

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

**SEYDİ SUYU'NDA YAYGIN FOSFOR KAYNAKLARININ QUAL2EU İLE
MODELLENMESİ**

Serdar GÖNCÜ¹, Erdem ALBEK¹

ÖZ

Bu çalışmada, yoğun tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü Seydi Suyu havzasının drenajını sağlayan Seydi Suyu'nda fosfor modellenmiştir. Fosfor havzadaki tarımsal faaliyetler sonucunda akarsuya karışmaktadır. Yaygın kaynakların miktarları taşınım faktörleri ile belirlenmiştir. Akarsudaki fosfor döngüsü QUAL2EU (Belirsizlik Analizleri ile Geliştirilmiş Akarsu Su Kalitesi Modeli) ile modellenmiştir. İki yıl boyunca her ay düzenli örnek alınan iki ölçüm istasyonundan 1. istasyondaki ölçüm değerleri model girdisi olarak kullanılırken, 2. istasyondaki ölçüm değerleri modelin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Elde edilen model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının büyük ölçüde uyduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda bazı girdiler ve parametrelerin duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile temel olarak noktasal kaynakların modellenmesinde kullanılan QUAL2EU modelinin yaygın kaynakların da etkilerini hesaplamak için kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Seydi Suyu, QUAL2EU, Fosfor, Modelleme.

**MODELING DIFFUSE SOURCES OF PHOSPHORUS TO THE SEYDI SUYU
STREAM WITH QUAL2EU**

ABSTRACT

In this study, a regulated stream draining the Seydi Suyu watershed where intensive agriculture is practiced has been modeled with respect to phosphorus. Phosphorus is added to the stream from diffuse sources due to agricultural activities in the watershed. The magnitude of diffuse sources has been determined by using export coefficients. In the stream, the phosphorus cycle has been modeled by using the QUAL2EU (Enhanced Stream Water Quality Model with Uncertainty Analysis) model. For a period of two years, monthly samples have been taken from two monitoring stations along the stream. Data obtained from the first station have been used as model input and data from the second station have been used to calibrate the model. Observations and model results have been found to agree well. Moreover, sensitivity analysis has been applied to model inputs and parameters. With this study, it has been shown that QUAL2EU which basically is a point source model can be used to compute the effects of diffuse sources as well.

Keywords: Seydi Suyu, QUAL2EU, Phosphorus, Modeling.

¹ Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü 26555, Eskişehir.
e-posta:sgoncuc@anadolu.edu.tr Tel:0(222)3213550-6400 Faks:0(222)3239501

1. GİRİŞ

Evsel, endüstriyel ve tarımsal kullanım için gerekli suyun önemli bir bölümünün temin edildiği akarsuların korunması için su kalitelerinin izlenmesi ve kalitedeki değişimlerin saptanması gerekmektedir. Ancak bu şekilde sağlıklı ve ekonomik bir su kalitesi yönetimi gerçekleştirilebilir ve hem bugün için hem de gelecek dönemler için su kaynaklarının etkili bir şekilde korunması sağlanabilir (Albek ve Göncü, 2005).

Noktasal kaynakların sıkı bir şekilde denetlenmesi ile yaygın kaynaklar daha önemli bir kavram haline gelmiştir. Yaygın kaynaklar akarsu boyunca ve havzanın tümünde drenaj yoluyla pek çok kaynaktan karışmakta ve ayrı ayrı tanımlanması ve kontrolü mümkün olamamaktadır. Özellikle, yağmurlardan sonra yaygın kaynakların etkisinde önemli artışlar olmaktadır (Göncü ve Albek, 2003).

Bu çalışmada, kirleticilerin akarsu içindeki değişimlerinin belirlenmesi amacıyla EPA'nın (Environmental Protection Agency) geliştirdiği QUAL2EU programı kullanılmıştır. QUAL-II olarak bilinen akarsularda su kalitesinin modellenmesine yönelik bilgisayar programı serileri su kalitesi yönetiminde uzun bir geçmişe sahiptir. Başlangıçta QUAL-I 1960'larda Texas Su Geliştirme Kurulu (Texas Water Development Board) tarafından geliştirilmiştir. Orijinal model olan QUAL-I, sıcaklık ve çözünmüş oksijen kontrolü için akarsu değerlendirmesinde kullanılmıştır. Advektif ve dispersif taşınımın her ikisi de tek boyutlu akarsularda kütle denkliği denklemi ve zamana bağlı olarak değişen sıcaklığı temsil eden diferansiyel denklemlerini içerir. Sonrasında model programı üzerinde gerçekleştirilen geliştirme çalışmaları ile daha gelişmiş bir inceleme ve test imkanı sunan QUAL-II (1970) model programı oluşturulmuştur. 1987 yıllarında model programında yatışkın koşullarda yosun simülasyonundaki sorunların düzeltilmesi için bir dizin faaliyet yapılmış ve QUAL2E adını almıştır (Brown ve Barnwell, 1987). Daha sonrasında bu model programında belirsizlik analizi, birinci derece hata analizi ve Monte Carlo analizi olmak üzere 3 adet duyarlılık analizi modülü eklentisi ile QUAL2EU adını almıştır. Program temel olarak, akarsuyun grafiksel olarak kolları ve ağ yapısı, uzunluk, genişlik derinlik gibi geometrik özellikleri, modellemenin akarsuyun nerede başlayıp nerede bittiği, noktasal ve yaygın kaynakların yeri ve bunların özellikleri gibi pek çok parametreyi göz önüne alır. Çalışma öncesi yapılan literatür taramasında, QUAL2EU ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalarda çoğunlukla noktasal kir-

