü göz önüne alındığında bu değer, diğer azot bileşiklerine nazaran önemsiz kalmaktadır.
3. Modelde en yüksek trofik kademe olarak biyokütledeki azot ve fosfor ele alınmıştır. Bu değer yardımıyla fitopankton konsantrasyonlarının hesabı mümkündür. Klorofil-a (fitoplanktonun ölçüsü olarak) toplam fosfor konsantrasyonu yardımı ile hesaplanabilmektedir. $[Klorofil-a = 0,8 * P_{top} \text{ (mg/m}^3\text{)}]$
4. Zooplankton ve daha yüksek trofik kademedeki canlılar ihmal edilmiştir. Çünkü:
- a) Zooplanktonların besin maddesi kullanma hızı büyük ve metabolizma faaliyetleri son derece hızlıdır. Alınan besin maddeleri çok kısa zamanda ortama geri verilmektedir (ifrazat).
 - b) Zooplanktonların ortamdan aldıkları ve kısa sürede ortama bıraktıkları besin maddeleri bünyelerine tuttuklarından çok daha fazladır (Ortamdan alınan besin maddesinin çok az bir kısmı bünyelerinde tutulmaktadır).
 - c) Salgı neticesinde bırakılan besin maddeleri genel olarak NH_3-N , amino asitler ve üre şeklinde olup bunlar algler tarafından doğrudan kullanılabilir.
 - d) Fitoplankton konsantrasyonunun büyük olması halinde, zooplanktonlar tarafından kullanılan fitoplanktonun hemen hemen tamamı ortama geri verilmektedir.

Ayrıca zooplanktonun tesiri kısmen reaksiyon katsatılarına yansıtılmıştır. Dolayısıyla zooplanktonun çevrime dahil edilmemesi besin maddelerinin elde edilmesinde fazla bir sakınca teşkil etmemektedir.

6.3.1 Tam Karışım Hal İçin Matematik İfadeler

Modelde, kış mevsiminde tam karışmanın olduğu, gölde tabakalaşmanın bulunmadığı ve ayrışmanın tüm göl hacminde gerçekleştiği kabulü ile her bir besi maddesi için kütle korunum denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{Vd(C1)}{dt} = Q_g(C1)_0 - Q_{\zeta}(C1) - VR_{12}(C1) - V_{\phi}R_{13}(C1) + VR_{41}(C4) + WI \quad (6.1)$$

$$\frac{Vd(C2)}{dt} = Q_g(C2)_0 - Q_{\zeta}(C2) - VR_{12}(C1) - V_{\phi}R_{23}(C2) + W2 \quad (6.2)$$

$$\frac{Vd(C3)}{dt} = V_{\phi}R_{13}(C1) + V_{\phi}R_{23}(C2) - \frac{V^*G}{Z}(C3) - R_{34}V(C3) - Q_{\zeta}(C3) \quad (6.3)$$

$$\frac{Vd(C4)}{dt} = Q_g(C4)_0 - Q_{\zeta}(C4) - R_{34}V(C3) - R_{41}V(C4) + W4 \quad (6.4)$$

$$\frac{Vd(C5)}{dt} = Q_g(C5)_0 - Q_{\zeta}(C5) - V_{\phi}R_{56}(C5) - VR_{65}(C7) + W5 \quad (6.5)$$

$$\frac{Vd(C6)}{dt} = V_{\phi}R_{56}(C5) + VR_{67}(C6) - \frac{V^*G}{Z}(C6) - Q_{\zeta}(C6) \quad (6.6)$$

$$\frac{Vd(C7)}{dt} = Q_g(C7)_0 - Q_{\zeta}(C7) - VR_{67}(C6) - VR_{67}(C7) + W7 \quad (6.7)$$

Burada , Q_g göle giren suyun debisini; Q_{ζ} gölden çıkan suyun debisini, $(C1)_0, \dots, (C7)_0$ terimleri giren suyun besi maddesi konsantrasyonunu, V göl hacmini, Z göl derinliğini göstermektedir.

(6.1) ve (6.7) denklemleri konsantrasyonlara göre düzenlenir ve göle giren suyun taşıdığı besi maddeleri de besi maddesi yükünü ifade eden W terimlerine dahil edilerek yeniden ifade edilirse aşağıdaki eşitlikler bulunur.

$$\frac{dC1}{dt} = -(R_{12} + R_{13} + \frac{Q_C}{V}) * (C1) + R_{41}C_4 + \frac{W1}{V} \quad (6.8)$$

$$\frac{dC2}{dt} = R_{12}(C1) - (R_{23} + \frac{Q_C}{V}) * (C2) + \frac{W2}{V} \quad (6.9)$$

$$\frac{dC3}{dt} = R_{13} * (C1) + R_{23}(C2) - (R_{34} + \frac{Q_C}{V}) * (C3) \quad (6.10)$$

$$\frac{dC4}{dt} = R_{34}(C3) - (R_{41} + \frac{Q_C}{V}) * (C4) + \frac{W4}{V} \quad (6.11)$$

$$\frac{dC5}{dt} = -(R_{56} + \frac{Q_C}{V}) * (C5) + R_{75}(C7) + \frac{W5}{V} \quad (6.12)$$

$$\frac{dC6}{dt} = +R_{56}(C5) - (R_{67} + \frac{G}{Z} + \frac{Q_C}{V}) * (C6) \quad (6.13)$$

$$\frac{dC7}{dt} = R_{67}(C6) - (+R_{75} + \frac{Q_C}{V}) + \frac{W7}{V} \quad (6.14)$$

Parantez içindeki terimler:

$$A_{11} = -(R_{12} + R_{13} + Q_C/V)$$

$$A_{14} = R_{14}$$

$$A_{21} = R_{12}$$

$$A_{22} = -(R_{23} + Q_C/V)$$

$$A_{31} = R_{13}$$

$$A_{32} = R_{23}$$

$$A_{33} = -(R_{34} + \frac{G}{Z} + \frac{Q_C}{V})$$

$$A_{43} = R_{34}$$

$$A_{44} = -(R_{41} + \frac{Q_C}{V})$$

$$A_{55} = -(R_{56} + \frac{Q_c}{V})$$

$$A_{57} = R_{75}$$

$$A_{65} = \frac{V_{\delta}}{V} R_{56}$$

$$A_{66} = -(R_{67} + G/Z + Q_c/V)$$

$$A_{76} = R_{67}$$

$$A_{77} = -(R_{75} + \frac{Q_c}{V})$$

şeklinde belirtilen katsayılar ile gösterilip (6.8)-(6.14) denklem takımında yerlerine konursa:

$$\frac{dC1}{dt} = A_{11}(C1) + A_{14}(C4) + W'1 \quad (6.15)$$

$$\frac{dC2}{dt} = A_{21}(C1) + A_{22}(C2) + W'2 \quad (6.16)$$

$$\frac{dC3}{dt} = A_{31}(C1) + A_{32}(C2) + A_{33}(C3) \quad (6.17)$$

$$\frac{dC4}{dt} = A_{43}(C3) + A_{44}(C4) + W'4 \quad (6.18)$$

$$\frac{dC5}{dt} = A_{55}(C5) + A_{57}(C7) - W'5 \quad (6.19)$$

$$\frac{dC6}{dt} = A_{65}(C5) + A_{66}(C6) \quad (6.20)$$

$$\frac{dC7}{dt} = A_{76}(C6) + A_{77}(C7) + W'7 \quad (6.21)$$

şeklindeki daha basit diferansiyel denklemler elde edilir.

(6.15)-(6.21) denklemleri matris şeklinde daha kısa olarak:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & 0 & 0 & A14 & 0 & 0 & \\ A21 & A22 & A23 & 0 & 0 & 0 & \\ A31 & A32 & A33 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & A43 & A44 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A55 & 0 & A57 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A65 & A66 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A76 & A77 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W'1 \\ W'2 \\ 0 \\ W'4 \\ W'5 \\ 0 \\ W'7 \end{bmatrix} \quad (6.22)$$

şeklinde ifade edilebilir.(6.22) denklemi matris notasyonu ile:

$$\frac{d}{dt} (C)_1 \times 7 = [A]_{7 \times 7} (C)_1 \times 7 + (W')_1 \times 7 \quad \text{şeklinde yazılabilir.} \quad (6.23)$$

6.3.2 Modelin Giriş Verilerinin Hazırlanması

Herhangi bir modelin çalıştırılmasından önce eldeki verilerin tümünün bir değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Modelleme çalışmalarının gerçek duruma en yakın sonuçları verebilmesi açısından güvenilir bir veri setinin oluşturulması çok önemlidir.

Seçilen veri seti Fortrand (Fortran 97) çalıştırılmak üzere WordPad programına aktarıldı. Gölün giriş ve çıkış debileri, su sıcaklığı, amonyum, nitrit ve nitrat azotu, bağlı organik azot, çözünmüş organik azot, fosfat, bağlı fosfor ve çözünmüş organik azot konsantrasyon değerlerinden oluşan giriş verilerinin hazırlanması için izlenen yöntemin açıklamasını anlatan bir Çizelge 6.3'de verilmiştir.

