

**SEYDİ SUYU HAVZASINDA
YAYGIN KAYNAK KİRLİLİĞİNİN
SEDİMENT BAZINDA
MODELLENMESİ**

**Mine ALBEK
Doktora Tezi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran - 2001**

**Bu Tez Çalışması Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir.
Proje No: 980203**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Mine ALBEK' in "Seydi Suyu Havzasında Yaygın Kaynak Kirliliğinin Sediment Bazında Modellenmesi" başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki Doktora tezi 03.07.2001 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN	
Üye	: Doç. Dr. Süleyman KAYTAKOĞI	
Üye	: Doç. Dr. Göksel DEMİRER	
Üye	: Y. Doç. Dr. A. Savaş KOPARAL	
Üye	: Y. Doç. Dr. Mustafa TOMBUL	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 11.07.2001 tarih ve 23/2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Doktora Tezi

SEYDİ SUYU HAVZASINDA YAYGIN KAYNAK KİRLİLİĞİNİN SEDİMENT BAZINDA MODELLENMESİ

MİNE ALBEK

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN
2. Danışman : Y. Doç. Dr. Erdem Ahmet ALBEK
2001, 167 sayfa

Bu çalışmada EPA (Environmental Protection Agency) tarafından geliştirilen Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF) programı kullanılarak, Seydi Suyu ve havzasında 1991 ve 1994 su yılları arasında hidrolojik ve sediment modellenmesi gerçekleştirilmiş ve gerekli verilerin elde edilebilmesi için izleme programı uygulanmıştır. 1991-1993 yılları arasında kalibre edilen model, 1994 yılı verileri ile de sınanmıştır. Model sonucunda elde edilen baz simulasyonla havzanın şimdiki hidrolojik ve sediment davranışı temsil edilirken, uygulanan senaryolarla ileride olası durumlar karşısında havzanın vereceği tepkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Senaryo yaklaşımları sırasında, sıcaklık artışı öngören iklim değişikliği, havza bitki örtüsünün yok olması veya havzanın ağaçlandırılması durumlarında maksimum ve minimum etkiler ile tarımsal uygulamalarda konturlama ve teraslama yöntemlerinin etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hava sıcaklığında beklenen artışların gerçekleşmesi durumunda, havza su çıkışında % 20'lik düşüşler olacağı, bitki örtüsünün artırılması ve tarımsal faaliyetlerin düzenlenmesi sonucunda da erozyonun % 30'lara varan değerlerde azaltılabileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: HSPF, Yaygın Kaynak Kirliliği, Modelleme, Sediment, Havza Yönetimi

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

MODELING OF SEDIMENT BASED NONPOINT SOURCE POLLUTION IN THE SEYDİ SUYU WATERSHED

MİNE ALBEK

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN
Co-supervisor : Asst. Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK
2001, 167 pages**

In this study, a mathematical modeling program called Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF) developed by Environmental Protection Agency (EPA) was used for the hydrological and sediment modeling of the Seydi Suyu Watershed for the 1991-1994 water years and a monitoring program was applied to collect the necessary data. The model was calibrated for water years 1991-1993, and verified with data from 1994. While the watershed hydrology and sediment behavior were represented by the base simulation results which were obtained at the end of the modeling study, the response of the watershed under expected conditions in the future was determined by the applied scenarios. In the scenarios, the effects of climate change and increase in temperature, the maximum and minimum effects of watershed cover modifications, and the effects of the contouring and contour terracing methods in agricultural practices were examined. The results indicated that temperature increase due to climate change would decrease the watershed outflows by 20 %, while the change in the cover and the agricultural applications would result in a decrease in erosion for up to 30 %.

Keywords: HSPF, Nonpoint Source Pollution, Modeling, Sediment, Watershed Management

TEŞEKKÜR

“Seydi Suyu Havzası’nda Yaygın Kaynak Kirliliğinin Modellenmesi” başlıklı bu çalışma Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında Doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada yapılan ölçümler ve analizler için Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen genel amaçlı bir proje kapsamında alınan cihaz ve malzemeler kullanılmıştır.

Her şeyden önce, bu çalışmada başından beri desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN’e teşekkür ederim.

Görüş ve önerileri ile çalışmaya katkıda bulunan hocalarım Doç. Dr. Süleyman KAYTAKOĞLU’na, Doç. Dr. Göksel DEMİRER’e, Y. Doç. Dr. Mustafa TOMBUL’a ve her zaman bilgi ve görüşlerine başvurduğum Y. Doç. Dr. A. Savaş KOPARAL’a teşekkürü bir borç bilirim.

Ölçüm çalışmalarını birlikte yürüttüğümüz, veri girişinde ve bilgi toplanması aşamalarında projede uyum içerisinde birlikte çalıştığımız arkadaşlarım Araş. Gör. Serdar GÖNCÜ ve Yük. Müh. Sevgi GENÇE’ye de teşekkür borçluyum.

Ayrıca, veri toplama aşamasında ilişki içerisinde bulunduğumuz Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri personeline de teşekkür ederim.

Beni bu günlere getiren, her zaman yanımda olan ve destekleyen aileme ve son olarak bu çalışmanın ortaya çıkmasında başından sonuna kadar maddi manevi desteğini ve bilimsel katkılarını esirgemeyen sevgili eşim Y. Doç. Dr. Erdem ALBEK’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. YAYGIN KAYNAK KİRLİLİĞİ VE MODELLENMESİ	4
2.1. Su Kirlenmesinde Noktasal ve Yaygın Kaynaklar	4
2.2. Yaygın Kaynak Kirliliğinin Nedenleri	5
2.3. Yaygın Kaynaklardan Kirletici Yüklerin Taşınım Yolları	7
2.4. Yaygın Kaynak Kirliliği Yönetimi	8
2.5. Yaygın Kaynak Kirliliğinin Hidrolojik Yönü	9
2.6. Temel Bir Yaygın Kaynak Kirliliği Problemi Olarak Erozyon	12
2.7. Yaygın Kaynak Kirliliğinin Modellenmesi	13
2.8. Yaygın Kaynak Kirliliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar	20
3. HSPF PROGRAMININ TANITIMI	23
3.1. Programın Modülleri	23
3.1.1. Geçirimli kara parçalarının modellenmesi (PERLND modülü)	24
3.1.1.1. Yükseklik farkına göre hava sıcaklığının düzeltmesi (ATEMP bölümü)	25
3.1.1.2. Kar ve buzun erime ve depolanmasının modellenmesi (SNOW bölümü)	26
3.1.1.3. Geçirimli kara parçası için su bütçesi simulasyonu (PWATER bölümü)	30
3.1.1.4. Sediment oluşumu ve uzaklaşması simulasyonu (SEDMNT bölümü)	39
3.2. Geçirimsiz Kara Parçasının Modellenmesi (IMPLND modülü)	43
3.3. Serbest akışlı bir Akarsuyun ya da Tam Karışmış Bir Rezervuarın Modellenmesi (RCHRES modülü)	43
3.3.1. Hidrolik davranışın modellenmesi (HYDR alt bölümü)	44
3.3.2. Tümüyle tutunmuş bileşenlerin adveksiyon modellenmesine hazırlanması (ADCALC bölümü)	47
3.3.3. Konservatif bileşenlerin modellenmesi (CONS bölümü) ..	47
3.3.4. Isı değişimi ve su sıcaklığının modellenmesi (HTRCH bölümü)	47
3.3.5. İnorganik sediment davranışının modellenmesi (SEDTRN bölümü)	48