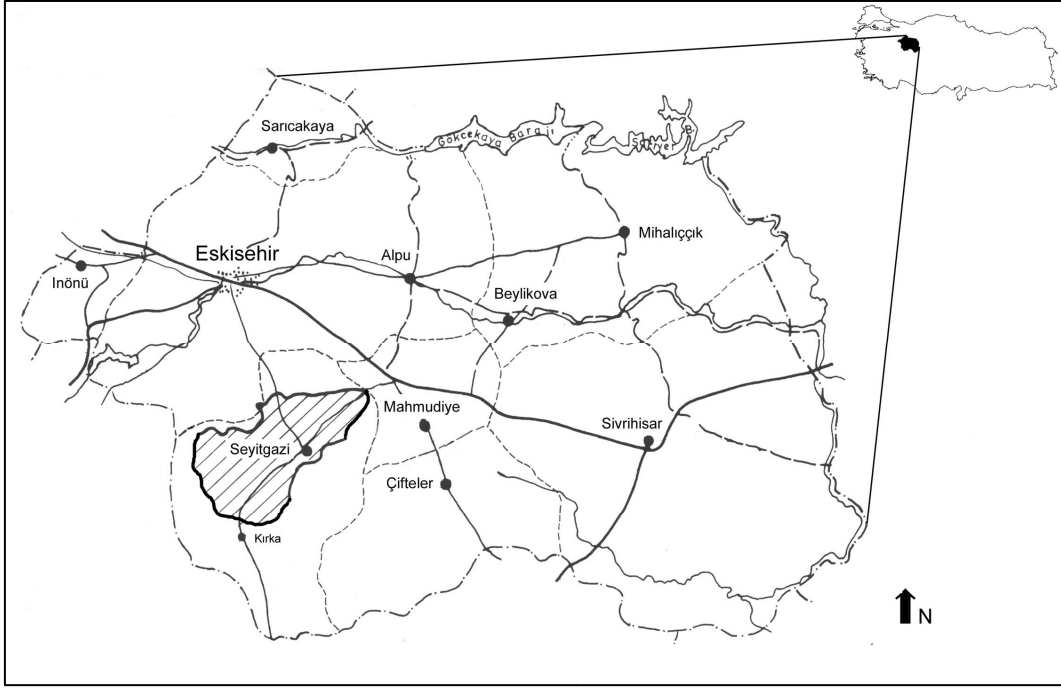
letici kaynakların modellemelerinin yapıldığı görülmüştür (Walton ve Webb, 1994; Onur v.d., 1997; Ghosh ve Mcbean 1998; Drolc ve Koncan 1999; Yüceer ve İnkayalı, 2004). Literatürde yaygın kirletici kaynakların modellenmesinde havza temelli HSPF (Hydrological Simulation Program – Fortran-Hidrolojik Simülasyon Programı-Fortran), ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation- Havza Ortamına Alansal Yaygın Kaynak Etkisi Simülasyonu) gibi modeller kullanıldığı görülmektedir (Razavian, 1990; Preti ve Lubello, 1993; Albek, 1992). Bununla birlikte bu tip modeller havzadaki süreçleri modelleyebilmek için yoğun miktarda veriye ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada ise yaygın kaynakların QUAL2EU ile modellenmesi yapılmıştır. Böylelikle yoğun veri ihtiyacı duyan bir program yerine fazla komplike olmayan ve tek boyutlu bir model programı kullanılarak yaygın kaynak kirliliğinin modellenmesi amaçlanmıştır. Türkiye'de bu çalışmada olduğu gibi spesifik bölgesel çalışmalarda modelleme çalışmaları için gerekli verileri temin etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Ayrıca bu verilerin elde edilmesi de yoğun iş gücü ve maliyetli çalışmaları beraberinde getirebilmektedir. Küçük boyutlu su havzalarındaki yaygın kaynakların etkilerini belirleyebilmek için daha az kompleks modelleme çalışmaları ile etkin ve hızlı bir değerlendirme amaçlanmıştır.

Akarsuda 1999-2000 su yıllarında (1 Ekim-30 Eylül arası su yılı olarak tanımlanır) bir araştırma projesi (Albek vd., 2000) gerçekleştirilmiştir. Bu proje kapsamında yapılmış olan ölçüm sonuçları ile 2000-2001 yılları arasında gerçekleştirilen yüksek lisans projesi (Albek ve Göncü, 2001) kapsamında yapılan model çalışmasının kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Modelleme sonrasında yaygın kaynaklardan gelen yüklerin değişmesi durumunda akarsuyun durumundaki değişimin belirlenebilmesi amacıyla çeşitli senaryolar modele uygulanmış ve değişimler saptanmaya çalışılmıştır. Yaygın kaynaklardan gelen fosfor miktarları taşınım faktörleri yardımı ile belirlenmiştir.