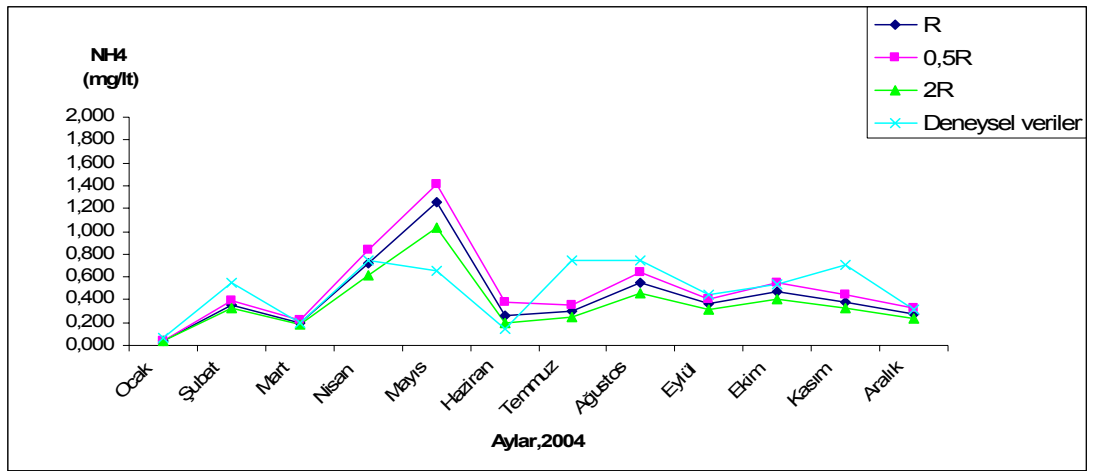
Çizelge 6.3 Giriş verilerinin hazırlanma formatı

	Debi 10 ⁶ m ³ /ay		Sıcaklı °C	NH ₄ +N ₃ mg/Lt	NO ₂ +NO ₃ mg/Lt	Bağlı org N mg/Lt	Çöz. org. N mg/Lt	Reaktif .P mg/Lt	Bağlı P mg/Lt	Çöz. org.P mg/Lt
	Giriş	Çıkış								
Ocak	0.36336	0.3633	5	0.07	0,193	0	0	0.04	0.06	0.06
Aralık	0.2914	0.2914	4	0,31	0,85	0	0	0.25	0.25	0.25
Format	12F4.2	12F4.2	12I4	12F5.2	12F5.2	12F5.2	12F5.2	12F4.3	12F4.3	12F4.3

6.3.3 Katsayıların Belirlenmesi

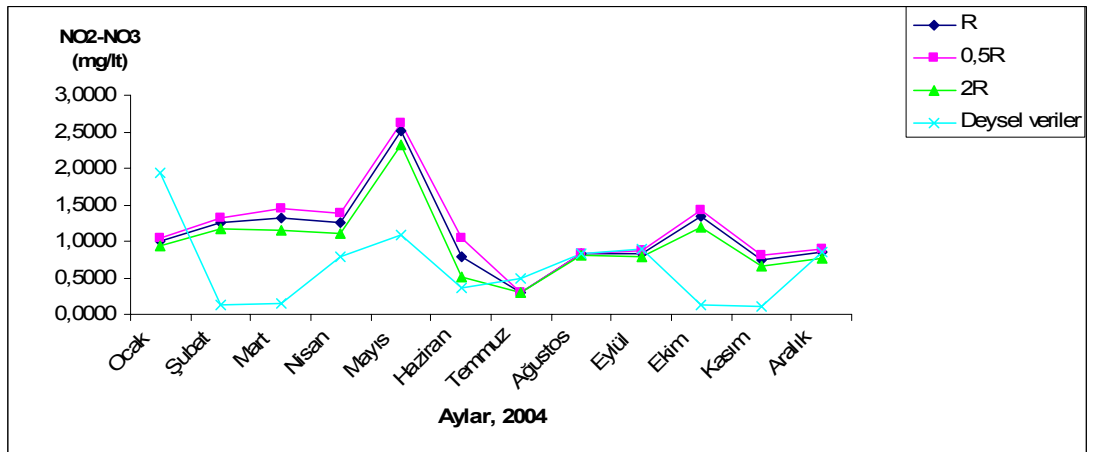
Deneyisel verilerin Model sonuçları ile karşılaştırılması esasına dayalı model kalibrasyonu, baraj gölünün 2004 yılına ait veriler ile gerçekleştirildi.

R reaksiyon sabitlerinin değerlerinin yarısının ve iki kat artırılması ile model sonuçlarında gözlemlenen değişim incelendi. Şekil 6.20’de görüldüğü gibi, amonyum için, deneyisel veriler en uygun model sonuçları reaksiyon sabitlerinin iki katı artırılması ile elde edilmektedir.



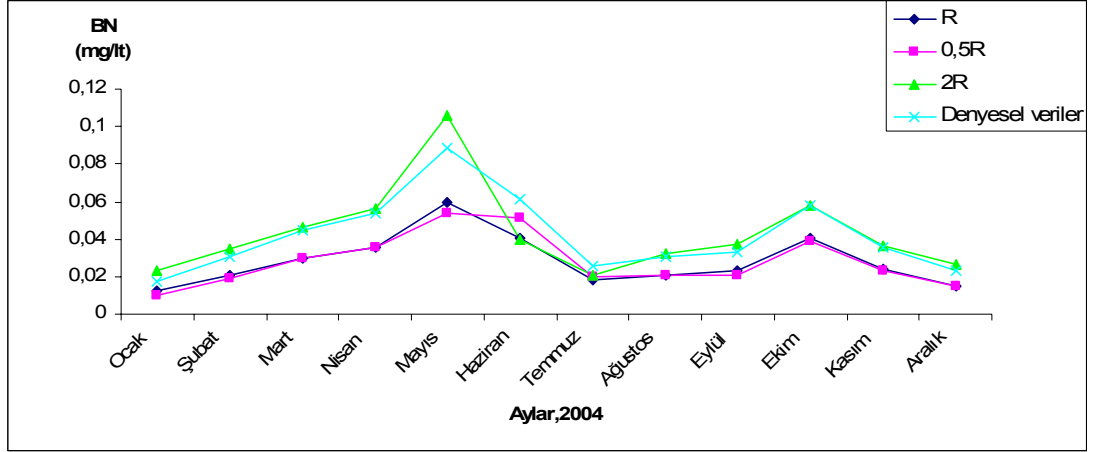
Şekil 6.20 Amonyum için, R katsayılarına göre konsantrasyon değişimi.

Nitrit-Nitrat azotu için (Şekil 6.21) reaksiyon sabitlerindeki bu yöndeki bir değişimin Haziran–Eylül ayları arasında, iyi sonuç vermesine karşın diğer aylarda iyi sonuç vermediği gözlemlenmektedir.



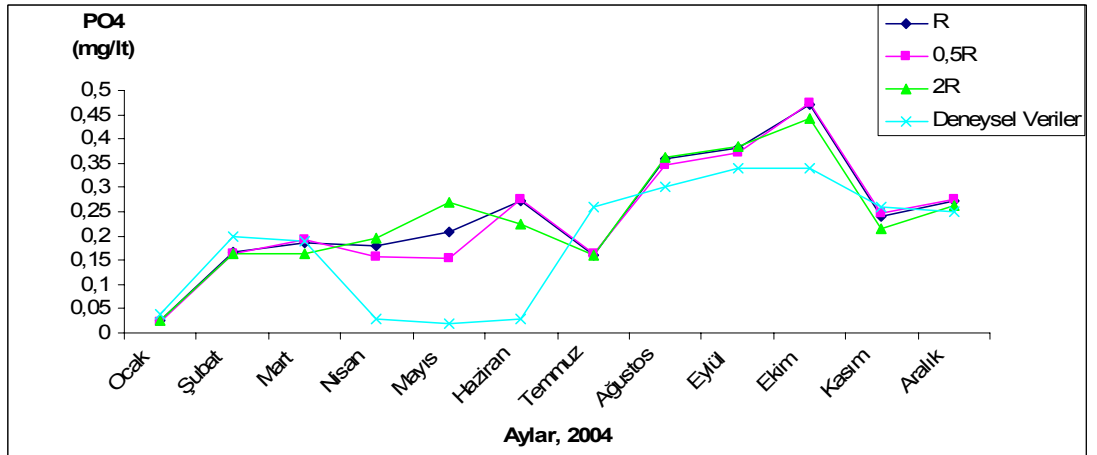
Şekil 6.21 Nitrit-Nitrat için, R katsayılarına göre konsantrasyon değişimi.

Bağı azot için elde edilen grafik (Şekil 6.22) incelendiğinde, yine R katsayısının iki katı artırılması ile elde edilen model sonuçlarının, modelin şu anki kat sayılarına göre Porsuk Barajı için daha iyi bir sonuç verdiği gözlemlenmektedir.



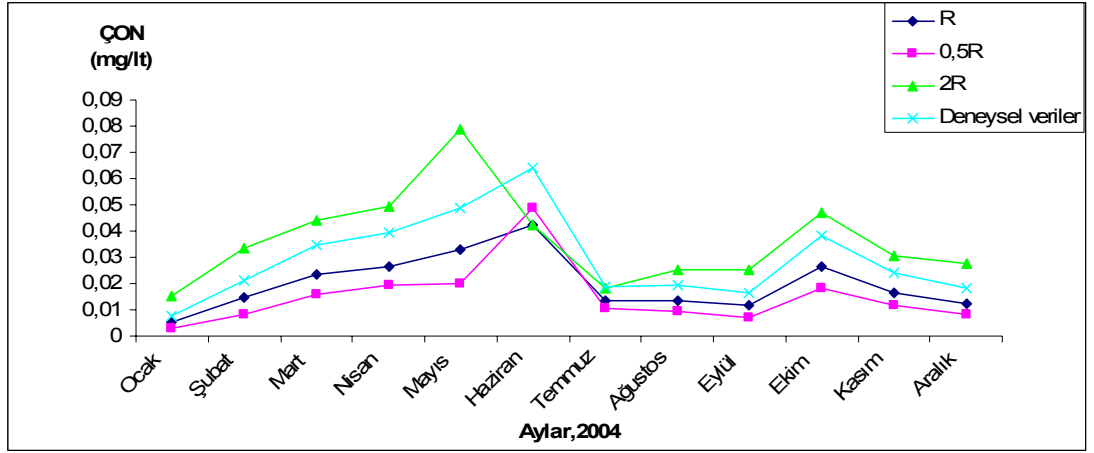
Şekil 6.22 Bağı azot için, R katsayılarına göre konsantrasyon değişimi.

Fosfat için ise özellikler Nisan-Temmuz ayları arasındaki deneysel verilerle karşılaştırıldığında model sonuçlarında bir uyumsuzluk gözlenmektedir (Şekil 6.23).