3.3.6. Genel kalite bileşenlerinin davranışının modellenmesi (GQUAL bölümü)	55
3.3.7. Biyokimyasal dönüşümlerde yer alan bileşenlerin modellenmesi (RQUAL bölümü)	56
3.4. HSPF ile Yapılan Çalışmalar	56
4. SEYDİ SUYU HAVZASI	63
4.1. Akarsular	64
4.2. Bitki Örtüsü ve İklim	65
4.3. Nüfus ve Sosyo-Ekonomik Durum	66
4.4. Seydi Suyunun Hidrolojik Özellikleri	67
5. MODELİN UYGULANMASI	73
5.1. Havzanın Fiziksel Olarak Temsil Edilmesi	73
5.1.1. Havzanın alt bölümlere ayrılması	74
5.1.2. Akarsuyun bölümlere ayrılması	79
5.2. Zaman Serilerinin Hazırlanışı	80
5.2.1. Meteorolojik zaman serileri	81
5.2.1.1. Sıcaklık	82
5.2.1.2. Çiğ noktası sıcaklığı	83
5.2.1.3. Bulutluluk	85
5.2.1.4. Rüzgar	85
5.2.1.5. Basınç	86
5.2.1.6. Güneş ışınması	86
5.2.1.7. Potansiyel evapotranspirasyon	87
5.2.1.8. Yağış	89
5.2.2. Hidrolojik zaman serileri	90
5.2.2.1. Havza girişi akış zaman serisi	90
5.2.2.2. Çekilen sulama suyu zaman serisi	90
5.2.2.3. Havza girişi akarsu sediment yükü zaman serisi	91
5.2.2.4. Havzaya verilen sulama suyu zaman serileri	96
5.3. Parametrelerin Hesaplanması	96
5.3.1. PERLND modülü parametreleri	97
5.3.1.1. ATEMP alt bölümü için gerekli parametreler	97
5.3.1.2. SNOW alt bölümü için gerekli parametreler	97
5.3.1.3. PWATER alt bölümü için gerekli parametreler	99
5.3.1.4. SEDMNT alt bölümü için gerekli parametreler	105
5.3.2. RCHRESmodülü parametreleri	107
5.3.2.1. HYDR alt bölümü için gerekli parametreler	108
5.3.2.2. ADCALC ve HTRCH alt bölümleri için gerekli parametreler	108
5.3.2.3. SEDTRN alt bölümü için gerekli parametreler	109
6. MODELİN KALİBRASYONU VE VERİFİKASYONU	111
6.1. Genel Kalibrasyon Prensipleri	111
6.2. Hidrolojik Kalibrasyon	112
6.3. Sediment Erozyonu Kalibrasyonu	115

6.3. Sediment Erozyonu Kalibrasyonu	115
6.4. Sediment Taşınımının Kalibrasyonu	117
6.5. Verifikasyon	118
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	120
7.1. Hidrolojik Simulasyon	120
7.1.1. Hidrolojik baz simulasyon	121
7.1.2. İklim senaryoları	132
7.1.3. Bitki örtüsünün su verimi üzerine etkisi	134
7.2. Sediment Simulasyonu	134
7.2.1. Baz sediment simulasyonu	134
7.2.2. Sediment senaryoları	139
7.2.2.1. Bitki örtüsünün erozyona etkisi	139
7.2.2.2. Toprağın işlenmesinin erozyona etkisi	140
8. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	141
KAYNAKLAR	144
EKLER	148
EK-1 Modelde Kullanılan Parametreler	148
EK-2 Programın Çalıştırılması İçin Hazırlanan UCI Dosyası	155
EK-3 Güneş Işıması Hesaplarında Kullanılan Denklemler	162
EK-4 LOWESS Yöntemi	166

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
3.1. PERLND modülünün yapısı	25
3.2. PWATER bölümünde modellenen hidrolojik çevrim	31
3.3. PWATER bölümünün akım şeması	32
3.4. Erozyon süreçleri	40
3.5. PERLND modülünün SEDMNT bölümü için akım şeması	42
3.6. RCHRES modülünün yapısı	44
3.7. HYDR bölümünün akım şeması	45
3.8. SEDTRN bölümünün akım şeması	49
4.1. Orta Seydi Suyu Havzası'nın Eskişehir haritasındaki yeri	63
4.2. Seydi Suyu ve havzası	64
4.3. Hamidiye aylık toplam akımlar ve LOWESS eğrisi	68
4.4. Aylık toplam akım değerleri	69
4.5. Havza girişinde günlük debi histogramı	72
4.6. Hamidiye günlük debi histogramı	72
5.1. Havzanın üç boyutlu görüntüsü	74
5.2. Havza üzerindeki yüzeysel akış yönleri	75
5.3. Havzanın bölümleri	76
5.4. P1 sağ yukarı havza	77
5.5. P2 sol yukarı havza	78
5.6. P3 sağ aşağı havza	78
5.7. P4 sol aşağı havza	79
5.8. Ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkların aylık değişimleri	82
5.9. Maksimum, minimum ve ortalama bağıl nem değerleri	84
5.10. Toplam aylık güneş ışıması değerleri	87
5.11. Potansiyel evapotranspirasyon değerleri	88
5.12. Aylık toplam yağış	89
5.13. Aylara göre 1. ve 2. İstasyonlardaki AKM derişimleri ve debi	92
5.14. İkinci istasyondaki sediment yükleri ve debi ilişkisi	94
5.15. İki istasyon arasındaki sediment yükleri ilişkisi	95
5.16. Havza girişindeki aylık toplam sediment yükleri	95
5.17. Geri çekilme analizi için hidrograf gösterim metodunun logaritmik çizimi	102
5.18. Geri çekilme analizi için hidrograf gösterim metodunun logaritmik çizimi	103
7.1. Model girdilerinin dağılımı	123
7.2. Model çıktılarının dağılımı	123
7.3. Yıllık toplam akımların karşılaştırılması	125
7.4. Aylık toplam akımların karşılaştırılması	126
7.5. Günlük akım ölçümleri ve model sonuçları	128
7.6. Günlük akımların ölçüm ve simulasyon sonuçlarının LOWESS eğrileri	129
7.7. Günlük akımlarda LOWESS eğrilerinin karşılaştırılması	130
7.8. Yıllık toplam havza su çıkışları	131
7.9. Havzalardan kaynaklanan yıllık toplam buharlaşma-terleme	131

7.10. Yıllık toplam sediment yüklerinin karşılaştırılması	136
7.11. Aylık toplam sediment yükleri	137
7.12. Aylık toplam yüklerde LOWESS eğrileri	138
7.13. a) Alt havzalardan kaynaklanan toplam sediment yükleri	
b) Alt havzalardan kaynaklanan alan başına sediment yükleri	138

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Noktasal ve yaygın kaynakların oranları	4
2.2. Kırsal bölgelerde başlıca yaygın kirletici kaynaklar	31
2.3. Bazı yaygın kaynak kirliliği modelleri	32
2.4. Modellerin birbirleriyle karşılaştırılmaları	40
4.1. Havza girişi aylık toplam akımlar	70
4.2. Hamidiye istasyonu aylık toplam akımlar	71
4.3. Sulama debilerinin aylık ve yıllık dağılımları	71
5.1. Alt havzaların özellikleri	77
5.2. Akarsu bölümlerinin özellikleri	80
5.3. Saatlik sıcaklık verilerine ait bazı istatistiksel değerler	83
5.4. Alt havzaların orman özellikleri	98
5.5. Hidrolojik toprak grupları	100
5.6. Alt havzalardaki drenaj yoğunluğu ve LSUR parametreleri	101
5.7. Yüzey özelliklerine göre Manning's n değerleri	105
6.1. Kalibrasyon sonuçlarının genel olarak sınıflandırılması	118
7.1. Su dengesinin bileşenleri	122
7.2. Konturlama ve teraslama senaryolarının sonuçları	140

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

F	: Su cinsinden toplam sızma
t	: Zaman
f	: Sızma hızı
s	: Toprak özelliklerine bağlı sabitler
a,b	: Katsayılar
T	: Sıcaklık (derece)
T_d	: Çiğ noktası sıcaklığı
f_b	: Bağıl nem oranı
S_{Ta}	: Sıcaklığa bağlı bir fonksiyon (1/derece ²)
S	: Güneş ışınması (enerji/alan)
H_L	: Suyun buharlaşma ısısı (enerji)
P	: Basınç
PET	: Potansiyel evapotranspirasyon (derinlik)
L	: Yük (kütle/zaman)
Q	: Debi (hacim/zaman)
D.F.	: Düzeltme faktörü
L*	: Regresyon sonucunda bulunmuş yük (kütle/zaman)
N	: Veri sayısı
P	: Yıllık ortalama yağış (derinlik)
D	: Drenaj yoğunluğu (1/uzunluk)
q₀	: Herhangi bir zamandaki akış (hacim /zaman)
q₁	: q ₀ 'dan bir sonraki akış (hacim/zaman)
q_t	: q ₀ 'dan t zaman sonraki akış (hacim/zaman)
K_r	: Geri çekilme sabiti
V_b	: Boşluk hacmi
V	: Toplam hacim
n	: Teras sayısı

1. GİRİŞ

Su kirliliği sorunlarına bilimsel bazda çözüm arayışları 20. yüzyıl başlarında gündeme gelmiştir. Önceleri atıksu arıtımı üzerinde yoğunlaşan çabalar daha sonraları kirletici kaynakların çeşitlenmesi ve kirletici türlerinin çoğalması ile kaynakta kontrol ve havza yönetimi gibi alanlara kaymıştır. Yüzyıl başındaki kirlilik sorunları ile günümüzdeki sorunlar farklıdır.