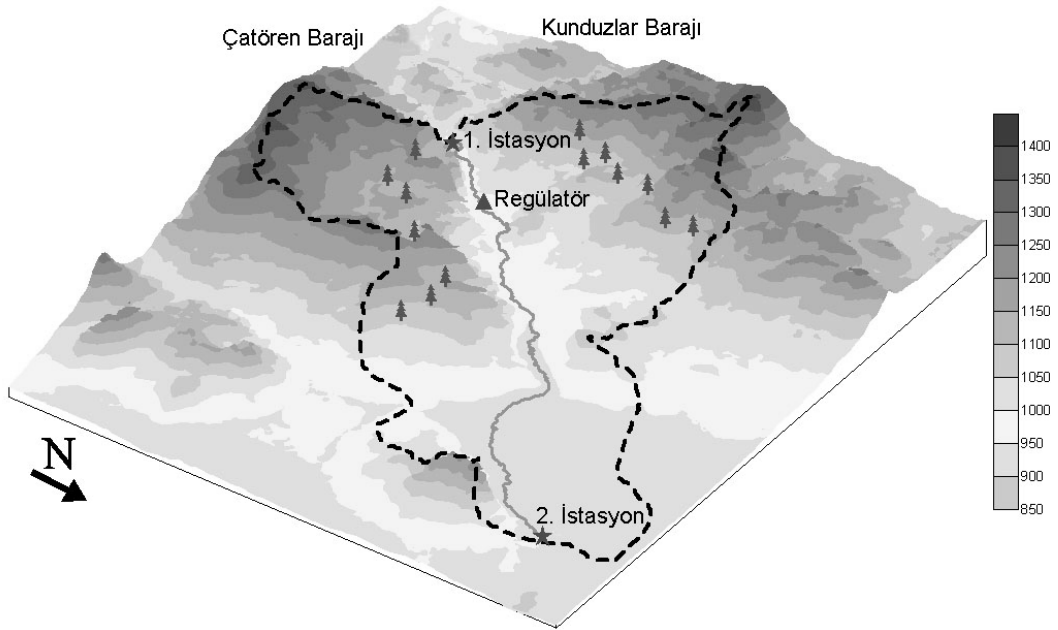
2. ÇALIŞMA ALANI

Seydi Suyu Sakarya Nehri'nin en önemli kaynaklarından biri olup Eskişehir ve Afyon arasında bulunan ve Frig yaylası adı verilen platodan doğar, bir süre engebeli araziden geçtikten sonra Seyitgazi ovasına açılır (Albek vd., 2000). Seydisuyu Havzası İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan $38^{\circ}85'-39^{\circ}36'$ kuzey enlemleri ile $30^{\circ}16'-31^{\circ}07'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Göktay, 1991).

Araştırma kapsamı havzada kurulan 2 adet ölçüm istasyonunu içerecek şekilde belirlenmiştir. Şekil 1 ve 2'de incelenen kısım görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında incelenen bölgenin gösterimi



Şekil 2. Havzanın üç boyutlu gösterimi

Akarsuyun iki ana kolunda sulama amaçlı su tutan barajlar vardır. Barajlar sonrası akarsu dengelenerek akmakta ve havzanın sulama ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Sulama amaçlı kullanılan su, rezervuarın 16 km mansabındaki bir regülatör ile akarsuyun her iki tarafında bulunan sulama kanallarına dağılmaktadır.

Havza kırsal bir havzadır ve yoğun bir nüfus barındırmamaktadır. Ekonomi temelde tarım üzerine yoğunlaşmaktadır. Birincil ürün buğday ve şeker pancarıdır (DSİ, 1983; Göktaş, 1991). Seyitgazi ovası Ege ve Marmara iklim bölgeleri geçiş şeridi içinde yer aldığından İç Anadolu'nun tipik karasal iklimi olarak hüküm sürmemektedir. Havzanın mevcut iklim değerleri gözönüne alınarak değerlendirildiğinde Köppen'in iklim sınıflarına göre sıcak-ılık-yağmurlu iklimler grubunun sıcak-yarı kurak derecesi ile belirtilebilir (DSİ, 1983). Yıllık ortalama yağış 308 mm, yıllık ortalama sıcaklık 10°C, ortalama buharlaşma 923 mm dir (Göncü, 2001).

Seydi Suyu sığ akan bir akarsudur ve kıyı şeritlerinde yer yer sazlıklar barındırmaktadır. Hidrolojik akarsu gözlemleri 1952 ile 1992 arasında düzenli olarak gerçekleştirilmiştir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) havza çıkışına yakın bir ölçüm istasyonunda günlük seviye ölçümleri yapmıştır. Devlet Su İşleri (DSİ) ise 1987 yılından itibaren regülatör yakınlarda günlük seviye ölçümleri gerçekleştirmiştir. Günümüzde bu akarsuda herhangi bir gözlem yapılmamaktadır (Göncü ve Albek, 2003).

Modelleme çalışması için gerekli olan veriler 1998 Ekim ayından itibaren yapılan ölçüm

lerden elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1 Veri Toplama

Proje kapsamında Seydi Suyu üzerinde 2 ölçüm istasyonu kurulmuştur. 1. Gözlem istasyonu Seyitgazi ilçesine 12 km uzaklıkta Çatören sapağı köprüsünde, 2. Gözlem istasyonu Doğançayır beldesine 3 km uzaklıkta, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Hamidiye akım ölçüm istasyonunun 6,5 km membasında kurulmuştur. 1 nolu istasyonda suyun özellikle kış aylarında çok sığ olmasından ötürü debi ölçümü yapılamamıştır. Fakat bu noktadan geçen debi miktarı rezervuardan bırakılan su miktarından tahmin edilmiştir (Albek vd., 2001). 2 nolu istasyonda ise debi ölçümü yapılmıştır. İstasyon yer seçiminde, 1. ve 2. istasyon arasında tarımsal faaliyetlerin yoğun olması nedeni ile bu iki istasyonun arasındaki fark, tarımsal faaliyetlerin akarsuyu ne ölçüde etkilediğini göstermektedir. Ölçümler her ay düzenli olarak yapılmıştır (Albek vd., 2006).

Çalışmada Seydi Suyu'ndaki fosfor derişimleri modellenmiştir. Örnekler her ay akarsudan alınarak laboratuvara getirilmiş ve standart metotlara göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde sudaki toplam, çözülmüş ve partikül fosfor derişimleri ölçülmüştür. Ölçümlerde "Standard Methods 4500-P D. Stannous Chloride Method" spektrofotometrik analiz metodu kullanılmıştır. Tablo 1 ve 2'de araştırma süresince istasyonla ölçülen bileşenleri hakkında istatistiksel bilgiler yer almaktadır.