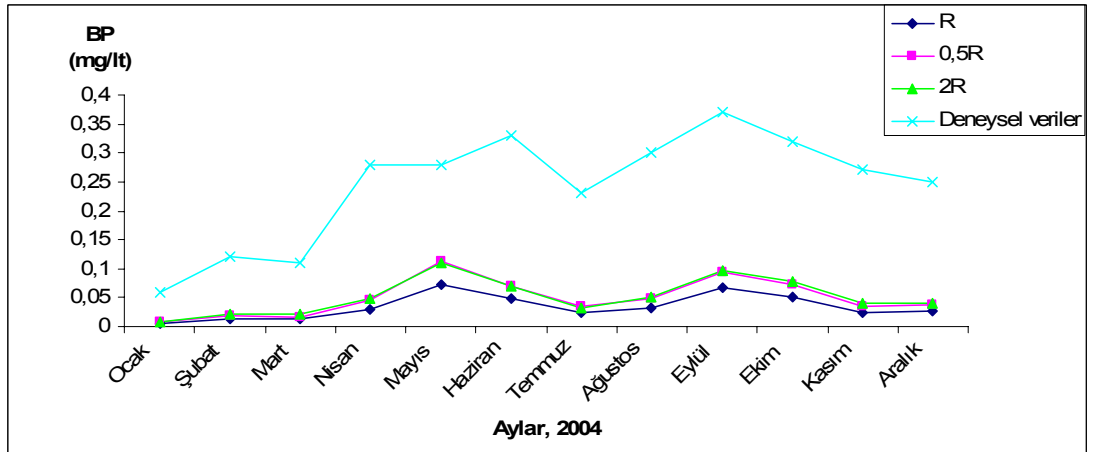
Şekil 6.23 Fosfat için, R katsayılarına göre konsantrasyon değişimi.

Çözünmüş organik azot için grafiği değerlendirdiğimizde, en iyi uyumun yine reaksiyon katsayılarını iki kat artırılması ile elde edildiğini görülmektedir (Şekil 6.24).



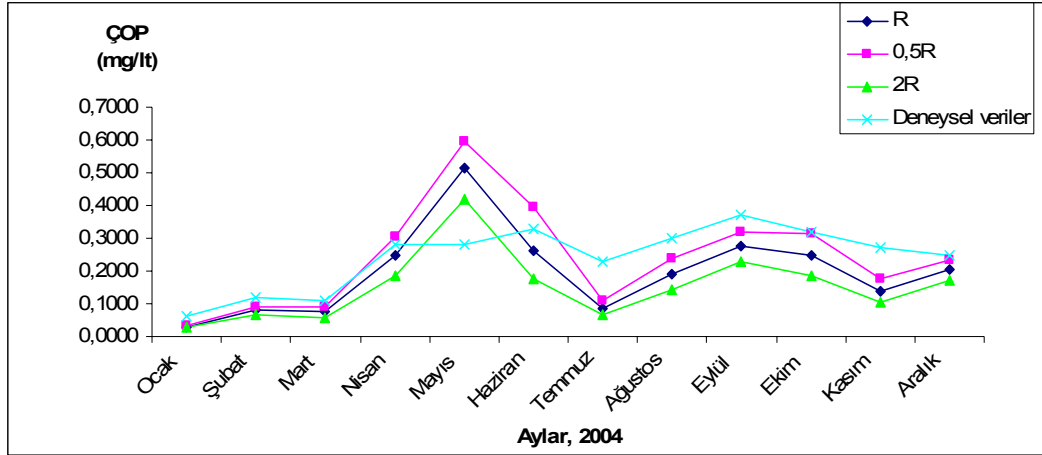
Şekil 6.24 Çözünmüş organik azot için , R katsayılarına göre konsantrasyon değişimi.

Bağlı fosfor için modelin uygun sonuç vermediği gözlemlenmektedir (Şekil 6.25).



Şekil 6.25 Bağlı fosfor için R katsayılarına göre konsantrasyon değişimi.

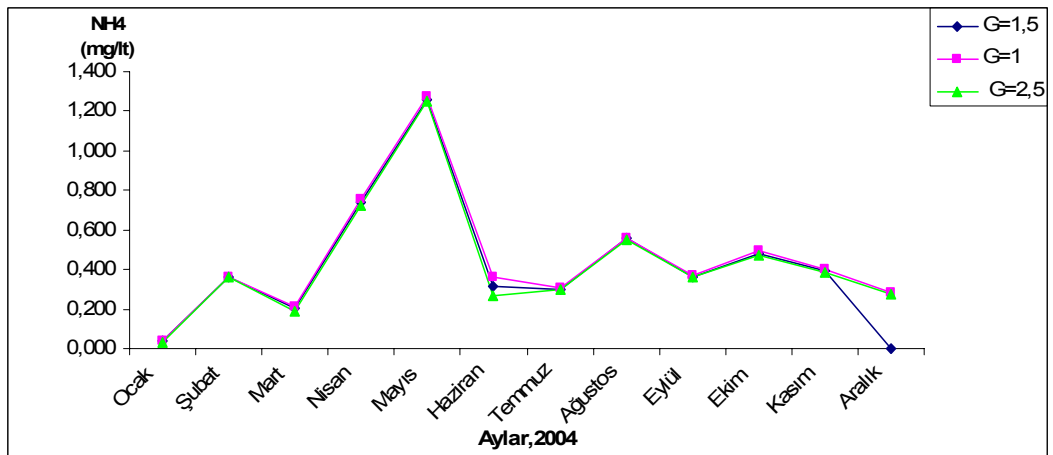
Son olarak çözünmüş organik fosfora baktığımızda ise (Şekil 6.26), reaksiyon sabitinin iki kat artırılması ile elde edilen model sonuçlarının deneysel veriler ile en iyi uyumu sağladığı görülmektedir.



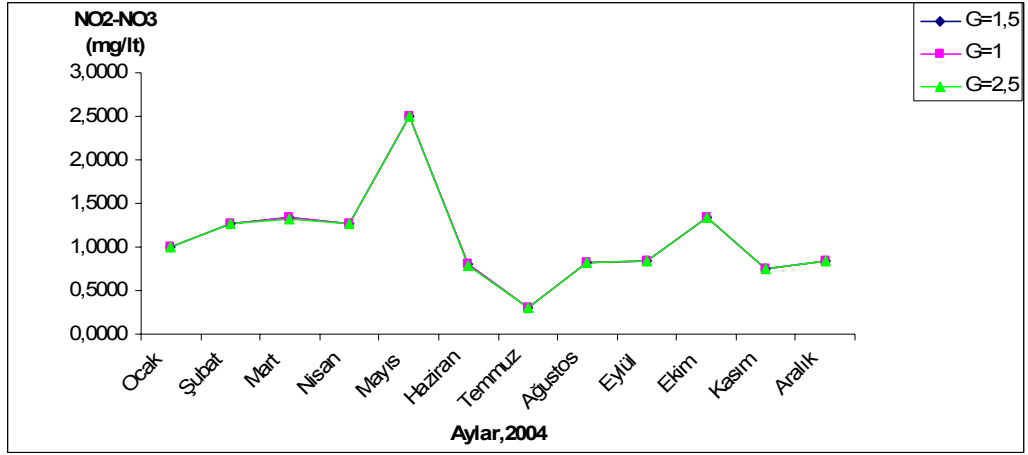
Şekil 6.26: Çözünmüş organik fosfor için R katsayılarına göre konsantrasyon değişimi.

Modelde çökeltme katsayıları 3 farklı değer olarak alınabilmektedir buna göre $G=1$, $G=1,5$ ve $G=2,5$ değerleri için modelde gözlemlenen değişim aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.

İlk iki grafiğe bakıldığına (Şekil 6.27 ve Şekil 6.28) çökeltme katsayısının amonyum ve nitrit-nitrat azotu konsantrasyonlarının değişimini etkilemediği görülmektedir.

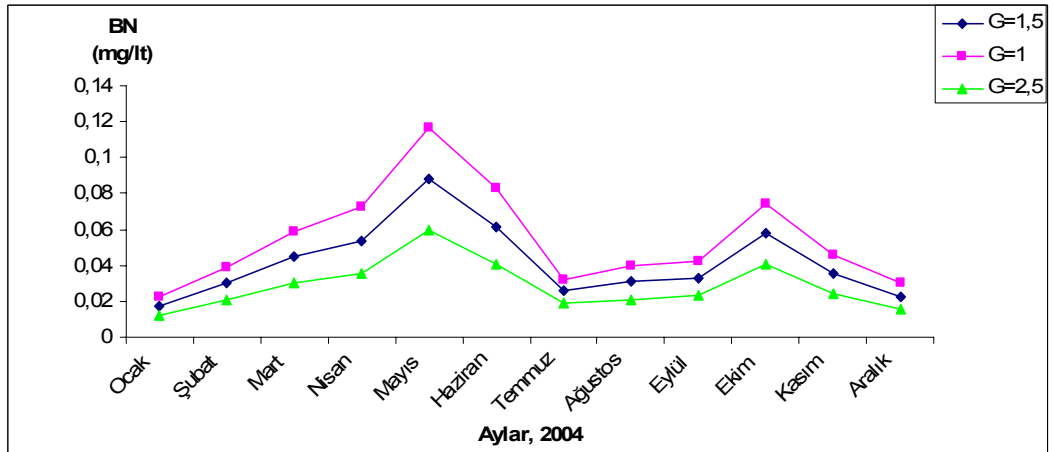


Şekil 6.27 Amonyum için G çökeltme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri.



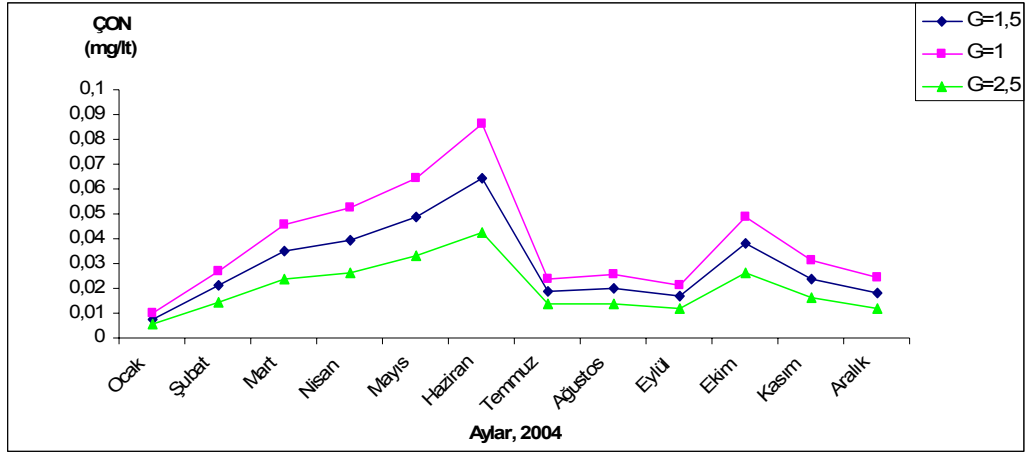
Şekil 6.28 Nitrit-Nitrat için G çökeltme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri.