20. yüzyıl başında daha çok evsel ve endüstriyel kaynaklardan gelen organik kirlilik ve bunu izleyen oksijen tükenmesi çözüm bekleyen sorunlar arasında yer almıştır. Yüzyıl ortasından itibaren ötrofikasyon sorunu etkilerini göstermeye başlamış, yüzyıl sonlarına doğru da sularda rastlanılan derişimleri düşük de olsa etkileri önemli boyutlara varabilen toksik kimyasallar ve ağır metaller başlıca sorunlar arasında yer almaya başlamıştır.

Yüzyıl başında noktasal kaynakların giderilmesine çözüm aranmış, yaygın kaynaklar hem belirlenmeleri hem de kontrolleri zor olduğundan ikinci planda kalmışlardır. Atık su arıtımının etkin bir şekilde gerçekleştirilmesiyle noktasal kaynaklar önemli ölçüde kontrol altına alınmışlardır. Ancak bu kontrolün gelişmiş ülkelerde daha etkin yapıldığı, çevre sorunlarını geç fark etmiş ve önlemekte ekonomik nedenlerle etkisiz kalmış ülkelerin hala yoğun bir şekilde noktasal kirlilik sorunu yaşadığı da bir gerçektir. Bununla birlikte noktasal kaynakların neden olduğu kirlilik sorunlarını ileri arıtım yöntemleri ile çözmeyi başaran gelişmiş ülkelerde, halen devam eden kirlilik sorunları, yaygın kaynak kirliliğinin de ele alınması gereğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle yaygın kaynaklar gelişmiş ülkelerde günümüzün en önemli çevre sorunlarını oluşturmaktadır.

Yaygın kaynak kirliliğinin kontrol altına alınması önemli sorunları beraberinde getirmektedir. Çözülmesi gereken ekonomik ve teknik güçlüklerin yanı sıra sosyal açıdan da bertaraf edilmesi gereken engeller ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yaygın kaynak kirliliğinin kontrolü özellikle gelişmekte olan ülkelerde ele alınmakta çekinilen bir konu, önlenmesi gerekli hale gelmişse de çoğunlukla pek çok engele takılarak yarım bırakılan bir proje olarak kalmaktadır.

Yaygın kaynak kirliliğinin kontrolünde modelleme çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle heterojen ortamlarda (örneğin toprakta) oluşan kirliliğin belirlenmesinde bilgi eksikliği vardır. Bunun yanında veri eksikliği de çok ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Kirliliğin oluşumu ile etkisi arasında bir köprü kuran modelleme çalışmaları bilgi ve veri eksikliğinin yarattığı boşluğun doldurulmasına yardımcı olmakta, ancak bu eksiklikler nedeni ile de sınırlanmaktadır. Günümüzde yaygın kaynak kirliliği genellikle havza bazında incelenmektedir ve bu çalışmaların hemen hemen hepsinde modelleme hem havzada gerçekleşen süreçlerin anlaşılmasında hem de geleceğe yönelik tahminler yapılmasında yoğun olarak kullanılmaktadır. Havza yönetiminin en önemli yardımcı araçlarından bir tanesi yaygın kaynak kirliliği modellenmesidir.

Türkiye’de noktasal kaynak kirliliği önemli ölçüde aşılammış durumdadır. Yaygın kaynak kirliliğinin kontrolü çalışmaları çok yeni bir konu olarak incelenmeye başlanmıştır. Türkiye koşullarında, yaygın kaynak kirliliğinin modellenmesi de hemen hemen hiç denenmeyen bir alandır. Bunun başlıca nedenleri veri eksikliği ve bilimsel çalışmalar ile bunların yön vereceği havza projelerinin arkasında olması gereken kamu desteği ve toplum bilinci gibi itici güçlerin yeterince gelişmemiş olmasıdır.

Bu çalışma yukarıda söz edildiği gibi Türkiye’de daha başlangıç safhalarında olan bir alana, yaygın kaynak kirliliğinin modellenmesine girmektedir. Çalışmanın temel amacı yaygın kaynak kirliliğinin oluşması için potansiyel bir ortam olan tarımsal bir havzayı bütünüyle ele alıp girişten çıkışa kirlilik oluşma süreçlerini modellemektir. Bu modelleme süreci içinde havza bütün yönleri ile incelenmiş, girdiler elde edilmiş ve çıktılarının kontrolü amacıyla üç yıllık bir izleme programı gerçekleştirilmiştir.

Modellenen kirlilik parametresi olarak seçilen sediment hem barajların dolması, suların bulanıklaşması, su arıtımının etkilenmesi gibi önemli çevre sorunlarına yol açmakta, hem de fosfor, pestisitler ve metaller gibi bazı önemli kirleticilerin taşınmasında ve davranışında etkin bir rol üstlenmektedir. Yaygın kaynak kirliliğinin modellenmesinde en önemli bileşen olan hidrolojik modellemeyi izleyen sediment modellenmesi bu açıdan başka kirleticilerin modellenmesi için de bir ara basamak olmaktadır.

Bu çerçevede ele alındığında bu çalışmanın amacı, yurt dışında özellikle de Amerika Birleşik Devletleri'nde yoğun olarak kullanılan, havza bazında bütün bileşenleri ayrıntılarıyla modelleyebilen kapsamlı bir yaygın kaynak kirliliği modeli, HSPF (Hydrological Simulation Program – Fortran) kullanarak, tarımsal bir havza olarak seçilen Orta Seydi Suyu Havzası'nda hidrolojik bileşenlerle ilintili olarak sediment modellenmesi yapmaktır.

2. YAYGIN KAYNAK KİRLİLİĞİ VE MODELLENMESİ

2.1. Su Kirlenmesinde Noktasal ve Yaygın Kaynaklar

Küresel ölçekte en önemli su kirliliği kaynaklarını evsel atık sular, endüstriyel atık sular ve çeşitli arazi kullanımlarından kaynaklanan yüzey akış suları ile taşınan kirleticiler olarak üç grup altında toplayabiliriz. Bu kaynaklar da yine noktasal kaynaklar ve yaygın kaynaklar olarak iki gruba ayrılırlar.

Geleneksel noktasal kaynaklar, evsel ve endüstriyel alanlardan kaynaklanan atık suları içerir. Bu kaynaklardan çıkan akış ve kirlilik yükleri değişken olmakla birlikte genellikle sürekli dir. Değişkenlikleri genellikle meteorolojik faktörlere bağlı değildir. Başlıca kirletici bileşenler ayrıştırılabilen organikler (BOİ₅, KOİ cinsinden), pH, askıda katı maddeler, azot, fosfor ile organik ve inorganik toksik maddelerdir. Bu kirleticilerin kontrolü için arıtım ve kaynağında önleme çalışmaları en geçerli yöntemlerdir.

ABD’de U.S. EPA (Çevre Koruma Örgütü) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, değişik kirleticilerin noktasal ve yaygın kaynaklardan kaynaklanan kirlilik oranları incelenmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge. 2.1. Noktasal ve yaygın kaynaklardan kaynaklanan kirlilik oranları (U.S. EPA, 1984)

Kirletici	Noktasal kaynaktan (%)	Yaygın kaynaktan (%)
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	30	70
Toplam fosfor	34	66
Toplam Kjeldahl azotu	10	90
Fekal koliform	10	90
Kurşun	43	57
Bakır	59	41
Kadmiyum	84	16
Krom	50	50
Çinko	30	70
Arsenik	95	5
Civa	98	2

Yaygın kaynaklar şu şekilde karakterize edilebilirler:

- Yaygın kaynaklar yüzeysel sulara aralıklarla ve genellikle meteorolojik olaylarla ilintili olarak dağınık bir şekilde karışırlar.
- Atık üretimi (kirlilik) geniş bir alanda oluşur ve alıcı ortama ulaşmadan bütün yüzeye yayılır.
- Yaygın kaynakların, kaynaktan izlenmeleri çok zor veya imkansızdır.
- Geleneksel noktasal kaynakların aksine, yaygın kaynak kontrolü için, havza ve akım yönetimi üzerinde yoğunlaşmak gerekmektedir.
- Suda veya karada izleme gerçekleştirilebilir.
- Atık emisyonları ve boşaltımlar çıkış deşarj sınırları cinsinden ölçülemez.
- Yaygın kaynak kirliliğinin yayılımı, coğrafi ve jeolojik durumlar kadar kontrol edilemeyen temel mevsimsel olaylarla ilintilidir. Genellikle bölgeden bölgeye ve yıldan yıla değişebilir.
- Yönetim ve kontrol yönünden yaygın kaynakların en önemli atık bileşenleri askıda katılar, bitki besin maddeleri ve toksik bileşenlerdir.