Tablo 1. İstasyonda ölçülen fosfor türleri

		Çözünmüş fosfor (µg/L)	Partikül fosfor (µg/L)	Toplam fosfor* (µg/L)
Kış	Sayı	14	14	14
	Minimum	<3	<3	7,00
	Maksimum	260,00	41,00	260,00
	Ortalama	36,43	12,73	49,13
	S.K.*	190,40	92,46	138,10
Yaz	Sayı	8	8	8
	Minimum	6,10	3,50	14,90
	Maksimum	82,00	202,00	284,00
	Ortalama	30,44	44,66	75,10
	S.K.*	89,50	148,05	116,73

* S.K.: Sapma katsayısı %

* Toplam fosfor: Çözünmüş fosfor+Partikül fosfor

Tablo 2. İstasyonda ölçülen fosfor türleri hakkında istatistiksel bilgiler

		Çözülmüş fosfor (µg/L)	Partikül fosfor (µg/L)	Toplam fosfor* (µg/L)
Kış	Sayı	14	14	14
	Minimum	<3	<3	7,00
	Maksimum	267,00	83,00	267,00
	Ortalama	60,27	15,44	75,71
	S.K.*	129,81	157,28	103,78
Yaz	Sayı	8	8	8
	Minimum	7,00	9,00	23,80
	Maksimum	73,00	98,00	163,00
	Ortalama	35,43	31,99	67,41
	S.K.*	71,53	87,59	69,32

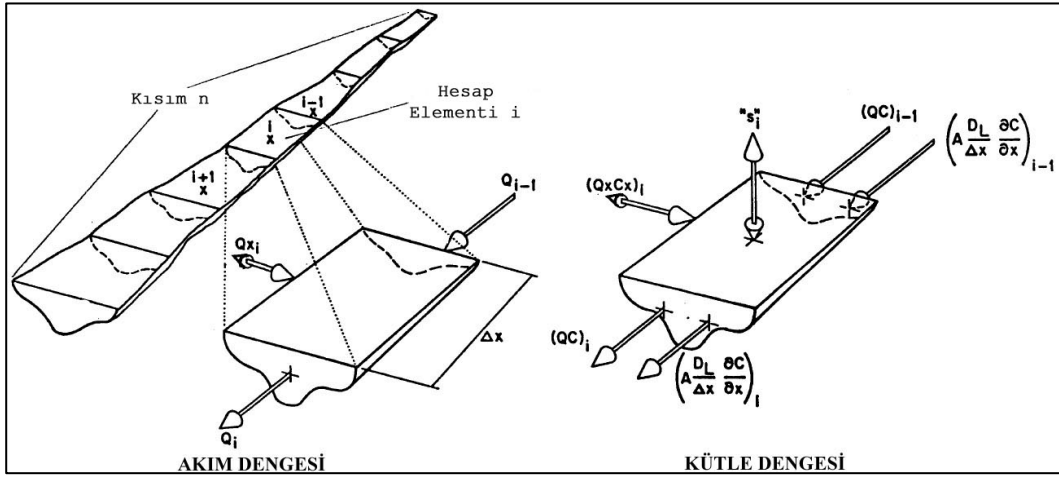
* S.K.: Sapma katsayısı %

* Toplam fosfor: Çözülmüş fosfor+Partikül fosfor

3.2 Modelleme

Akarsudaki fosfor döngüsünün modellenmesi için QUAL2EU programı kullanılmıştır. QUAL2EU programı kollara sahip akarsularda çeşitli su kalitesi parametrelerini yatışkın koşullarda modelleyebilmektedir (Brown

ve Barnwell, 1987, Chapra, 1997). QUAL2EU programı, kolları olan akarsu sistemindeki çeşitli su kalitesi bileşenlerini advectif ve dispersif taşınım ve tepkime denklemlerinin çözümü için sonlu farklar yöntemini kullanır. QUAL2EU'de bir akarsu kısmında kurulan kütle dengeliği Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. QUAL2EU programında kullanılan temel dengeler

Eşitlik 1'de QUAL2E programının kullandığı kütle dengeliği görülmektedir.

$$V \frac{\partial c}{\partial t} = \underbrace{\frac{\partial(A_c E \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x} dx - \frac{\partial(A_c U c)}{\partial x} dx + V \frac{dc}{dt}}_{\text{Taşınım}} + s$$

Birikim Dispersiyon Adveksiyon Dışkaynaklar

Burada, V, hacim
c, kirletici bileşen derişimi

A_c , Elementin kesit alanı
 E , Boylamsal dispersiyon katsayısı
 x , Mesafe
 U , Ortalama hız
 s , Bileşenin harici kaynakları (pozitif) ve azalma noktaları (negatif) şeklindedir.

QUAL2EU, yan kollara sahip akarsu sistemlerinde 15'in üzerinde su kalitesi bileşenini simüle edebilmektedir. Bu bileşenler;

- Çözünmüş Oksijen
- Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)
- Sıcaklık
- Klorofil-a türünden yosun
- Azot (Organik Azot, amonyak, nitrit, nitrat)
- Fosfor (Organik fosfor, çözünmüş fosfor)
- Koliform
- İsteğe bağlı olarak konservatif olmayan bileşenler
- 3 konservatif bileşen şeklindedir.

Seydi Suyu ve çevresi ile ilgili bazı özellikler veri olarak çeşitli kurum, kuruluş ve daha önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilmiştir. Bu veriler şöyle sıralanabilir.

- Bölgenin konumsal durumu (enlem, boy-lam, ortalama havza kotu),
- Bölgenin meteorolojik koşulları (yıllık ortalama iklim özellikleri, güneşlenme miktarı, bulutluluk, barometrik basın, rüzgar hızı),
- Seydi suyunun hidrolojik ve hidrolitik yapısı (debi-hız-derinlik ilişkileri),
- Seydi suyu üzerinde bulunan noktasal ve yaygın kaynakların durumu,
- Seydi suyu üzerinde bulunan barajların durumu ve su çekilen yerlerin belirlenmesi,
- QUAL2EU tarafından kullanılan bazı katsayılar (tepkime hız sabitleri).