Bağlı azot için ise çökeltme katsayısının önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.29).



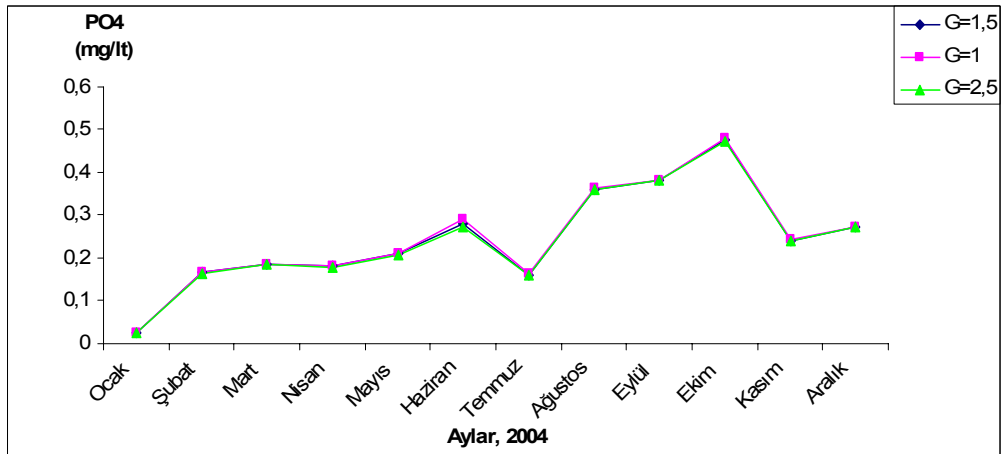
Şekil 6.29. Partiküler azot için G çökeltme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri.

Çözülmüş organik azot için de çökeltme katsayılarının önemli bir etkisi olduğunun görülmektedir (Şekil 6.30).



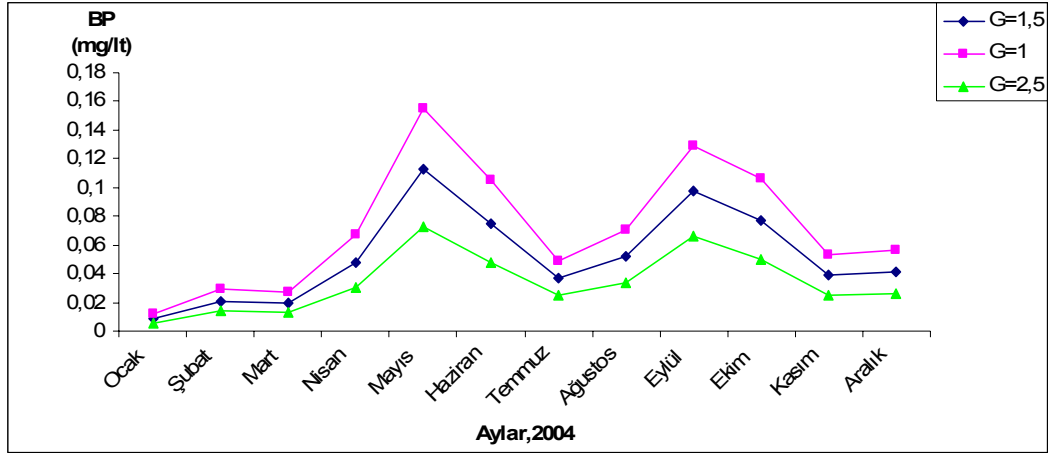
Şekil 6.30 Çözünmüş organik azot için G çökeltme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri.

Fosfat için ise çökeltme katsayısındaki değişimlerin hemen hemen hiç etkisi olmadığı gözlemlenmektedir (Şekil 6.31).

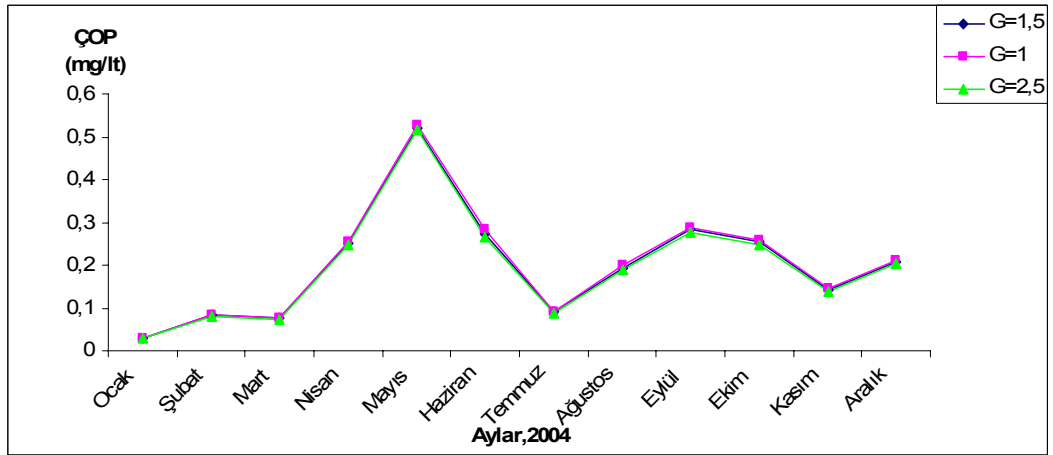


Şekil 6.31 Fosfat için G çökeltme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri.

Ancak bağlı fosfora baktığımızda (Şekil 6.32) bağlı azotta olduğu gibi çökeltme katsayısının önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmektedir. Çözünmüş organik fosfor için ise çökeltme katsayısının önemli bir etkisi bulunmadığı görülmektedir (Şekil 6.33).



Şekil 6.32 Bağlı fosfor için G çökeltme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri.



Şekil 6.33 .Çözünmüş organik fosfor için G çökeltme katsayılarına göre konsantrasyon değişimleri.

6.3.4 Geliştirilen Senaryolar

Bu bölümde porsuk baraj gölünde su ihtiyacının artması nedeniyle gelecek yıllarda su seviyesinin azalmasının su kalitesine etkisi model yardımıyla incelenmiştir. Buna göre barajın

$$V=457 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

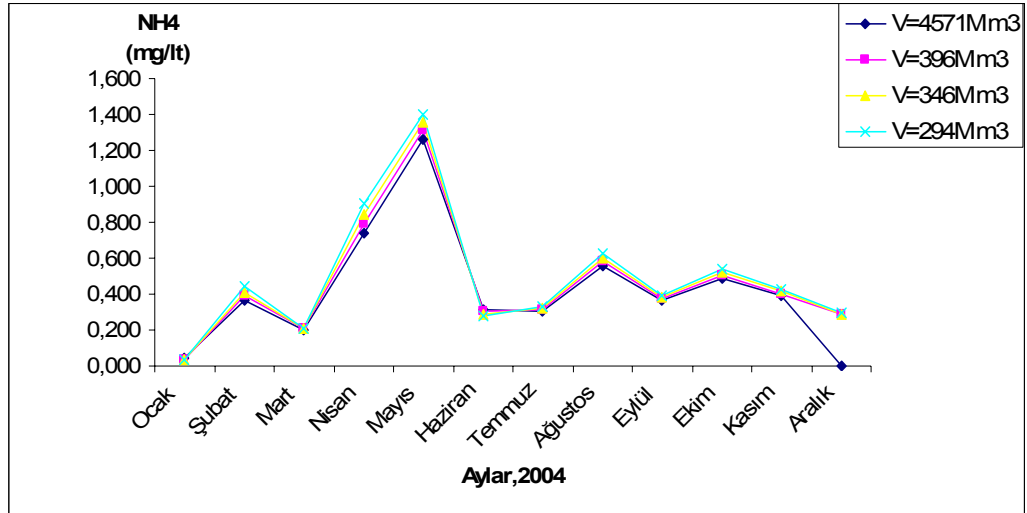
$$V= 396 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V= 346 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

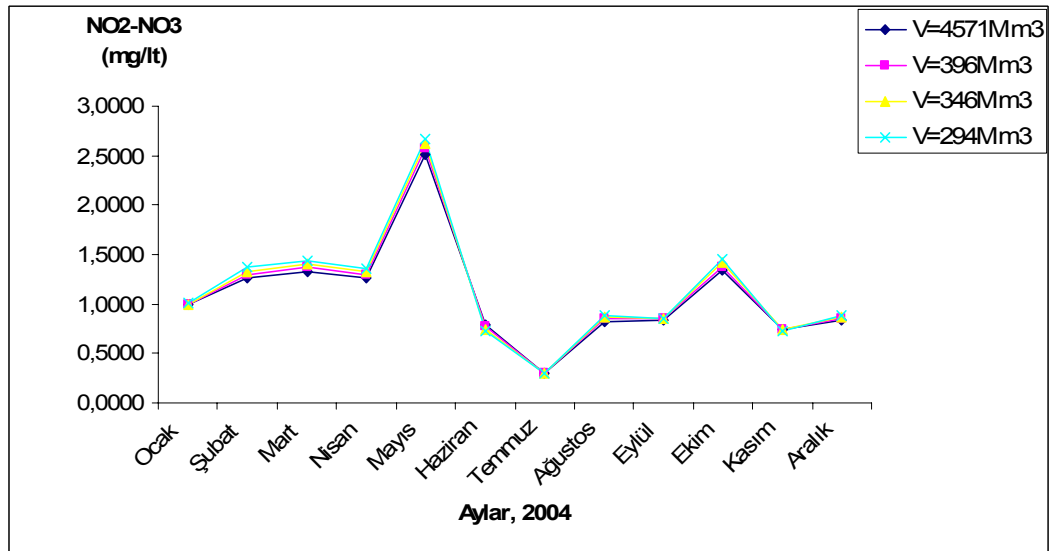
$$V= 294 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Hacim değerleri için elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir. Burada $V=457 \text{ m}^3$ hacmi baraj gölünün şu anki yaklaşık hacmidir.