2.2. Yaygın Kaynak Kirliliğinin Nedenleri

Yaygın kaynak kirliliği hem geleneksel hem de toksik kirlilik yaratabilir. Yüzeysel akışı kirleten yaygın kaynak kirliliği, genellikle yağış sırasında kaynak alanlarından yayılır. Böylelikle kirlilik olayları ani ve kısa süreli oluşur. Kirletici derişimi, kaynağın doğası ve yoğunluğu ile kaynak ve alıcı ortam arasındaki seyrelmeye bağlı olarak değişir. Genellikle seyreltik fakat miktar açısından fazladır. Bununla birlikte, özellikle azot ve taşınabilen pestisit türleri gibi bazı kirleticiler kaynaktan ara yüzey taşınımı ile taşınırlar ve bu taşınımlar yüzey akışına göre daha sürekli dir.

Yaygın kaynak kirliliği, kaynağına göre kırsal bölgelerden ve şehirlerden kaynaklanan olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Kırsal bölgelerde yaygın kaynakların neden olduğu başlıca kirleticiler ise dört ana grupta toplanabilir. Çizelge 2.2’de bu yaygın kirletici kaynaklar ve etkileri özetlenmektedir.

Çizelge 2.2. Kırsal bölgelerde başlıca yaygın kirletici kaynaklar (Albek 1997)

Kaynak	Sulara Katılan Başlıca Kirleticiler
Tarım Alanları	- Sediment - Besin Maddeleri (Azot, Fosfor) - Tarım İlaçları - İnorganik Tuzlar
Özellikle yoğun otlatmaya maruz otlaklar	- Sediment - Besin Maddeleri (Azot, Fosfor)
Maden Sahaları	- Sediment - Metaller - Tuzlar - Asitli Sular
İnşaat Sahaları (yol yapımı gibi)	- Sediment

20. yüzyılın ikinci yarısında çevresel (ekolojik) dengenin aşırı derecede bozulmasına ve dolayısıyla yaygın kaynak kirliliğinin artmasına neden olan pek çok temel neden vardır. Bunların başlıcaları şöyle özetlenebilir:

- Özellikle az gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelerde, aşırı nüfus artışı, altyapı eksikliğinden kaynaklanan yaygın kaynak kirliliğine neden olmuştur. Yoğun nüfus baskısı aynı zamanda ormanlık alanlar gibi kaynakları eritmiş, arazi kullanımını değiştirerek yeni tarım alanları oluşturulması yoluyla buralardan kaynaklanan kirlilik miktarını artırmıştır.
- Arazi kullanımının farklılaşması, ormansızlaşma ve doğal alanların bozulması, arazi tahribatı dolayısıyla erozyondan kaynaklanan sediment miktarını önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Arazilerin yoğun tarım alanlarına dönüştürülmesi ve yüksek tarımsal ürün almak için kimyasal kullanımının artması da organik ve kimyasal kirliliği artırmıştır.
- Şehirleşme ve endüstrileşme, atmosferik bileşenlerden havza su dengesine kadar pek çok parametreyi değiştirerek kirliliğin artmasına neden olmuştur.
- Yaşama standardının yükselmesi sonucunda, kişi başına kullanılan doğal kaynakların ve üretilen atık miktarının artması da yaygın kaynak kirliliğinin artmasında önemli rol oynayan etkenler arasındadır.

Yaygın kaynak kirliliğinin etkileri yere ve kaynağa özel olduğundan, özelliklerinin ve miktarının belirlenmesi zor olmaktadır. Bu nedenle sorunun nedenleri ve boyutlarının belirlenmesi ülkeden ülkeye değişmektedir. Su kalitesi standartlarına erişmede başarısız olunmasının temel nedenlerinden biri de yaygın kaynak kirliliğine gerekli önemin verilmemesidir (Humenik ve ark. 1987).

2.3. Yaygın Kaynaklardan Kirletici Yüklerin Taşınım Yolları

Kirletici yükleri, yaygın kaynaklardan alıcı sulara, yüzey üstü veya yüzey altı yollardan ulaşırlar. Yüzey üstü yükleri aralıktır ve yalnızca yağış olayları ya da kar erimesi sırasında oluşur. Akış yönü her zaman yataydır. Akış hızı genelde hızlıdır; genellikle saniyede santimetre mertebesindedir. Yüzeysel akışın kimyasal bileşeninin büyük bölümü yüzeysel kaynaklardan (toprak) gelen sedimentten kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, su ve sediment kalitesi, aynı olmamakla birlikte, havza toprak bileşeni ile ilintilidir. Genel olarak herhangi bir havza için üç yüzeysel akış kaynağı vardır: geçirgen olmayan alanlar, geçirgen alanlar ve drenaj sistemleri.

Yüzey altı yükleri, toprak katmanları boyunca daha karmaşık yollar izleyerek sürekli yön değiştirirler. Toprak katmanları boyunca akış yönü genellikle dikey olmakla birlikte bazı yüzeye yakın derinliklerde yataya yakın görülebilir. Kirleticiler, toprağa sızan yüzeysel sulardan ve topraktan süzülen kirleticilerden oluşmaktadır. Yükler daha sürekli ve yükleri taşıyan akış bileşeni yer altı suyu akışıdır. Nitrat gibi genel olarak çözünmüş halde bulunan bazı kirleticilerin kaynaktan alıcı suya taşınımı yüzey altı yoluyla gerçekleşmektedir. Yeraltı suyu seviyesi yüksekliği alıcı suyun taban yüksekliğinin altında kalıyorsa, yüzey altı katılımı azdır (Haan, 1982).

Yaygın kaynak kirliliği, doğal olarak var olan arka plan yüklerden farklıdır. Yaygın kaynak kirliliği çalışmalarında arka plan yüklerinin miktarını belirlemek önemlidir. Ancak pek çok organik kimyasalın (pestisitler, halojenli hidrokarbonlar, uçucu organiklerin pek çoğu) arka plan derişimi yoktur. Bu maddeler, hümik asitlerden doğal yollarla oluşan bazı Poliaromatik Hidrokarbonlar (PAH) ve uçucu organik bileşenler dışında insani etkinliklerden kaynaklanır ve görünen arka plan seviyeleri atmosferik çökeltmeden kaynaklanmaktadır.

Su kirliliğinin azaltılabilmesi için, alıcı sularda doğal ya da arka plan derişimlerini önemli ölçüde aşmamak amaçlanır. Bütün sediment akarsulardan uzaklaştırılmayacağı gibi, BOİ değeri sıfırlanamaz, oksijen derişimi her zaman doygunluk seviyesinde tutulamaz. Yaygın kaynakların azaltılmasında, doğal su

kalitesi seviyelerinin tutturulması önemlidir. Bunun nedenleri aşağıda açıklanmıştır.

- Kolaylıkla tanımlanabilen, miktarı kaynakta ve alıcı ortamda kolayca belirlenebilen noktasal kaynakların aksine, yaygın kaynaklar doğrudan ölçülemez.
- Alıcı su ortamında, yaygın kaynak katılımını doğal arka plan su kalitesinden ayırmak zordur.
- Doğal su kalitesi, kirlilik kontrol çabaları için ulaşılmak istenen bir seviyedir fakat her zaman mümkün olmayabilir.

2.4. Yaygın Kaynak Kirliliği Yönetimi

Yaygın kaynak kirliliğinin azaltılması, büyük boyutlu havza yönetimi gerektirmektedir. Su havzasının tümünü kontrol etmek mümkün olmadığı gibi bütün kirliliği de uzaklaştırmak gerçekçi değildir.