Program akarsuyun homojen özelliklere sahip olan segmentlerden oluştuğunu varsaymaktadır. Çalışmada iki istasyon arasındaki ana akarsu kolu (yaklaşık 40 km uzunlukta) modellemede kullanılmış ve farklı hidrolojik özelliklere sahip 5 kısımda ve toplamda 80 elementten oluşacak şekilde model programa tanımlanmıştır.

Seydi suyunda yıl boyunca 2 ana su rejimi görülmektedir. Yaz aylarında akan su sulama amaçlı barajlardan su bırakılması nedeniyle oluşurken, kış aylarında havzadan gelen yüzeysel akış ve yeraltı sularının beslemesi ile oluşmaktadır. Bu nedenle Ekim-Nisan ayları arası kış sezonu, Mayıs-Eylül ayları arası yaz sezonu olacak şekilde iki farklı modelleme gerçekleştirilmiştir.

Birinci istasyondaki debi değerleri mem-basında bulunan barajlardan bırakılan su miktarlarından belirlenmiştir. İkinci istasyondaki debi değerlerinde ise araştırma süresince gerçekleştirilen debi ölçümleri kullanılmıştır. Havzada tarım faaliyetlerinin yoğun olmasından ötürü sulama suyunun akarsuya geri

dönüşünün belirlenebilmesi amacıyla Devlet Su İşleri ve Literatür verileri kullanılmış ve bitki sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenmesi için Blaney-Criddle denklemi kullanılmıştır (Johnson ve Brakensiek, 1982).

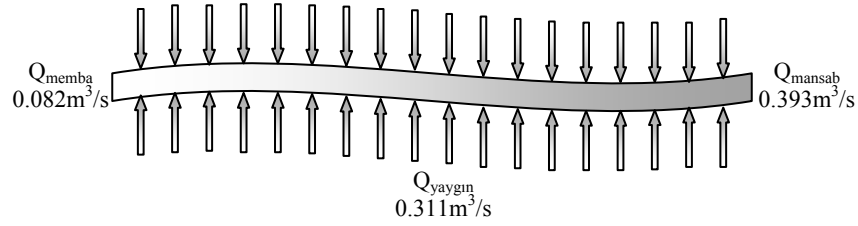
Şekil 4 ve 5'te modellenen akarsu kısmındaki su giriş ve çıkışları şematik olarak gösterilmiştir. Kış aylarında regülatörlerden su bırakımı olmadığı için akarsu beslemesi sadece yaygın kaynaklar ile olmaktadır. Yaz aylarında ise regülatör sonrası sulama amaçlı çekilen suyun akarsuya geri döndüğü kısım ile beslenmektedir. Ayrıca yaz aylarında akarsu yatağı yeraltı suyunu beslemektedir.

Akarsudaki fosfor yüklerinin belirlenmesinde 1. istasyon verileri giriş noktası fosfor yükü için, 2. istasyon verileri çıkış noktası yükü için kullanılmıştır. Yaygın kaynak yüklerinin belirlenebilmesi için havzadaki arazi kullanım oranları ilgili kamu kuruluşlarından temin edilmiştir. İncelenen havzanın toplam alanı 424,83 km² olup bitki türüne göre arazi miktarı dağılımı Tablo 3 de verilmiştir.

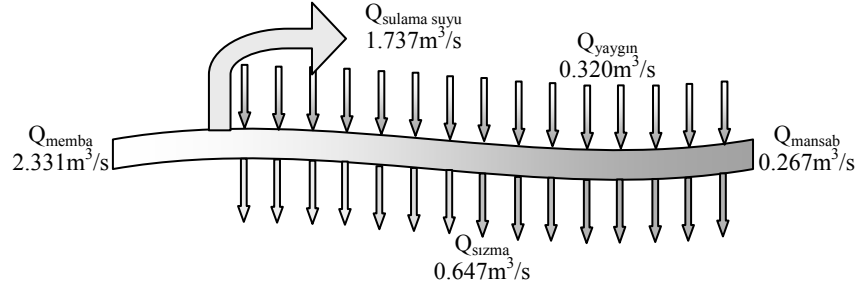
Yaygın kaynak yüklerinin belirlenebilmesi amacıyla fosfor taşınım faktörleri literatürden temin edilerek kullanılmıştır. Tablo 4'de arazi yapısına göre kullanılan taşınım faktörleri verilmiştir.

Fosfor yeraltında toprak tarafından adsorbe olduğundan ötürü kış aylarında yaygın kaynaklardan gelen fosfor yüzey suları ile gelen organik fosfordur (Hem, 1992). Bu nedenle kış aylarında gelen fosfor yükünün tamamıyla organik fosfordan oluştuğu kabul edilmiştir (Kronvang v.d., 1992). Yaz ayları için yapılan literatür araştırmaları sonucunda yaygın kaynaklardan gelen bu derişimin genel olarak %75'lik kısmını çözünmüş fosforun %25'lik kısmını ise organik fosforun oluşturduğu kabul edilmiştir (Smith v.d., 2001; Simard v.d., 2000; Kawara v.d., 1999; Rekolainen v.d., 1999). Tablo 5'de havzadan gelen yaygın kaynak yükleri ve yaygın kaynak fosfor derişimleri verilmiştir.

Gerçekleştirilen modelleme çalışmasında fosfor parametresinin yanı sıra su ortamında bulunan alglerin besin maddesi alımının etkisi de göz önüne alınmıştır. Araştırma süresince gerçekleştirilen Klorofil-a ölçümleri ile akarsudaki alg kütlesi belirlenmiştir.