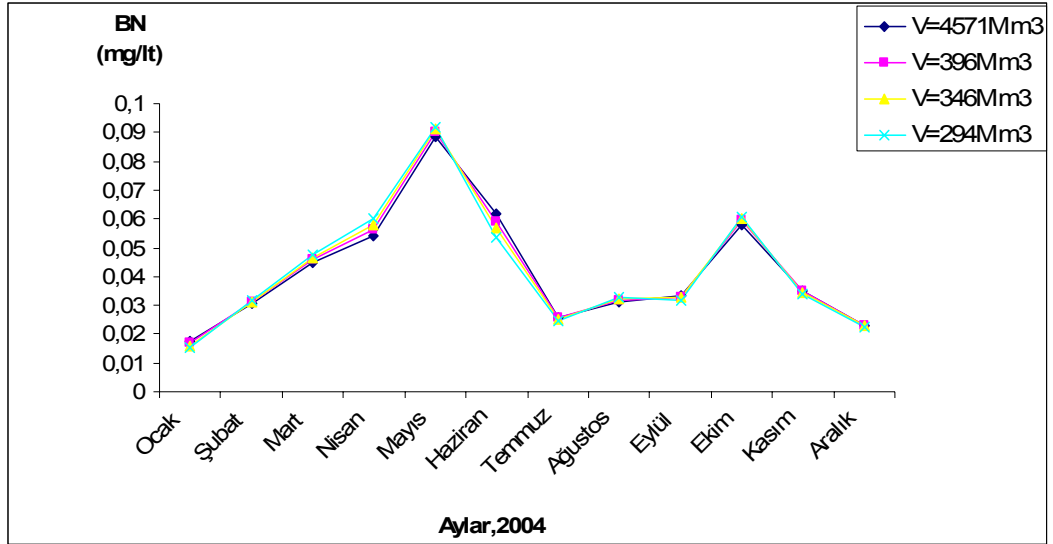
Modelden elde edilen sonuçlara göre, Porsuk Barajında görülebilecek bir su kotu azalması, amonyum, nitrit-nitrat azotu ve bağlı azot konsantrasyonları için önemli bir değişime neden olmamaktadır (Şekil 6.34, Şekil 6.35 ve Şekil 6.36).



Şekil 6.34 Hacim değerlerine göre amonyum azotu konsantrasyonunun değişimi.

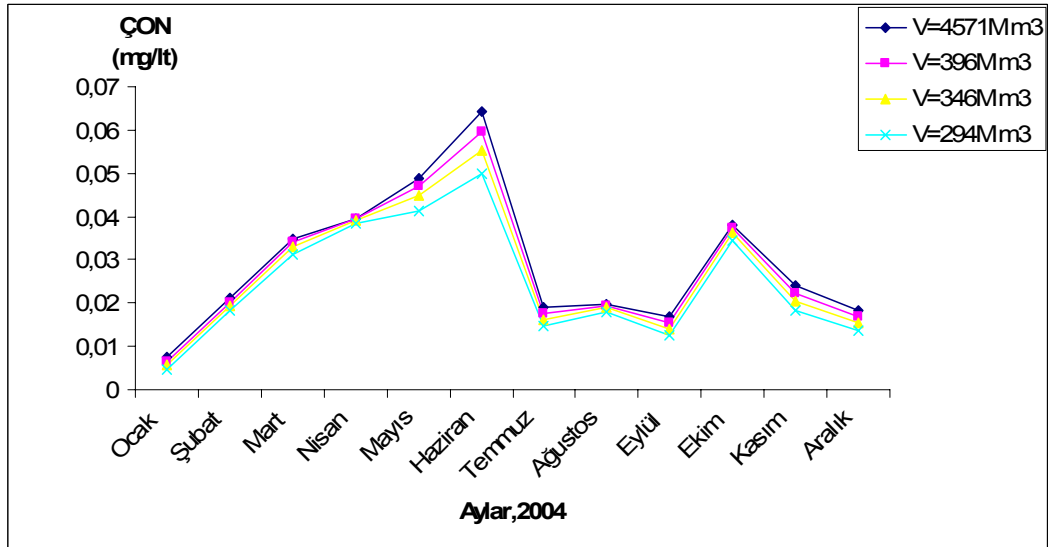


Şekil 6.35 Hacim değerlerine göre nitrit-nitrat azotu konsantrasyonunun değişimi.



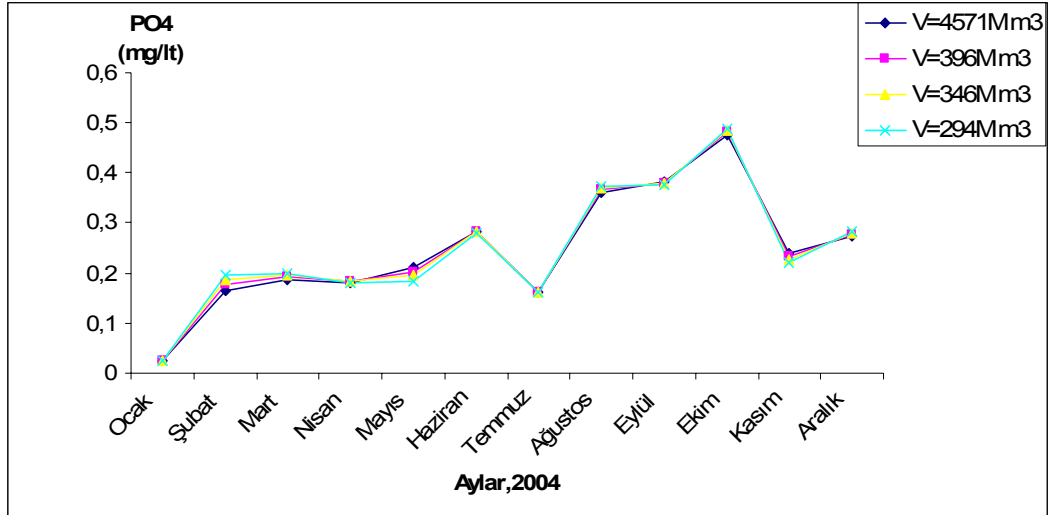
Şekil 6. 36 Hacim değerlerine göre bağlı azot konsantrasyonunun değişimi.

Çözünmüş organik azot için ise (Şekil 6.37) hacim azalması Nisan-Temmuz ayları arasında etkisini gösterirken diğer aylarda hacimdeki bu yöndeki bir azalama önemli bir etkiye sebep olamamaktadır.

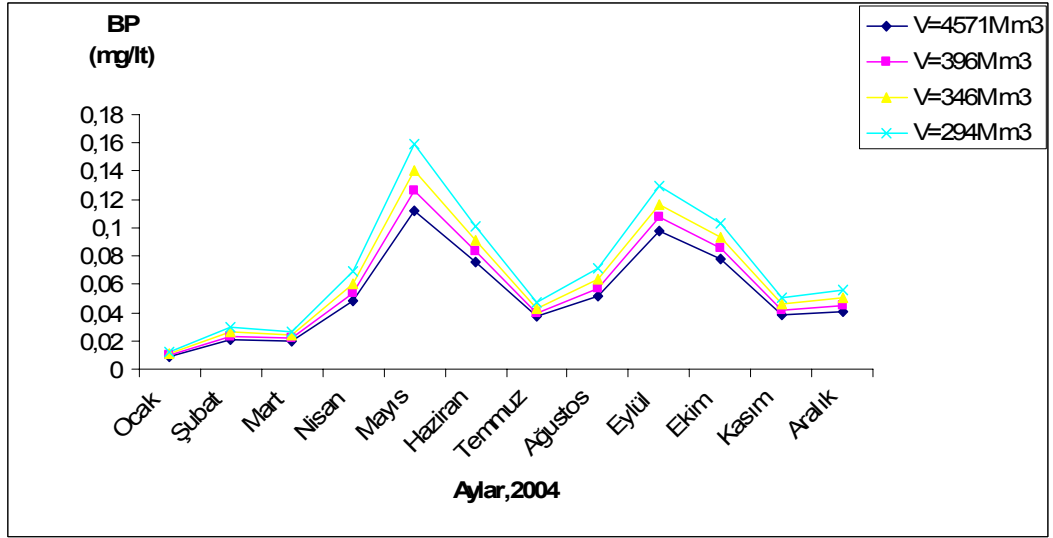


Şekil 6.37 Hacim değerlerine göre çözünmüş organik azot konsantrasyonunun değişimi.

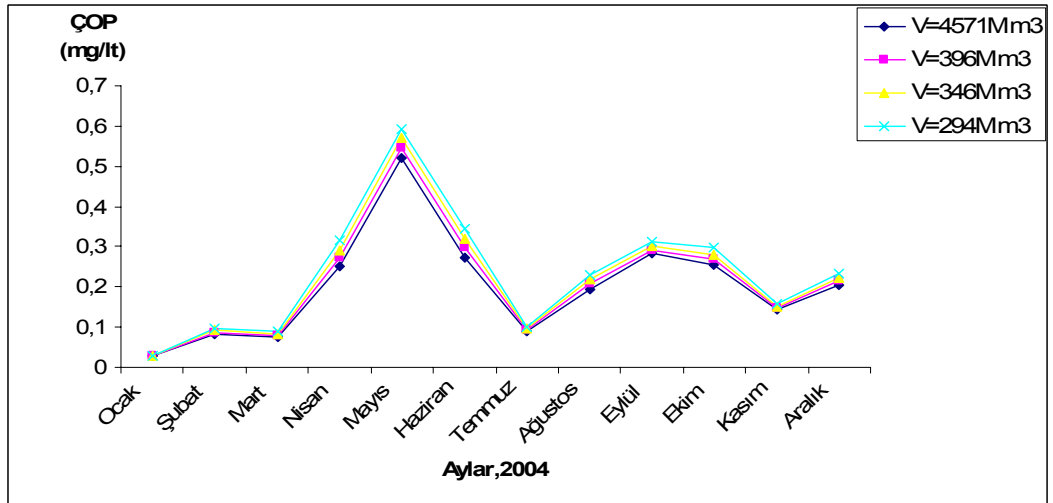
Yine model sonuçlarına göre fosfat ve çözünmüş organik fosfor konsantrasyonunda önemli bir değişim görülmezken bağlı fosfor konsantrasyonunun hacim azaldıkça arttığı görülmektedir (Şekil 6.38 Şekil 6.39 ve Şekil 6.40).