Genel olarak, kirlilik yönetimi şu sınıflara ayrılabilir:

- a) Kaynakta kontrol: Bu tür kontroller kaynakta kullanımı kısıtlayarak ya da durdurarak kirliliğin önlenmesini amaçlar. Bu tür uygulamalar kirletici ve zararlı kimyasalların yasaklanması (DDT ve PCB kullanımının yasaklanması gibi) veya emisyon hızlarının azaltılması (yağmur sularının ya da atıksuyun yeniden kullanılması, hava kirliliği kontrolü) gibi uygulamaları içerir.
- b) Kaynak alanların hidrolojik rejiminin değiştirilmesi: Bu tür uygulamalar çoğunlukla, yüzeysel akışla taşınan yaygın kaynak kirliliğinin kontrolü için kullanılır. Yüzeysel akış oluşumu havzanın geçirgenliği ile ilgili olduğu ve akış kayıplarını pek çok yüzeysel parametre belirlediği için bu tür hidrolojik özelliklerin iyileştirilmesi kirliliği azaltabilir. Örneğin, Tokyo'da deneysel bir şehir havzasındaki kaldırımlara geçirgen taşlar döşendiğinde sızma miktarının büyük ölçüde artmasıyla yüzeysel akış engellenmiş böylelikle yaygın kaynak kirliliği yükü büyük ölçüde azaltılmıştır. Toprağın sürüş tekniklerinin değiştirilmesi gibi toprak koruma yöntemleri de yine hidrolojiyi etkileyen faktörler arasındadır (Novotny 1995).

- c) Kirleticilerin kaynak alandan alıcı sulara taşınımının azaltılması: Yaygın kaynak kirliliğinde noktasal kaynaklardan farklı olarak, kaynak alanlarından oluşan akıştaki kirleticiler drenaj sistemleri kullanılarak azaltılabilir. Bu azaltmanın derecesi drenaj sistemine bağlıdır. Tipik şehir kanalizasyon sistemleri kirleticilerin azaltılmasında önemli bir rol oynamaz ve hemen hemen tüm kirleticiler drenaj sisteminin sonuna taşınırlar. Diğer yandan, doğal drenaj sistemleri ve yüzey üstü akış ise, kirleticilerin filtrasyonu ve çökmesi ile akıştan uzaklaşabilmesine olanak verir. Drenaj yollarına tampon bantlar konulması, kanalizasyonlara çökme havuzları veya diğer depolama ve arıtım sistemleri inşa edilmesi ile kirletici iletiminin azaltılması mümkündür.
- d) Deşarj noktalarından kirletici uzaklaştırılması: Kanalizasyon sisteminin sonundaki arıtma tesisleri noktasal kaynak azaltılmasına tipik bir örnektir. Daha az rastlanmakla birlikte yaygın kaynak kirliliği kontrolü için uygulanabilecek yöntemler arasında drenaj çıkış noktalarına çökme havuzları inşası ve/veya sulak alanlar tesisi sayılabilir.

2.5. Yaygın Kaynak Kirliliğinin Hidrolojik Yönü

Yaygın kaynak kirliliğinin oluşumu ve miktarı hidrolojik çevrimle yakından ilgilidir. Bu nedenle yaygın kaynaklardan gelen kirletici yükleri, meteorolojik olaylara bağlı tahmin edilemeyen bir bileşene sahiptir. Bu bileşen, yaygın kaynak kirliliğini, havza hidrolojisine bağlı olmayan klasik noktasal kaynak kirliliğinden ayırmaktadır. Bununla birlikte, havzanın hidrolojik değişimleri yaygın kaynak kirliliği yüklerini azaltıp artırabilmektedir. Yaygın kaynak kirliliğinin oluşumu ve taşınımının anlaşılıp kontrol edilebilmesi için bunlara neden olan hidrolojik proseslerin bilinmesi gereklidir.

Yağış oluşumunun ilk basamağı atmosferik nemin yağmur damlacıkları ya da kar tanecikleri olarak yoğunlaşmasıdır. Bu esnada su, atmosferik kirleticilerle temas halinde olduğundan yağmur suyunun kirletici yükü çok yükselebilmektedir. Bu nedenle yağış sırasında havadan gelen kirleticilerle, kuru atmosferik çökme yaygın kaynak kirliliğinin önemli bir bölümünü oluşturur.

Yağışla oluşan akışın üç bileşeni vardır.

- a) Yüzeysel akış, buharlaşma, sızma gibi süreçlerden sonra yağışın kalan kısmıdır. Buna net ya da fazla yağış da denmektedir. Kayıplar bitkiler tarafından tutulma, birikintiler şeklinde havuzlanma, toprak içine sızma, topraktan ve açık su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yollarıyla oluşur. Partikül şeklindeki kirletici yüklerin büyük bölümü yüzeysel akışla taşınmaktadır. Bu nedenle yağış erozyonundan açığa çıkan toprak, net yağışın dolayısıyla yüzeysel akışın çok olması durumunda kaynak alandan direkt olarak taşınabilmektedir.
- b) Arayüzey akışı, toprak katmanına sızan ve alt toprak katmanının az geçirgen olması durumunda yatay akışa geçen suyu ifade eder. Tipik olarak ara yüzey akışının hidrolojik dengedeki miktarı azdır ve ancak baharda kar erimesiyle ve ara yüzeyin donmuş olduğu durumlarda yağmurla önemli ölçüde artar.
- c) Yer altı suyu akışı, kaynak sularından ve kuyulardan katılan suları ifade eder. Şehir kanalizasyonu olan durumlarda kanalizasyondan sızmalar da yer altı suyuna ilave edilebilir. Uzun süren kuraklık dönemlerinde akarsu akışının büyük bölümü yer altı suyu şeklindedir.

Yüzeysel akışın kalitesi, yağış erozyonu yoğunluğuna ve yüzeyde biriken kirletici miktarına bağlıdır. Ara yüzey akışı ve yer altı suyu akışının kirlenmesi çoğunlukla toprağın aşırı kirlenmesinden (örneğin fosseptiklerden sızan suların toprağı kirletmesi, tarımsal alanlarda aşırı gübre kullanılması) kaynaklanmaktadır.

Yüzeysel akışın, ara akışın ve yer altı suyu akışının oranlarını ve miktarlarını belirleyen bileşenler ve süreçler şunlardır:

- Tutulma: Yağışın bir bölümü bitki yüzeylerinde tutulur ve yerçekimini yenebilecek kadar bir yüzey tabakası oluşturarak bitki yüzeyine yapışır. Tutulma depolanması, yağışın yüzeydeki bitki ve nesnelere yüzeylerini ıslatan yağış miktarıdır ve buharlaşma yoluyla atmosfere geri döner. Tutulan yağış miktarı yüzeydeki bitkilerin cinsine ve yoğunluğuna, yağışın şiddetine ve miktarına, yüzeyin pürüzlülüğüne, mevsime ve bitkilerin büyüme evresine bağlıdır.
- Birikinti depoları: Yüzeysel akışın düşen sular ilk önce yüzeydeki boşlukları doldurur. Böylelikle küçük havuzlar, gölcükler veya alanın genel olarak ıslanması

tarzında oluşumlar gözlenir. Buralarda biriken sular ya buharlaşır veya alt toprak katmanına sızar. Yağış hızı sızma hızını geçtiği ve tüm yüzeysel tutulma ve depolanmaları aştığı anda yüzeysel akış başlar. Toprağı sürmek, işlemek, ekip-dikmek gibi faaliyetlerle birikinti depoları miktarı artırılabilir.

Toprak geçirgenliği ve sızma yaygın kaynak kirliliğini önemli ölçüde etkileyen etmenlerdendir. Toprak geçirgenliği toprağın fiziksel yapısına, sıklığına, organik ve kimyasal bileşenlerine bağlıdır. Geçirgenliğine göre topraklar dörde ayrılır. A grubu topraklar kum ve çakıl tipinde yüksek sızdırma kapasitesine sahip, yüzeysel akış potansiyelleri az olan topraklardır. B grubu topraklar göreceli olarak daha ince yapılı, düşük ile orta yüzeysel akış potansiyeline sahip orta düzey geçirgen topraklardır. C grubunda orta ila yüksek yüzeysel akış potansiyeline sahip topraklar yer alır. D grubundakiler ise yüksek yüzeysel akış potansiyeline sahip, çok düşük sızdırma kapasiteli killi topraklardır (Dingman 1994) (Bkz. Çizelge 5.5).