Şekil 4. Kış mevsiminde modelde kullanılan akışlar



Şekil 5. Yaz mevsiminde modelde kullanılan akışlar

Tablo 3. Havzanın bitki örtüsüne göre alansal dağılımı

Arazi Türü	Alanı (km ²)
Tarım Alanı	52
Orman	94
Otlak/Mera*	279

Tablo 4. Arazideki bitki örtüsüne göre fosfor taşıyım faktörleri (Frink, 1991)

Arazi Türü	Fosfor Taşıyım Faktörü (g/m ² yıl)
Tarım Alanı	0,08
Orman	0,002
Otlak/Mera	0,002

Tablo 5. Yaygın kaynak fosfor yükleri ve derişimleri

	Çözünmüş-P		Organik-P	
	(mg/L)	(kg/gün)	(mg/L)	(kg/gün)
KIŞ	0	0	0,094	2,520
YAZ	0,068	1,812	0,023	0,613

Modelleme çalışmasında akarsuyun hidrolojik özelliklerini programa tanıtmak üzere gerekli olan parametreler debi ölçümlerinden çıkartılmıştır. Bu sebeple 1999-2000 su yıllarında ölçülen debi, akarsu üst genişliği ve hız değerleri vasıtası ile bu katsayılar daha önce bahsedildiği gibi hesaplanmıştır. Diğer kinetik katsayılar literatürden alınarak kul-

lanılmıştır (APHA vd., 1992, David ve Gentry, 2000).

Model sonuçları akarsu boyunca belirlenmiş ve incelenen akarsu kısmının memba ve mansabındaki ölçüm sonuçlarının %95'lik güvenilirlik sınırları dahilinde kalibrasyonu yapılarak belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilmiş olan modelleme çalışması sonucunda kış ve yaz sezonlarına ait kalibre edilmiş model sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Kış aylarında mesafeye bağlı olarak fosfor değerlerinin ilk 0,5.km'de ani bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Kış aylarında akarsuyun başlangıç noktasındaki debisi çok düşük ve 0,5.km mesafede yaygın kaynaklardan gelen fosfor derişimine göre yüksek bir fosfor derişimine sahip olmasından dolayı yanlardan gelen sularla seyrelmektedir ve bu etki derişimde ani bir düşüş olarak görülmektedir. Organik fosfor sonrasında, yaygın kaynaklardan gelen organik fosfor miktarında bir artış görülmektedir. Yaklaşık 10.km'ye kadar azalan hızda bir artış gösterdikten sonra azalma eğilimi göstermektedir. Bunun sebebi organik fosforun geliş miktarı ile organik fosforun bozunması ve akarsudan çökelerek ayrılması sonucunda miktarının baş başa gelip sonra bunların gelen miktarı geçmesi dolayısıyla sistemde organik fosfor azalması olmaktadır. Çözünmüş fosfor ise başlangıçtaki seyrelme etkisi dolayısıyla ani bir düşüş gösterdikten sonra 40.km'ye kadar artış göstermektedir.

Toplam fosfor da çözülmüş fosfor gibi ani bir düşüş yaptıktan sonra artış göstermektedir. Fakat çözülmüş fosfor ve toplam fosfor azalan hızda bir artış göstermektedir. Bunun sebebi ise organik fosfor değerinin mesafeye bağlı olarak azalmasından kaynaklanmaktadır. İncelenen akarsu kesitinde toplam fosfor üzerinde çözülmüş fosforun oldukça baskın olduğu görülmektedir.

Yaz aylarında akarsu havzasındaki fosfor yükleri özellikle regülatör sonrası sulama sularının akarsuya geri dönüşü şeklinde olmaktadır. Organik fosforun mesafeye karşı değişimi incelendiğinde azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Organik fosfor suda bozularak çözülmüş fosfor haline geçmesinden ötürü akarsudaki başlangıçtaki organik fosfor miktarı akarsuyun ilerleyen mesafelerinde bozularak çözülmüş fosfora dönüşmektedir. Fakat akarsuya karışan yaygın kaynakların etkisiyle akarsuya organik fosforun karışmasından ötürü bu azalma hızı akarsuyun ilerleyen mesafelerinde azalma eğilimi göstermektedir. Çözülmüş fosfor ise akarsu boyunca artış eğilimi göstermektedir. Bunun sebebi suda bulunan ve yaygın kaynaklarla gelen organik fosforun bozularak çözülmüş fosfora dönüşmesi ve yaygın kaynaklardan gelen çözülmüş fosforun etkisinden kaynaklanmaktadır. Toplam fosfor ise yaygın kaynakların etkisiyle az da olsa bir artış eğilimine sahip olup yaklaşık 30. km den sonra kararlı bir yapı göstermektedir.

Model sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında yaz aylarında çözülmüş fosfor model sonuçlarının ölçüm sonuçlarının güvenilirlik sınırının dışında sonuç verdiği görülmektedir. Modelde, özellikle yaz aylarında akarsu kenarlarında bulunan sazlık şeklindeki bitki örtüsünün besin maddesi olarak fosforu tutma etkileri göz önüne alınmamıştır. Bu nedenle yüksek model sonuçları elde edilmiştir.

Ayrıca çalışmada, modelde kullanılan kinetik parametreler (organik fosfor bozunma katsayısı) ve yaygın kaynak yükleri üzerinde duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Parametreler üzerinde $\pm\%10$, $\pm\%25$ ve $\pm\%50$ yükler üzerinde $\pm\%50$ oranında değişimler yapılmış ve model duyarlılıkları belirlenmiştir.

Kış aylarında organik fosfor yükü üzerindeki değişimler tüm fosfor türlerinin model sonuçları üzerinde doğru oranlı olarak artış veya azalış etkisi yaratmaktadır. Organik fosfor bozunma katsayısındaki değişiklikler organik fosfor derişimi üzerine etkili olduğu gibi azot parametreleri üzerine de etkili olmaktadır.