Şekil 6.38 Hacim değerlerine göre fosfat konsantrasyonunun değişimi.



Şekil 6.39 Hacim değerlerine göre bağlı fosfor konsantrasyonu değişimi.



Şekil 6.40 Hacim değerlerine göre çözünmüş organik azot konsantrasyonu değişimi.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, 1975-2000 yıllarına ait yağış verileri ve CBS yazılımları yardımıyla elde edilen toprak, jeoloji, arazi kullanımı, topoğrafya verileri kullanılarak Porsuk Baraj havzasının su çevriminin modellenmesi yapılmıştır

GROWA su bütçesi modeli sonuçlarının, havzanın arazi kullanımı verileri ile karşılaştırılması sonucu makul değerler verdiği belirlenmiştir.

Modelin yüzeysel akışla ilgili sonuçlara bakıldığında, nadaslı tarım alanlarında 50-200 mm/yıl seviyesinde akış olduğu belirlenmiştir. Bu durum tarım alanlarında kullanılan gübrelerin akışla Porsuk nehrine ve dolayısıyla baraj gölüne ulaşmasını etkileyecek önemli bir faktör olduğundan gübrelemenin bilinçli yapılmasına önem verilmelidir.

İkinci olarak Besi Maddesi Modelinin Porsuk Baraj gölüne uygulaması yapılmış, modelde kullanılan reaksiyon sabitlerinin literatürden alınan veriler olması sebebiyle, R reaksiyon sabitlerinin başlangıç değerlerinden iki kat artırılması ve yarıya düşürülmesi şeklindeki değişimlerin modele olan etkisi incelenmiştir

Buna göre R reaksiyon sabitlerinin değişimi sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde reaksiyon sabitinin 2 kat artırılması sonucu elde edilen sonuçların baraj gölü su kalitesini yansıtması açısından, amonyum, bağlı azot, çözünmüş organik azot bileşikleri için modelde kullanılan mevcut sabitlere göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Aynı şekilde modelde kullanılan G çökelme katsayısının, $G=1$, $G=1,5$ ve $G=2,5$ değerleri için model sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen grafikler incelendiğinde, amonyum, fosfat, çözünmüş organik fosfor için, çökelme katsayısının herhangi bir etkisinin olmadığı, bağlı azot, çözünmüş organik azot ve bağlı fosfor için G değerinin artmasıyla konsantrasyon değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde baraj gölünde su kullanımlarının artması sonucu muhtemel su seviyesi düşüşlerine bağlı olarak baraj gölünde görülebilecek su kalitesi değişimleri geliştirilen senaryolarla incelenmiştir. Model sonuçları incelendiğinde ise bu yönde bir değişimin baraj su kalitesinde önemli bir etkiye yol açmadığı tespit edilmiştir.

Teknolojide sağlanan tüm ilerlemelere rağmen halen ülkemizde su kaynaklarının kirletilmesi ve bilinçsiz kullanımı önlenememiştir. Bunun önemli nedenleri olarak su kaynaklarının ele alınma şekli ve yapılan çalışmalar sonucu getirilen önerilerin karar vericiler tarafından uygulanmamış olmasıdır.

Günümüze kadar yapılan su kalitesi kontrolü çalışmaları su kaynaklarının havzaları ile birlikte ele alınması gerektiğini göstermiştir. Ülkemizde de son yıllarda bu yönde yapılan çalışmalar bulunmakla birlikte bunlar genellikle Avrupa Birliği standartlarının sağlanması için çıkartılan yönetmeliklerle sınırlı kalmaktadır. Yapılması gereken ise bu yöndeki mevzuat çalışmalarının yanı sıra bilimsel ve teknik araştırmaların teşvik edilmesidir.

KAYNAKLAR

1. Alberk, E., Türkiyede Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu II, 1997,1-10
2. Bogen, H., Herbst, M., Hake, J-F., Kunkel, R., Montzka, C., Pütz, Th., Vereecken, V., Wendland, F., Water Balance Analysis in the Rur Basin, 2005, 20-34.
3. Department Of The Army, Engineering and Design Reservoir water Quality.
4. Ertürk., A, Su Kalitesi ve Havza Modellemesinde Kullanılan Yazılımlar,2005.
5. <http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=42>
6. Karpuzcu, M., Yüzeysel Sularda Azot ve Fosfor bileşiklerinin Matematik Modelle İncelenmesi, 1979.
7. Kütahya İl Çevre durum raporu, 2004, <http://www.cevreorman.gov.tr/>, Çevre ve Orman Bakanlığı Resmi WEB sitesi,2006.
8. Mays, L.W., Water Resources Handbook, 1996,14.8
9. Muhammetoğlu A., Muhammetoğlu, H., Oktaş,, S, Özgökçen L., and Soyupak S., Impact Assessment of Different Management Scenarios on Water Quality of Porsuk River and Dam System, Water Resources Management (2005) 19: 199–210
10. Muslu, Y.,. Göl ve Haznelerde Su Kalitesi Yönetimi, 2001.
11. Orhon, S., Özen,B., Üstün, E., Görgün, Ö., Karahan-Gül,Su Yönetimi ve Sürdürülebilir Kalkınma, 2002, 9-10.
12. Özbayrak., E, Bakan, G., Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu V, 2006, 175-180.

13. Özecik., D.F, sapanca Gölünde Ötrofikasyonun araştırılması,Yüksek Lisans Tezi, GYTE, 2006.
14. Özen, S., Porsuk Havzasında Su Kalitesi yönetimi, Yüksek Lisans Tezi,İTÜ,1999.
15. Sandıkçı, A., Porsuk Nehir Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, 1996.
16. Thomann, R.V., Mueller, J.A.,1987 Principles Of Surface Water Quality Modeling and Control, 1987.

ÖGEÇMİŞ

1978 yılında İstanbul’ da doğan Meltem Koçal ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 1997-2002 yılları arasında Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimini tamamladı. 2002-2003 bahar döneminde Gebze Yüksek Teknoloji enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı ve halen enstitünün Su kalite kontrolü Ana Bilim Dalında uzman olarak görev yapmaktadır.

EK-1**R Reaksiyon Sabitinin Modeldeki Değeri İçin Model Sonuçları
(2004, Ocak-Şubat-Mart)**

R11(L)=.020 R12(L)=.009 R13(L)=.010 R22(L)=.009 R23(L)=.009 R33(L)=.404 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0087 R55(L)=.0121 R66(L)=.3475 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0536	1.4986	.0263	.0099	.0342	.0146	.0458
10.000	40	.0450	1.2538	.0230	.0101	.0302	.0094	.0374
15.000	60	.0405	1.1242	.0202	.0094	.0277	.0089	.0331
20.000	80	.0382	1.0556	.0186	.0086	.0262	.0088	.0309
25.000	100	.0369	1.0193	.0178	.0080	.0253	.0088	.0298
30.000	120	.0361	1.0000	.0174	.0077	.0248	.0088	.0293

R11(L)=.018 R12(L)=.009 R13(L)=.008 R22(L)=.006 R23(L)=.006 R33(L)=.309 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0062 R55(L)=.0087 R66(L)=.2523 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0361	1.0000	.0174	.0077	.0248	.0088	.0293
5.000	20	.1282	1.0614	.0202	.0102	.0596	.0162	.0444
10.000	40	.2027	1.1170	.0231	.0128	.0900	.0187	.0566
15.000	60	.2595	1.1642	.0256	.0153	.1149	.0197	.0659
20.000	80	.3031	1.2042	.0275	.0175	.1354	.0203	.0728
25.000	100	.3365	1.2377	.0291	.0194	.1521	.0207	.0780
30.000	120	.3621	1.2658	.0304	.0211	.1657	.0211	.0820

R11(L)=.025 R12(L)=.011 R13(L)=.014 R22(L)=.011 R23(L)=.011 R33(L)=.361 R34(L)=.083
 R41(L)=.070 R44(L)=.070 R56(L)=.0112 R55(L)=.0157 R66(L)=.2943 R67(L)=.0165
 R75(L)=.0280 R77(L)=.0280

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.3621	1.2658	.0304	.0211	.1657	.0211	.0820
5.000	20	.3118	1.2875	.0449	.0253	.1716	.0196	.0801
10.000	40	.2738	1.3035	.0464	.0298	.1762	.0194	.0786
15.000	60	.2468	1.3146	.0460	.0324	.1796	.0195	.0775
20.000	80	.2273	1.3222	.0455	.0338	.1821	.0196	.0767
25.000	100	.2133	1.3275	.0451	.0345	.1840	.0196	.0761
30.000	120	.2030	1.3310	.0448	.0348	.1854	.0197	.0757

EK-2**R'nin Yarı Değeri İçin Model Sonuçları , (2004, Ocak-Şubat-Mart)**

R11(L)=.010 R12(L)=.005 R13(L)=.005 R22(L)=.004 R23(L)=.004 R33(L)=.351 R34(L)=.035
 R41(L)=.025 R44(L)=.025 R56(L)=.0043 R55(L)=.0061 R66(L)=.3369 R67(L)=.0071
 R75(L)=.0100 R77(L)=.0100

TIME (GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0547	1.5236	.0151	.0068	.0332	.0147	.0470
10.000	40	.0459	1.2883	.0132	.0051	.0289	.0094	.0392
15.000	60	.0412	1.1611	.0116	.0040	.0265	.0088	.0351
20.000	80	.0386	1.0924	.0107	.0033	.0250	.0087	.0329
25.000	100	.0372	1.0552	.0103	.0029	.0242	.0087	.0318
30.000	120	.0365	1.0351	.0100	.0027	.0237	.0087	.0312