- Sızma: Sızma, toprak nemi, bitki örtüsü, sıcaklık gibi parametrelerin bir fonksiyonudur. Sızma sırasında, su, yerçekimi ve kılcal kuvvetlerin birleşik etkisiyle yüzeysel depolardan toprağa girer. Kılcal kuvvet gözenek çapı ile ters orantılıdır. Sızma devam ettikçe boşluk alanlar dolmaya ve kılcal gerilim azalmaya başlar. Bu durumda etkiyen kuvvet çoğunlukla yer çekimi kuvvetidir.
- Buharlaşma ve terleme: Daha önce anlatılan kayıplardan farklı olarak, evapotranspirasyonun yüzey akışına doğrudan etkisi fazla değildir ve sadece sızma hızına etki eder. Evapotranspirasyon açık alanlardan ve topraktan buharlaşma yoluyla atmosfere su kaybını ifade eder. Diğer bir anlatımla, evapotranspirasyon bitkiler tarafından terleme ile topraktan buharlaşmanın bileşimidir. Terleme ise bitkilerin kök sistemi ile toprak tabakasından su çekmeleri ve yaşam döngüleri ile atmosfere bırakmalarıdır.

2.6. Temel Bir Yaygın Kaynak Kirliliği Sorunu Olarak Erozyon

1930'lerden beri yapılan çalışmalar, pek çok akarsudaki askıda madde yükünün, havzadaki arazi kullanımının değişmesine bağlı olarak önemli ölçüde arttığını ortaya koymuştur (Novotny 1995). Toprak erozyonu yaygın kaynak kirliliğinin en önemli nedenidir ve sediment de en çok grnebilendir. Erozyonun ve bunun bir sonucu olan sedimentasyonun çevresel etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Alıcı sularda yüksek miktarlardaki sediment yükünün etkileri, su habitatının kısmen veya tamamen bozulması şekindedir. Özellikle yavaş akımlı sularda yüksek miktardaki sediment yükü, taban faunasını ve florasını örter ve balıkların beslenme alanlarını bozar. Sediment, doğrudan balık ve diğer sucul ekosistem bileşenlerine zarar verdiği gibi besin kaynaklarını da tahrip eder.
- Yüksek miktarlardaki sedimentasyon rezervuarların depolama kapasitelerinin çok çabuk azalmasına ve normal biyolojik hayatı engelleyen taban birikintilerinin artmasına neden olur.
- Sediment ile taşınan besin maddeleri yosun patlamalarına ve dolayısıyla ötrofikasyona neden olur.
- Sediment (zellikle ince taneli sediment), organik bileşenler, metaller, amonyum iyonu, fosfat ve pek çok organik toksik bileşenler için birincil taşıyıcıdır. Örneğin aldrin ve dieldrin gibi pestisitler, DDT ve PCB'ler gibi organik klorlu bileşikler, suda çok az çözünmelerine karşın askıdaki sedimente çok kolay adsorbe olurlar.
- şehir havzalarının hidrolojisinin değişiminden kaynaklanan akarsu kenarlarındaki alanların erozyonu, su ve yaban hayatı için habitat oluşturan akarsu kenarlarındaki bitki ortamının bozulmasına neden olur.
- Sediment nedeniyle oluşan bulanıklık, nehirlerde fotosentez miktarının düşmesine neden olur. Bunun sonucu olarak, habitatta ve besin kaynaklarında azalma görülür.

Bununla birlikte, özellikle kil ve organik partiküllerden oluşan ince sedimentlerin, kirleticileri adsorbe ederek ve biyolojik olarak kullanılamaz hale getirerek bir miktar faydalı olduğu da göz ardı edilmemelidir.

Aşağıda sıralanan kullanımlar insanlar tarafından büyük miktarlarda sediment yükleri üretmektedir:

- Tarımsal etkinlikler, geniş alanlardan kaynaklandığı ve toprağı sürme ve işleme sırasında erozyona açık bir hale getirdiği için en önemli sediment kaynaklarından biridir.
- Şehirsel erozyon diğer bir sediment kaynağıdır. Genellikle inşaat alanlarından, yollardan ve geçirgen olmayan alanlardan kaynaklanır.
- Karayolu erozyonu, yol yapımı sırasında geniş alanların kazılması ve bitki örtüsünün kalkması ile ortaya çıkar.
- Silvikültürel (orman yönetimi) erozyon, temizlik kesimi çalışmalarında, gerekli yolların inşası sırasında ve kereste taşınımı esnasında ortaya çıkmaktadır. Ancak geride önemli ölçüde bitkisel kalıntı bırakıldığı için tarım arazilerine göre daha az erozyona neden olur.
- Madenlerden kaynaklanan erozyon da miktar ve tip olarak inşaat sahalarına benzer tarzda erozyona yol açar. Yol yapımı ve maden sahasının açılması için bitki örtüsünün ortadan kaldırılması kadar, madencilik sürecinin kendisi de büyük bir erozyon kaynağıdır.
- Akarsu kenarı, kanal ve kıyılardaki erozyon yoğun su akışı ve dalga hareketleri nedeniyle oluşur. Bazı nehirlerde kıyı ve kanal erozyonundan kaynaklanan sediment yükü oldukça fazladır.

Kaynağında oluşan sediment, gerek kalite gerekse miktar bakımından alıcı su kütlelerinde ölçülen sediment ile aynı değildir. Kaynakla alıcı su arasındaki uzaklık, bitki örtüsü, sahanın eğim ve pürüzlülük özellikleri ile yüzeysel akış sırasındaki havuzlaşma ve depolama özellikleri kaynaktan alıcı suya sediment taşınımını etkileyen faktörler arasında sayılabilir. Erozyon aynı zamanda doğal olarak ta olduğundan, sediment yüklerinin tamamen kontrolü ve sulardan uzaklaştırılması gerçekçi değildir (Novotny 1995).

2.7. Yaygın Kaynak Kirliliğinin Modellenmesi

Su kalitesi modellenmesi çalışmaları 1920'li yıllarda Streeter Phelps modelleri ile başlamıştır (Chapra 1997). Akarsuların, göllerin, denizlerin ve yer

altı sularının gerek hareketi gerekse bu su ortamlarına verilen kirleticilerin davranışları ile ilgili çok sayıda değişik karmaşıklık seviyelerinde modeller geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Schnoor 1996). Bu modellerin kullanılmasının temel amaçları bir su kütlesindeki süreçleri daha iyi anlayabilmek ve geleceğe dair tahminler yaparak kara süreçlerine yardımcı olmaktır. 1960'lı yıllardan itibaren noktasal kaynakların su ortamlarının kalitesine olan etkileri daha az atık üretme ve etkili atıksu arıtımı sonucunda, yaygın kaynakların etkilerine oranla azalmaya başlamıştır. Bu yıllardan itibaren azot ve fosfor gibi bitki besin maddelerinin, çeşitli tarım kimyasallarının, sedimentin ve eser miktarda bulunan ama toksisiteleri yüksek organik kimyasalların yarattığı su kirliliği, organik kirlilik ve patojen organizmaların yarattığı kirlilik gibi geleneksel kirlilik türlerine göre ön plana çıkmıştır. Bu tür kirlilik noktasal kaynaklardan ziyade yaygın kaynaklardan su ortamlarına karışan maddeler tarafından oluşturulmaktadır. Yaygın kaynak kirliliğinin kontrol stratejilerinde ön plana çıkmasıyla yaygın kaynak kirliliğinin modellenmesi çalışmaları da başlamıştır.

Yaygın kaynak kirliliğinde modelleme, noktasal kaynak kirliliğinin modellenmesine göre ek bir boyuta sahiptir. Yaygın kaynak kirliliğinin ölçülmesi zordur. Kirlilik yaratan maddelerin kaynakları çok geniş alanlara dağılmış bulunduğundan, yük ve derişim ölçümleri hemen hemen imkansız gibidir. Modelleme çalışmaları ölçüm eksikliğini bir ölçüde kapatan bir araç olarak yerini almıştır.

Yaygın kaynak kirliliğinin modellenmesi çalışmaları, akarsu ve göl gibi modellenen su ortamlarının sınırlarını aşarak, yaygın kaynak kirleticilerinin üretildiği su havzalarını da içine almaktadır. Su havzasının da modelleme sürecine katılmasıyla modeller daha karmaşık bir yapıya sahip olmuştur. Bir su ortamında su kalitesini belirleyen süreçlerin hemen hemen tümü teorik olarak incelenebilmekte iken, su havzası gibi çoğu zaman homojen olmayan, karmaşık, genellikle üç fazı da içeren (örneğin bir toprak tabakasında katı olarak toprak parçacıkları, sıvı olarak su ve gaz olarak boşluklardaki hava) ortamların teorik olarak incelenmesinde ve modellenmesinde günümüzde bile bilinmeyen yönler bulunmaktadır. Yaygın kaynak kirliliğini inceleyen modeller, noktasal kaynak kirliliğini inceleyen modellere göre daha gözlemsel bir yapıya sahiptirler.