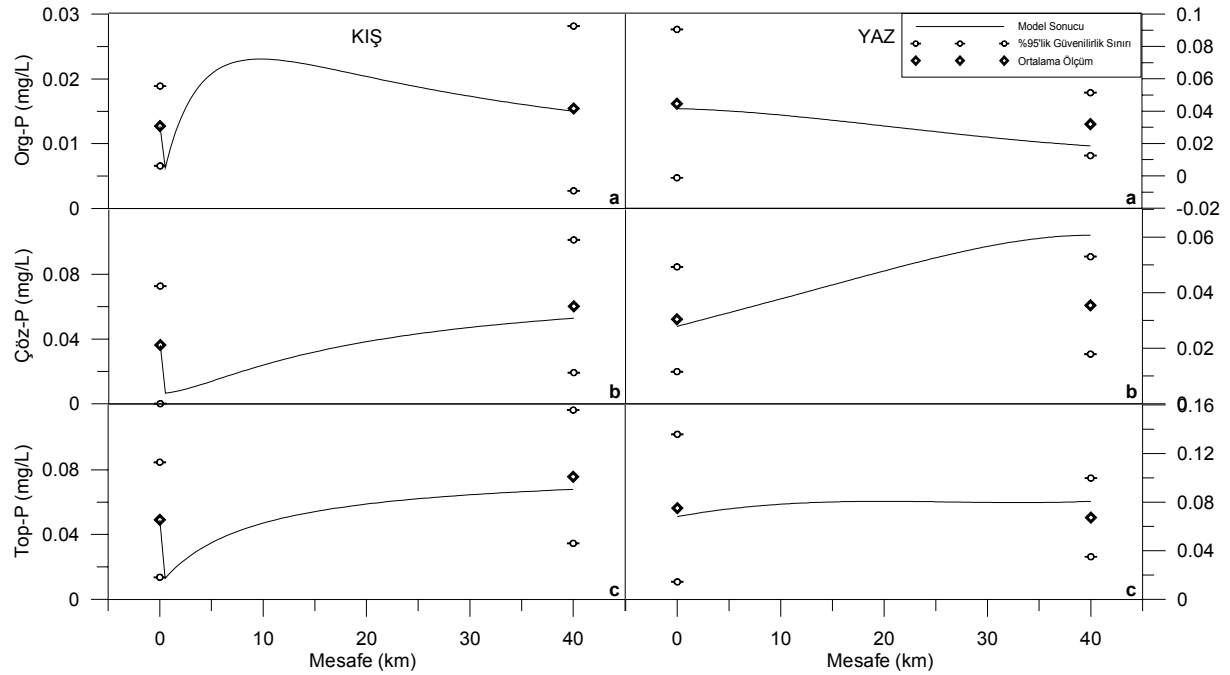
Bunun sebebi ortamdaki klorofil yani yosunların bunları besin maddesi olarak kullanmasından ötürü her iki bileşen grubu da etkilenmektedir.

Yaz aylarında ise, yaygın kaynaklardan gelen organik fosfor miktarındaki değişim toplamda küçük bir oran olduğu için model sonuçları üzerinde çok etkili olamamaktadır. Çözülmüş fosfor miktarındaki değişim ise, tüm fosfor parametreleri üzerine etkili olmaktadır. Çözülmüş fosfor miktarındaki azalma ile organik fosforun çözülmüş fosfora dönüşme miktarı arttığından organik fosfor derişiminde azalma görülmektedir. Toplam fosfor derişimi de sisteme giren fosfor miktarı değiştiği için değişime uğramaktadır. Organik fosfor bozunma katsayısındaki değişim, organik fosfor derişimi ile ters çözülmüş fosfor derişimi ile doğru orantılıdır. Toplam fosfor derişimi üzerine herhangi bir etkisi olmamaktadır.

Yapılan çalışmada model sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında kış aylarına ait verilerde oldukça uyumlu veriler gözlenirken, yaz aylarında çözülmüş fosfor model sonuçlarının ölçüm sonuçlarının güvenilirlik sınırının dışında sonuç verdiği görülmektedir. Bunun en önemli nedeni olan akarsu kenarındaki bitki örtüsüdür. Çalışma kapsamında bu bitki örtüsünün etkisi dikkate alınarak daha doğru model sonuçlarının elde edilebileceği düşünülmektedir.

Gerçekleştirilen çalışma, akarsu havzalarındaki yaygın kaynakların taşınım faktörleri ile akarsu su kalitesi model programları ile modellenebileceğini göstermektedir. Bu yöntem havza su kalitesi çalışmalarının ve akarsu içindeki süreçlerin bir arada incelenmesinin mümkün olamadığı durumlarda oldukça kullanışlı olabilir.

Akarsu su kalitesi modelleri gelecekte yaygın kaynaklarının etkilerinin daha da artmasıyla oldukça önem kazanacaktır. Akarsulardaki su kalitesinin korunması ve su kalitesi yönetimi çalışmalarında bu çalışma benzeri çalışmalar ile geleceğe yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir. Etkilerin en iyi şekilde belirlenip değerlendirilebilmesi için havzadaki süreçlerinin de belirlendiği akarsu modelleri gerekmektedir.



Şekil 6. Kış ve yaz mevsimlerine ait kalibre edilmiş model sonuçları

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu Başkanlığı tarafından desteklenmiş bulunan “Seydi Suyu’nda azot ve fosfor döngüsünün modellenmesi”, adlı yüksek lisans projesi (Proje No: AUAF 000228) kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan hidrolojik veriler için Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİEİ) ne teşekkürü borç biliriz.