R11(L)=.009 R12(L)=.005 R13(L)=.004 R22(L)=.003 R23(L)=.003 R33(L)=.256 R34(L)=.035
 R41(L)=.025 R44(L)=.025 R56(L)=.0031 R55(L)=.0043 R66(L)=.2416 R67(L)=.0071
 R75(L)=.0100 R77(L)=.0100

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0365	1.0351	.0100	.0027	.0237	.0087	.0312
5.000	20	.1301	1.1023	.0120	.0036	.0580	.0162	.0471
10.000	40	.2086	1.1620	.0139	.0046	.0880	.0185	.0604
15.000	60	.2708	1.2120	.0155	.0056	.1128	.0193	.0710
20.000	80	.3201	1.2539	.0168	.0066	.1333	.0197	.0793
25.000	100	.3591	1.2888	.0179	.0074	.1501	.0199	.0858
30.000	120	.3901	1.3180	.0187	.0082	.1640	.0201	.0910

R11(L)=.012 R12(L)=.006 R13(L)=.007 R22(L)=.006 R23(L)=.006 R33(L)=.298 R34(L)=.041
 R41(L)=.035 R44(L)=.035 R56(L)=.0057 R55(L)=.0080 R66(L)=.2819 R67(L)=.0083
 R75(L)=.0140 R77(L)=.0140

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.3901	1.3180	.0187	.0082	.1640	.0201	.0910
5.000	20	.3460	1.3537	.0279	.0100	.1716	.0177	.0912
10.000	40	.3096	1.3834	.0296	.0121	.1780	.0172	.0914
15.000	60	.2813	1.4067	.0297	.0137	.1832	.0172	.0915
20.000	80	.2593	1.4250	.0296	.0148	.1874	.0173	.0916
25.000	100	.2421	1.4395	.0295	.0155	.1908	.0173	.0917
30.000	120	.2286	1.4508	.0294	.0161	.1935	.0174	.0918

EK-3**R'nin İki Kat Arttırılması Durumu İçin Model Sonuçları,
(2004, Ocak-Şubat-Mart)**

R11(L)=.039 R12(L)=.019 R13(L)=.020 R22(L)=.017 R23(L)=.017 R33(L)=.617 R34(L)=.142
 R41(L)=.100 R44(L)=.100 R56(L)=.0173 R55(L)=.0242 R66(L)=.3901 R67(L)=.0284
 R75(L)=.0400 R77(L)=.0400

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0529	1.4500	.0372	.0182	.0361	.0135	.0435
10.000	40	.0465	1.1886	.0307	.0204	.0322	.0091	.0340
15.000	60	.0435	1.0560	.0268	.0190	.0294	.0087	.0296
20.000	80	.0416	.9886	.0248	.0173	.0276	.0086	.0276
25.000	100	.0402	.9545	.0238	.0162	.0266	.0085	.0266
30.000	120	.0393	.9371	.0232	.0155	.0260	.0085	.0262

R11(L)=.035 R12(L)=.019 R13(L)=.016 R22(L)=.012 R23(L)=.012 R33(L)=.522 R34(L)=.142
 R41(L)=.100 R44(L)=.100 R56(L)=.0123 R55(L)=.0172 R66(L)=.2948 R67(L)=.0284
 R75(L)=.0400 R77(L)=.0400

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0393	.9371	.0232	.0155	.0260	.0085	.0262
5.000	20	.1297	.9891	.0243	.0196	.0615	.0155	.0400
10.000	40	.1978	1.0384	.0274	.0232	.0921	.0179	.0504
15.000	60	.2465	1.0816	.0300	.0265	.1168	.0192	.0576
20.000	80	.2815	1.1185	.0320	.0293	.1366	.0201	.0626
25.000	100	.3068	1.1497	.0336	.0315	.1523	.0207	.0660
30.000	120	.3252	1.1757	.0348	.0334	.1647	.0213	.0685

R11(L)=.049 R12(L)=.022 R13(L)=.027 R22(L)=.022 R23(L)=.022 R33(L)=.609 R34(L)=.165
 R41(L)=.140 R44(L)=.140 R56(L)=.0219 R55(L)=.0307 R66(L)=.3440 R67(L)=.0331
 R75(L)=.0560 R77(L)=.0560

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.3252	1.1757	.0348	.0334	.1647	.0213	.0685
5.000	20	.2692	1.1739	.0509	.0401	.1664	.0212	.0641
10.000	40	.2337	1.1682	.0498	.0445	.1668	.0213	.0611
15.000	60	.2118	1.1613	.0486	.0455	.1666	.0213	.0592
20.000	80	.1976	1.1544	.0477	.0453	.1661	.0213	.0580
25.000	100	.1881	1.1481	.0470	.0449	.1654	.0212	.0573
30.000	120	.1815	1.1427	.0465	.0443	.1649	.0212	.0568

EK-4**G Çökeltme Katsayısı İçin Model Sonuçları (2004, Ocak-Şubat-Mart)
G:1,5**

R11(L)=.020 R12(L)=.009 R13(L)=.010 R22(L)=.009 R23(L)=.009 R33(L)=.404 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0087 R55(L)=.0121 R66(L)=.3475 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0536	1.4986	.0263	.0099	.0342	.0146	.0458
10.000	40	.0450	1.2538	.0230	.0101	.0302	.0094	.0374
15.000	60	.0405	1.1242	.0202	.0094	.0277	.0089	.0331
20.000	80	.0382	1.0556	.0186	.0086	.0262	.0088	.0309
25.000	100	.0369	1.0193	.0178	.0080	.0253	.0088	.0298
30.000	120	.0361	1.0000	.0174	.0077	.0248	.0088	.0293

R11(L)=.018 R12(L)=.009 R13(L)=.008 R22(L)=.006 R23(L)=.006 R33(L)=.309 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0062 R55(L)=.0087 R66(L)=.2523 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0361	1.0000	.0174	.0077	.0248	.0088	.0293
5.000	20	.1282	1.0614	.0202	.0102	.0596	.0162	.0444
10.000	40	.2027	1.1170	.0231	.0128	.0900	.0187	.0566
15.000	60	.2595	1.1642	.0256	.0153	.1149	.0197	.0659
20.000	80	.3031	1.2042	.0275	.0175	.1354	.0203	.0728
25.000	100	.3365	1.2377	.0291	.0194	.1521	.0207	.0780
30.000	120	.3621	1.2658	.0304	.0211	.1657	.0211	.0820

R11(L)=.025 R12(L)=.011 R13(L)=.014 R22(L)=.011 R23(L)=.011 R33(L)=.361 R34(L)=.083
 R41(L)=.070 R44(L)=.070 R56(L)=.0112 R55(L)=.0157 R66(L)=.2943 R67(L)=.0165
 R75(L)=.0280 R77(L)=.0280

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.3621	1.2658	.0304	.0211	.1657	.0211	.0820
5.000	20	.3118	1.2875	.0449	.0253	.1716	.0196	.0801
10.000	40	.2738	1.3035	.0464	.0298	.1762	.0194	.0786
15.000	60	.2468	1.3146	.0460	.0324	.1796	.0195	.0775
20.000	80	.2273	1.3222	.0455	.0338	.1821	.0196	.0767
25.000	100	.2133	1.3275	.0451	.0345	.1840	.0196	.0761
30.000	120	.2030	1.3310	.0448	.0348	.1854	.0197	.0757

EK-5**G Çökeltme Katsayısı İçin Model Sonuçları (2004, Ocak-Şubat-Mart)
G:1**

R11(L)=.020 R12(L)=.009 R13(L)=.010 R22(L)=.009 R23(L)=.009 R33(L)=.293 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0087 R55(L)=.0121 R66(L)=.2364 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0537	1.4986	.0320	.0108	.0343	.0207	.0461
10.000	40	.0453	1.2539	.0294	.0120	.0303	.0132	.0378
15.000	60	.0411	1.1243	.0259	.0117	.0278	.0119	.0334
20.000	80	.0389	1.0557	.0239	.0109	.0262	.0116	.0312
25.000	100	.0376	1.0193	.0227	.0102	.0253	.0115	.0301
30.000	120	.0369	1.0001	.0221	.0097	.0248	.0115	.0296

R11(L)=.018 R12(L)=.009 R13(L)=.008 R22(L)=.006 R23(L)=.006 R33(L)=.230 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0062 R55(L)=.0087 R66(L)=.1729 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0369	1.0001	.0221	.0097	.0248	.0115	.0296
5.000	20	.1293	1.0615	.0256	.0130	.0597	.0205	.0448
10.000	40	.2042	1.1171	.0294	.0163	.0901	.0246	.0573
15.000	60	.2615	1.1643	.0327	.0195	.1151	.0265	.0667
20.000	80	.3055	1.2043	.0353	.0223	.1356	.0276	.0739
25.000	100	.3394	1.2379	.0375	.0249	.1523	.0283	.0793
30.000	120	.3656	1.2661	.0392	.0270	.1660	.0289	.0834

R11(L)=.025 R12(L)=.011 R13(L)=.014 R22(L)=.011 R23(L)=.011 R33(L)=.268 R34(L)=.083
 R41(L)=.070 R44(L)=.070 R56(L)=.0112 R55(L)=.0157 R66(L)=.2017 R67(L)=.0165
 R75(L)=.0280 R77(L)=.0280

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.3656	1.2661	.0392	.0270	.1660	.0289	.0834
5.000	20	.3163	1.2879	.0568	.0322	.1720	.0274	.0817
10.000	40	.2794	1.3040	.0602	.0380	.1767	.0271	.0803
15.000	60	.2536	1.3152	.0603	.0418	.1802	.0271	.0793
20.000	80	.2354	1.3230	.0598	.0440	.1828	.0272	.0785
25.000	100	.2223	1.3285	.0594	.0451	.1847	.0273	.0780
30.000	120	.2129	1.3322	.0590	.0456	.1862	.0274	.0777