Noktasal kaynak kirliliği modellerinde suyun davranışı çoğu zaman model dışından sağlanır. Örneğin çok sık kullanılan ve noktasal kaynakların modellendiği en yaygın modellerden biri olan QUAL2E modelinde su debisi, bir girdidir ve kullanıcı tarafından sağlanır. Yaygın kaynak kirlilik modellerinde modelin hidrolojik bir bileşeni vardır. Su, havzada üretilen veya havzaya dışardan gelen kirleticilerin davranışında (taşınmasında ve başka maddelere dönüşmesinde) aktif olan başlıca etkidir. Su havzasının sınırlarından, havzayı terk eden akarsuya kadar her yerde, su bütün süreçlerde rol oynar. Bu nedenden dolayı, yaygın kaynak kirliliği modellerinin iki bileşeni vardır. Öncesinde, en azından beraberinde, su havzasının hidrolojisi modellenir, bunu su kalitesinin modellenmesi izler.

Yaygın kaynak kirliliğinin modellenmesinde kullanılan modeller, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilirler. Modelin yapısına göre fiziksel modeller ve matematiksel modeller ayırt edilebilir. Fiziksel modeller, daha çok su havzalarının küçük bir parçasında, gerçek bir su havzasında süregelen süreçlerin yalnızca birkaç tanesini aynı anda incelemek için kullanılırlar. USLE (Universal Soil Loss Equation, Evrensel toprak kaybı denklemi) içinde yer alan bazı değişkenlerin sayısal değerlerinin bulunabilmesi için, laboratuvarında kurulmuş bulunan ve üzerlerine suni yağmur yağdırılarak birim alanda oluşan erozyonu hesaplamak için kullanılan toprak örnekleri, fiziksel bir model oluşturmaktadırlar. Pestisidlerin topraktaki davranışlarını modellemek için bir tarlada kurulan bir ölçüm düzeneği fiziksel modellere bir başka örnektir. Ancak fiziksel modeller yaygın kaynak kirliliğinin modellenmesinde geniş bir kullanım alanı bulamamaktadırlar. Bunun nedeni geniş ve karmaşık havzaların fiziksel bir bağlamda temsil edilebilmelerinin çok zor ve pahalı olmasıdır. Fiziksel modeller, havzadaki bütün süreçleri ele alan geniş kapsamlı matematiksel modellerin içerdikleri denklemlerin teorik bir baza oturtulmasında yardımcı olarak kullanılmaktadırlar.

Matematiksel modeller, modelledikleri süreci bir veya birden fazla matematiksel denklem ile temsil eden oluşumlardır. Matematiksel modellerde fiziksel süreçler bazı varsayımlar kullanılarak ve fiziksel dünya önemli ölçüde basitleştirilerek temsil edilirler. Fiziksel dünyadaki birbirinden bağımlı veya bağımsız aynı anda gerçekleşen neredeyse sonsuz sayıdaki tekil olayların ortaya

koydukları ortak davranış bazı matematiksel denklemlerle ifade edilir. Ortalama bir davranış üzerine kurulduğu ve bazı olayların etkisini diğer olayların etkilerine göre etkisiz kabul ederek hesaba katmamak gibi bazı varsayımları içerdiği için matematiksel modellerin doğruluğu fiziksel modellere göre daha düşüktür. Ancak herhangi bir mühendislik tasarımında veya yönetim uygulamasında rahatlıkla kullanılabilen doğrulukta sonuçlar üretebilirler. Ayrıca fiziksel modellerin uygulanamadığı pek çok durumda tek çözüm yolunu oluştururlar.

Matematiksel modeller şu altı kritere göre sınıflandırılabilirler:

- a) modelin yapısı ve modellemenin konusu
- b) zaman faktörü
- c) modelin tanımlama yeteneği
- d) elde edilen sonuçların karakteri
- e) uygulanan yaklaşım ve çözüm yolu
- f) operatör fonksiyonların özellikleri

İlk kriter olan modelin yapısı ve modellemenin konusu, hidrolojik döngünün, hangi bölüm veya bölümlerinin kapsandığı ile ilgilidir. Bu bağlamda dört seviye ayırt edilebilir:

- a) Ayrık süreçler: Ayrık süreç modelleri hidrolojik döngüde yer alan fiziksel süreçlerden yalnızca bir tanesinin tanımlanmasıdır. Buna örnek olarak su yüzeyinden buharlaşma veya yüzeysel akışla taşınan fosforun parçacık yüzeylerine adsorpsiyonu verilebilir.
- b) Bileşke modeller: Bileşke modeller, ayrık modelleri bir bileşke operatörü ile birleştirir. Örnek olarak evapotranspirasyon, erozyon, ve ara yüzey akışı verilebilir.
- c) Bütünsel havza modelleri: Bütünsel modeller, gelişmiş bir havza modeline örnektir. İç içe geçmiş bileşke modelleri setinden oluşan, iyi belirlenmiş yapıları olan modellerdir.
- d) Global havza modelleri: Global modeller ise, bütünsel modellere alternatif olarak daha basit yapıda, sistemin oldukça basit düzeylere indirildiği modellerdir.

İkinci kriter olan zaman değişkenine göre, modeller statik (durağan) ve dinamik (hareketli) olarak ayrılırlar. Statik modeller, deneysel eşitlikleri ve

zamanın bağımsız değişken olmadığı regresyon modellerini içerirler. Örneğin, ortalama yıllık debinin iklimsel ve fizyografik faktörlere göre regresyonu statik bir modeldir. Zamanın bir faktör olmadığı yani durağan matematiksel modeller de statiktir. Dinamik modellerde, bağımsız bir değişken olarak zamana bağlı diferansiyel eşitliklere gereksinim vardır ve girdi ve çıktı verileri zaman serileri şeklindedir.

Üçüncü kriter olan modelin tanımlama yeteneğine göre üç tür model ayırt edilir:

- a) Fiziksel temelli modeller: Bu tür modellerde kapsanan fizik yasaları ve model yapısı çok iyi bilinir ve incelenen süreçlerin tümü teorik temellere dayanır.
- b) Gözlemsel modeller: Bu modeller, model yapısı ve temel alınan fizik yasaları bilinmediğinde veya fizik temelli model çok karmaşık olduğunda model davranışını basitleştirmek için kullanılır. Doğrusal veya doğrusal olmayan depolanma modelleri, toprak yüzeyinde sediment taşınımının üssel fonksiyonlarla temsili bu modellere örnek olarak verilebilir.
- c) Eğilim (trend) modelleri: Eğilim modelleri ise, bazı değişkenlerin zaman içinde değişimlerini saptamaya ve tahmin etmeye yöneliktir. Bu tür modellerde istatistiksel bağıntılar kullanılır.

Elde edilen sonuçların özelliklerine göre modeller stokastik veya deterministik olarak ayrılırlar. Matematiksel bir modelin herhangi bir değişkeni bir olasılık dağılımına sahip ise model stokastik, bütün değişkenler rastgele süreçlerden kaynaklanmıyorsa model deterministiktir.

Beşinci sınıflandırma kriteri olan uygulanan çözüm yolları ve yaklaşımlarına göre modeller “kara kutu” veya “beyaz kutu” olarak ikiye ayrılırlar. Kara kutu yaklaşımında sistem, girdileri çıktı olarak değiştiren bir sistem operatörü (basit veya karmaşık bir matematiksel denklem) ile çözülür. Regresyon modelleri kara kutu modellerine bir örnektir. Beyaz kutu yaklaşımında ise model, fiziksel kanunlar ve sistemin doğası çok iyi bilinerek, girdileri ve çıktıları teorik bazda ele alan bir sistem operatörü kullanır.

Son sınıflandırma kriteri olan operatör fonksiyonun özelliklerine göre modeller, doğrusal (lineer) veya doğrusal olmayan (nonlineer), birleşik (lumped) veya dağılmış (distributed); ve durgun (stationary) veya durgun olmayan

(nonstationary) olarak sınıflandırılırlar. Birleşik parametre modelleri girdilerin, çıktılarının ve parametrelerin alan üzerindeki değişimlerini hesaba katmazlar ve genellikle basit diferansiyel eşitliklerle ifade edilirler. Dağılmış modeller girdi, çıktı ve parametrelerin alansal değişimlerini içerirler ve genellikle kısmi diferansiyel denklemlerin bileşkesinden oluşurlar. Kullanılan matematiksel denklem ve parametreler zamana göre değişmiyorsa durgun, değişiyorsa durgun olmayan modeller söz konusudur. Stokastik bir modelin özellikleri, zamana göre değişmiyorsa durgundur.