KAYNAKLAR

- Albek, E., Albek, M. ve Gence, S. (2001). *Seydi Suyu Havzasında Su Kalitesinin Gözlemlenmesi, Hidrolojik Çevrimin ve Havza Su Kalitesinin Modellenmesi*, Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi (Genel Amaçlı Proje, Proje No: 980203), Eskişehir.
- Albek, E., Albek, M., Gence, S. ve Göncü, S. (2000). Seydi Suyu’nda Su Kalitesinin İzlenmesi Ve Modellenmesi (Poster), *1. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, ss.290-293.
- Albek, E., Albek, M., Goncu, S. ve Gence, S. (2006). Seasonal Water Quality vs. Flow Relationships in a Small Regulated Stream. *Int. J. of Environment and Pollution* 26(4), 408-426.

Albek, E. ve Göncü, S. (2001). *Seydi Suyu’nda Azot ve Fosfor Döngüsünün Modellenmesi*, Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi (Yüksek Lisans Projesi, Proje No: 000228).

Albek, E. ve Göncü, S. (2005). Türkiye akarsularında askıda katı madde değişiminin yıllar boyu incelenmesi, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt.6, No.2, ss.183-190, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.

Albek, M. (2001). *Seydi Suyu Havzasında Yaygın Kaynak Kirliliğinin Sediment Bazında Modellenmesi*, Doktora tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.

APHA, Greenberg A.E. (ed.), WEF, Clesceri, L.S. (ed.), AWWA, Eaton, A.D. (1992). *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater 19 ed.*, American Public Health Association, pp. 4-75, 4-96.

Brown, L.C. ve Barnwell, T.O. (1987). *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2EU and QUAL2EU-UNCAS: Documentation and User Manual*, Environmental Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency: Athens, GA., EPA/600/3-87/007, USA.

- Chapra, S.C. (1997). *Surface Water Quality Modeling*, The McGraw-Hill Companies, pp. 486-487, 649-699.
- David, M.B., Gentry, L.E., Surface Water Quality-Anthropogenic Inputs of Nitrogen and Phosphorus and Riverine Export for Illinois, USA. *Journal of Environmental Quality* 29, 494-508.
- Drolic, A. ve Koncan, J.Z. (1999). Calibration Of QUAL2E Model For The Save River (Slovenia). *Water Science and Technology* 40, 111-118.
- DSI (1983). *Kırka Yöresi Bor Kirliliği Araştırması Raporu*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara, ss.1-23.
- Frink, C.R. (1991). Estimating Nutrient Export To Estuaries. *Journal of Environmental Quality* 20, 717-724.
- Ghosh, N.C. ve Mcbean, E.A. (1998). Water Quality Modelling Of The Kali River, India, *Water, Air and Soil Pollution*, 102, 91-103.
- Göktay, B. (1991). Sakarya Seydi Suyu Su Toplama Havzası, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir.
- Göncü, S. (2001). *Seydi Suyu'nda Azot ve Fosfor Döngüsünün Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Göncü, S. ve Albek, E. (2003). Modeling the Effects of Diffuse Nitrogen Sources on a Small Stream Using Qual2E, *Proc. 7th Int. Conference on Modelling, Monitoring and Prediction of Water Pollution*, Cadiz, Spain, pp.467-476.
- Hem, J.D. (1992). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, Third Edition. *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper*, 2254.
- Johnson, H.P. ve Brakensiek, D.L. (1982). Hydrologic Modeling of Small Watersheds, *American Society of Agricultural Engineers*, pp.229-258.
- Kawara, O., Uehara, M. ve Ibaragi, K. (1999). A Study on the Water Quality of Runoff from Forest. *Water Science and Technology* 29(12), 93-98.
- Kronvang, B., Laubel, A. ve Grant, R. (1999). Suspended Sediment And Particulate Phosphorus Transport And Delivery Pathways in an Arable Catchment, Gelbæk Stream, Denmark. *Hydrological Processes* 11(6), 627-642.
- Onur, A.K., Soyupak, S. ve Yurteri, C. (1997). Aşağı Seyhan Nehrinde Su Kalitesi Modellemesi Çalışmaları. *SKKD*, 7, 41-52.
- Pretii F. ve Lubello, C. (1993). The Distributed Modelling of Agricultural Nonpoint Pollution at Basin Scale: Experimental Research and Model Validation. *Water Science and Technology* 28, 669-674.
- Razavian, D. (1990). Hydrologic Responses of an Agricultural Watershed to Various Hydrologic and Management Conditions. *Water Resources Bulletin American Water Resources Association* 26, 777-785.
- Rekolainen, S., Grönroos, J., Bärlund, I., Nikander, A. ve Laine, Y. (1999). Modeling the Impacts of Management Practices on Agricultural Phosphorus Losses to Surface Waters of Finland 39(12), 265-272.
- Simard, R.R., Beauchemin, S., ve Haygarth, P.M. (2000). Potential for Preferential Pathways of Phosphorus Transport. *Journal of Environmental Quality* 29, 97-105.
- Smith, K.A., Jackson, D.R. ve Withers, P.J.A. (2001). Nutrient Losses By Surface Run-off Following The Application of Organic Manures to Arable Land. 2. Phosphorus. *Environmental Pollution* 112, 53-60.
- Walton, R. ve Webb, M. (1994). QUAL2E Simulations Of Pulse Loads. *Journal of Environmental Engineering* 120, 1017-1031.
- Yüceer, A. İnkayalı, N.G. (2004). Aşağı Seyhan Nehrinde Su Kalitesi Değişiminin QUAL2E Modeli ile İncelenmesi, *SKKD* 14(3), 1-8.



Serdar GÖNCÜ, 1978 yılında Eskişehir’de doğdu, 1998 yılında Lisans, 2001 yılında yüksek lisans ve 2005 yılında doktora eğitimini Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. Halen aynı bölümde

Yardımcı Doçent olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.



Erdem ALBEK, 1961 yılında İstanbul’da doğdu. Boğaziçi Üniversitesi’nden 1984 yılında mezun oldu. Yüksek lisans ve doktora öğrenimini Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü’nde tamamladı.

Halen Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde Doçent olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