EK-6**G Çökeltme Katsayısı İçin Model Sonuçları (2004, Ocak-Şubat-Mart)
G:2,5**

R11(L)=.020 R12(L)=.009 R13(L)=.010 R22(L)=.009 R23(L)=.009 R33(L)=.626 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0087 R55(L)=.0121 R66(L)=.5697 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0535	1.4986	.0190	.0087	.0342	.0082	.0454
10.000	40	.0446	1.2538	.0158	.0078	.0302	.0061	.0370
15.000	60	.0399	1.1242	.0140	.0069	.0277	.0060	.0327
20.000	80	.0374	1.0556	.0130	.0061	.0261	.0060	.0306
25.000	100	.0361	1.0192	.0124	.0057	.0252	.0059	.0295
30.000	120	.0353	1.0000	.0121	.0054	.0247	.0059	.0290

R11(L)=.018 R12(L)=.009 R13(L)=.008 R22(L)=.006 R23(L)=.006 R33(L)=.468 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0062 R55(L)=.0087 R66(L)=.4110 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0353	1.0000	.0121	.0054	.0247	.0059	.0290
5.000	20	.1270	1.0614	.0142	.0072	.0595	.0114	.0439
10.000	40	.2010	1.1169	.0162	.0090	.0899	.0125	.0559
15.000	60	.2574	1.1641	.0178	.0107	.1148	.0129	.0650
20.000	80	.3003	1.2040	.0191	.0122	.1352	.0132	.0717
25.000	100	.3332	1.2375	.0201	.0135	.1518	.0135	.0768
30.000	120	.3583	1.2655	.0209	.0146	.1654	.0137	.0806

R11(L)=.025 R12(L)=.011 R13(L)=.014 R22(L)=.011 R23(L)=.011 R33(L)=.546 R34(L)=.083
 R41(L)=.070 R44(L)=.070 R56(L)=.0112 R55(L)=.0157 R66(L)=.4795 R67(L)=.0165
 R75(L)=.0280 R77(L)=.0280

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.3583	1.2655	.0209	.0146	.1654	.0137	.0806
5.000	20	.3070	1.2871	.0315	.0178	.1712	.0124	.0786
10.000	40	.2677	1.3030	.0315	.0207	.1757	.0124	.0770
15.000	60	.2393	1.3139	.0311	.0223	.1790	.0125	.0758
20.000	80	.2187	1.3213	.0307	.0231	.1815	.0125	.0750
25.000	100	.2036	1.3264	.0304	.0234	.1833	.0126	.0744
30.000	120	.1924	1.3297	.0302	.0235	.1846	.0126	.0740

EK-7**V Hacim İçin Model Sonuçları (2004, Ocak-Şubat-Mart)**
V=396 m³

R11(L)=.020 R12(L)=.009 R13(L)=.010 R22(L)=.009 R23(L)=.009 R33(L)=.404 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0087 R55(L)=.0121 R66(L)=.3475 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0522	1.4596	.0251	.0092	.0333	.0149	.0447
10.000	40	.0435	1.2154	.0215	.0089	.0290	.0102	.0364
15.000	60	.0394	1.0973	.0189	.0081	.0266	.0097	.0325
20.000	80	.0373	1.0403	.0177	.0073	.0253	.0097	.0308
25.000	100	.0363	1.0127	.0170	.0068	.0246	.0097	.0299
30.000	120	.0358	.9994	.0167	.0066	.0243	.0096	.0296

R11(L)=.017 R12(L)=.009 R13(L)=.008 R22(L)=.006 R23(L)=.006 R33(L)=.309 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0062 R55(L)=.0086 R66(L)=.2523 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0358	.9994	.0167	.0066	.0243	.0096	.0296
5.000	20	.1407	1.0734	.0199	.0092	.0638	.0183	.0470
10.000	40	.2230	1.1383	.0232	.0119	.0974	.0210	.0608
15.000	60	.2841	1.1917	.0259	.0145	.1242	.0221	.0709
20.000	80	.3295	1.2354	.0280	.0167	.1456	.0228	.0782
25.000	100	.3633	1.2710	.0296	.0186	.1625	.0232	.0836
30.000	120	.3885	1.2999	.0309	.0202	.1759	.0235	.0875

R11(L)=.025 R12(L)=.011 R13(L)=.014 R22(L)=.011 R23(L)=.011 R33(L)=.361 R34(L)=.083
 R41(L)=.070 R44(L)=.070 R56(L)=.0114 R55(L)=.0159 R66(L)=.2943 R67(L)=.0165
 R75(L)=.0280 R77(L)=.0280

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.3885	1.2999	.0309	.0202	.1759	.0235	.0875
5.000	20	.3283	1.3240	.0464	.0248	.1809	.0218	.0852
10.000	40	.2839	1.3411	.0478	.0293	.1846	.0215	.0834
15.000	60	.2529	1.3524	.0473	.0319	.1872	.0216	.0821
20.000	80	.2313	1.3599	.0467	.0332	.1890	.0216	.0812
25.000	100	.2159	1.3648	.0462	.0338	.1903	.0217	.0806
30.000	120	.2050	1.3679	.0459	.0340	.1912	.0217	.0801

EK-8**V Hacim İçin Model Sonuçları (2004, Ocak-Şubat-Mart)****V=346 m³**

R11(L)=.020 R12(L)=.009 R13(L)=.010 R22(L)=.009 R23(L)=.009 R33(L)=.404 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0087 R55(L)=.0121 R66(L)=.3475 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0508	1.4211	.0238	.0085	.0323	.0152	.0435
10.000	40	.0422	1.1810	.0201	.0078	.0279	.0110	.0355
15.000	60	.0384	1.0759	.0178	.0069	.0257	.0106	.0321
20.000	80	.0368	1.0299	.0168	.0062	.0247	.0106	.0307
25.000	100	.0360	1.0098	.0163	.0058	.0241	.0105	.0301
30.000	120	.0356	1.0010	.0161	.0057	.0239	.0105	.0299

R11(L)=.017 R12(L)=.009 R13(L)=.008 R22(L)=.006 R23(L)=.006 R33(L)=.309 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0061 R55(L)=.0086 R66(L)=.2523 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0356	1.0010	.0161	.0057	.0239	.0105	.0299
5.000	20	.1539	1.0877	.0198	.0084	.0684	.0205	.0498
10.000	40	.2440	1.1612	.0234	.0112	.1051	.0235	.0650
15.000	60	.3087	1.2197	.0263	.0138	.1335	.0247	.0759
20.000	80	.3552	1.2660	.0285	.0160	.1554	.0253	.0835
25.000	100	.3888	1.3025	.0301	.0179	.1722	.0257	.0889
30.000	120	.4130	1.3312	.0313	.0194	.1851	.0261	.0927

R11(L)=.025 R12(L)=.011 R13(L)=.014 R22(L)=.012 R23(L)=.012 R33(L)=.361 R34(L)=.083
 R41(L)=.070 R44(L)=.07 R56(L)=.0115 R55(L)=.0161 R66(L)=.2943 R67(L)=.0165
 R75(L)=.0280 R77(L)=.0280

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.4130	1.3312	.0313	.0194	.1851	.0261	.0927
5.000	20	.3423	1.3574	.0477	.0241	.1890	.0240	.0899
10.000	40	.2914	1.3752	.0489	.0288	.1917	.0237	.0878
15.000	60	.2569	1.3865	.0483	.0312	.1934	.0237	.0863
20.000	80	.2333	1.3936	.0476	.0324	.1945	.0237	.0853
25.000	100	.2170	1.3979	.0471	.0328	.1953	.0237	.0846
30.000	120	.2058	1.4005	.0467	.0330	.1957	.0237	.0841

EK-9**V Hacim İçin Model Sonuçları (2004, Ocak-Şubat-Mart)**
V=294 m³

R11(L)=.020 R12(L)=.009 R13(L)=.010 R22(L)=.009 R23(L)=.009 R33(L)=.404 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0087 R55(L)=.0121 R66(L)=.3475 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0700	1.9300	.0100	.0100	.0400	.0600	.0600
5.000	20	.0491	1.3729	.0222	.0075	.0311	.0157	.0421
10.000	40	.0407	1.1431	.0185	.0065	.0267	.0120	.0345
15.000	60	.0375	1.0556	.0166	.0056	.0248	.0117	.0317
20.000	80	.0363	1.0222	.0158	.0051	.0240	.0117	.0307
25.000	100	.0358	1.0095	.0155	.0048	.0237	.0117	.0304
30.000	120	.0356	1.0047	.0154	.0047	.0235	.0117	.0302

R11(L)=.017 R12(L)=.009 R13(L)=.008 R22(L)=.006 R23(L)=.006 R33(L)=.309 R34(L)=.071
 R41(L)=.050 R44(L)=.050 R56(L)=.0061 R55(L)=.0086 R66(L)=.2523 R67(L)=.0142
 R75(L)=.0200 R77(L)=.0200

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.0356	1.0047	.0154	.0047	.0235	.0117	.0302
5.000	20	.1721	1.1079	.0197	.0075	.0747	.0234	.0535
10.000	40	.2715	1.1916	.0237	.0104	.1151	.0268	.0705
15.000	60	.3398	1.2552	.0268	.0130	.1451	.0280	.0821
20.000	80	.3868	1.3033	.0290	.0152	.1672	.0287	.0899
25.000	100	.4192	1.3395	.0306	.0170	.1834	.0291	.0952
30.000	120	.4415	1.3666	.0317	.0184	.1954	.0294	.0987

R11(L)=.025 R12(L)=.011 R13(L)=.014 R22(L)=.012 R23(L)=.012 R33(L)=.361 R34(L)=.083
 R41(L)=.070 R44(L)=.070 R56(L)=.0117 R55(L)=.0164 R66(L)=.2943 R67(L)=.0165
 R75(L)=.0280 R77(L)=.0280

TIME(GÜN)	I	NH4	NO2-NO3	BN	ÇON	PO4	BP	ÇOP
		.4415	1.3666	.0317	.0184	.1954	.0294	.0987
5.000	20	.3565	1.3953	.0489	.0232	.1976	.0269	.0952
10.000	40	.2974	1.4138	.0499	.0278	.1990	.0264	.0927
15.000	60	.2589	1.4248	.0491	.0301	.1997	.0264	.0910
20.000	80	.2335	1.4312	.0483	.0310	.2000	.0264	.0898
25.000	100	.2167	1.4348	.0477	.0313	.2001	.0264	.0891
30.000	120	.2055	1.4367	.0474	.0313	.2001	.0264	.0886