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, yaygın kaynak kirliliği modellerinin en önemli bileşenleri hidrolojik süreçlerdir. Su ortamlarına ulaşan kirlleticiler, etkisi çoğu zaman ihmal edilebilecek kadar az olan atmosferik taşınım dışında, yağış veya kar erimesi sonunda akışa geçen sularla ve yeraltı suları ile taşınmaktadır. Bu nedenle hidrolojik süreçlerin en doğru şekilde modellenmesi gerekmektedir.

Yaygın Kirleticili Kaynak Modelleri'nde hidrolojik süreçleri temsil etmek için parametrik model kullanımı yaygındır. Parametrik modeller, bazılarının uygun değerleri yalnızca kalibrasyon ile elde edilebilen oldukça fazla parametreye gereksinim duymakta, ancak kırsal bir bölgede süregelen yüzey akışı, sızma, yeraltı suyuna karışma, buharlaşma gibi karmaşık hidrolojik süreçleri detaylı bir şekilde temsil edebilmektedirler.

Gelişmiş modeller, yağış, sıcaklık, bulutluluk gibi meteorolojik zaman serileri kullanmakta, 5 dakikaya kadar inebilen zaman aralıklarıyla simülasyon gerçekleştirebilmektedirler.

Yaygın kaynak kirliliği modellerinde çeşitli kirleticilerin, yeryüzü parçalarında toplanması, gerek eğim boyunca akarak, gerek de toprak katmanlarına sızarak su ile taşınması, bozunma ve tepkimeye girme gibi çeşitli süreçlerle değişime uğraması ele alınabilmektedir. Bu süreçler, aynı hidrolojik süreçler gibi, çeşitli teorik veya ampirik denklemler ile temsil edilmektedir.

Yaygın kaynakların incelenmesinde kullanılacak bazı bilgisayar modelleri Çizelge 2.3'de; Çizelge 2.3'de verilen modellerin birbirleriyle karşılaştırılması da Çizelge 2.4'de yer almaktadır.

Cizelge 2.3. Bazı yaygın kaynak kirliliği modelleri

Model	Açık Ad	Geliştiren Kuruluş veya Kişiler
HSPF	Hydrological Simulation Program - Fortran	U.S. Environmental Protection Agency
CREAMS	Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems	U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service
GLEAMS	Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems	U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service
ANSWERS	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation	Purdue University, Agricultural Engineering 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

Cizelge 2.4. Modellerin birbirleriyle karşılaştırılmaları

Özellik	HSPF	CREAMS	ANSWERS	AGNSP	SWRRB	UTM-TOX
Simulasyon Şekli	D, T	D, T	T	D,T	D	D,T
Yağmur/Akış Analizi	M	M	M	M	M	M
Erozyon Modellenmesi	M	M	M	M	M	M
Pestisitler	M	M	Y	M	M	Y
Besin Maddeleri	M	M	M	M	M	Y
Kullanıcı Mad.(1)	M	Y	Y	Y	Y	M
Toprak Süreçleri (2)	M	M	Y	Y	M	Y
Çeşitli Toprak Kullanım Seç.	M	Y	M	M	M	M
Su Ortamı Modellenmesi	M	Y	Y	Y	Y	M
Kişisel Bilgisayar Kullanımı	M	M	M	M	M	Y
Veri ve İşgücü Gereksinimi	Yü	O	O	O	O	Yü
Model Karmaşıklığı	Yü	Yü	O	O	O	Yü

(1) Kullanıcının seçeceği ve özelliklerini belirleyeceği bir maddenin modellenmesi

(2) Toprakta gerçekleşen biyokimyasal süreçler

D = Devamlı simülasyon, T = Tek bir yağış olayının simülasyonu

M = Mevcut, Y = Yok, Yü = Yüksek, O = Orta

(Albek 1997).

2.8. Yaygın Kaynak Kirliliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Literatürde yaygın kaynak kirliliği ile ilgili yapılmış pek çok çalışma vardır. Bunların hepsine değinememekle birlikte, bazıları kısaca incelenecektir.

Squillace ve Thurman (1992), "Nehirlerde herbisit taşınımı: yaygın kaynak kirliliğinde hidroloji ve jeokimyanın önemi" başlıklı çalışmalarında, 1984 ve 1985 yılları arasında Cedar Nehrinin geniş alt havzalarında alachlor, atrazin, cyanazin, metolaklor ve metribuzin ölçerek bir bilgisayar modeli yardımıyla, nehir akımını yer altı ve yerüstü bileşenlerine ayırmışlardır. Bu çalışma verilerine göre, yer altı suyunun temel akım bileşeni olduğu durumda herbisit derişimi ortalama 0,2 µg/L iken yüzey akışının temel bileşen olduğu durumlarda derişim 50 µg/L civarında bulunmuştur. Böylelikle, nehrin yıllık atrazin yükünün yaklaşık %6'sının yer altı suyu bileşeni ile, %94'ünün de yüzeysel akışla taşındığı yani herbisit taşınımında yüzey akımının çok önemli bir mekanizma olduğu ve herbisitinin çözünmüş şekilde taşındığı sonucuna varılmıştır.

Preti ve Lubello (1993), tarımda kullanılan kimyasallardan kaynaklanan yaygın kaynak kirliliğini havza bazında, mevsimsel, jeomorfolojik, litolojik, pedolojik, antropik özelliklerini ve maddelerin temel dinamik taşınım ve dönüşüm süreçlerini dağılmış parametre modeli ile modellemiş ve deneysel araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda, Quaderna nehrinin havzasında günlük hidrolojik denge kalibre edilmiş ve incelenen alanın hidrolojik davranışı belirlenmiştir. Bir başka tarımsal havzanın (Dee Creek watershed) değişik hidrolojik ve yönetim koşullarında verdiği hidrolojik tepkiler ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) modeli kullanılarak incelenmiştir (Razavian 1990). Arazinin sürülme şekillerinin değişik frekans ve sürelerdeki yağış koşullarında erozyon ve sediment oluşumunda çok etkili olduğu görülmüş, erozyon ve yaygın kaynak kirliliği kontrolünde, genellikle agronomik yönetim senaryolarının (BMPs), yapısal değişimleri kapsayan BMP'lerden (en iyi yönetim sistemlerinden) çok daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ormancılık uygulamaları da bu tür havzalardan beslenen suların kalitesinde önemli değişikliklere yol açan yaygın kaynak kirlleticilerindedir. Özellikle yol yapımı, hasat ve saha hazırlığı gibi çalışmalar sonucunda

nehirlerdeki askıda sediment derişiminin önemli ölçüde arttığı, gübreleme ve hasat uygulamalarının nitrat azotunu artırdığı, nehir üzerindeki orman gölge etkisinin kaldırılmasıyla nehir sıcaklığında, hasat ve diğer yönetim uygulamalarıyla çözülmüş oksijen derişiminde istenmeyen değişimlere neden olduğu bildirilmiştir (Binkley ve Brown 1993). Tarım ve orman alanlarının yanı sıra mera alanlarının da hidrolojik modeller kullanılarak yönetimi pek çok çalışmaya konu olmuştur. Bouraoui ve Wolfe (1990), mera yönetiminde kullanılan modellerin (SPUR, ERHYM, ELM, CREAMS, EPIC, SWRRB, SPAW ve USDAHL) performanslarını değerlendirmiş ve hidrolojik modellerde kullanılan bazı tekniklerde karşılaşılan sorunları ortaya koymuştur.

Yaygın kaynak kirliliği modelleri ile birlikte coğrafi bilgi sistemlerinin (geographic information system-GIS) kullanılması yeni yaklaşımlar arasında sayılabilmektedir. Bu konu ile ilgili bir çalışmada, tarımsal yaygın kaynak kirliliği (AGNPS) su kalitesi modeli ile ARC/INFO GIS yazılımının birlikte kullanımı açıklanarak, bu ve benzer modellerle birlikte GIS kullanımı durumunda interaktif modelleme ortamı yaratıldığı ifade edilmiştir (Liao ve Tim 1997). Coğrafi bilgi sistemleri (GIS), bilgisayar destekli veri yönetimi sistemleri, veri girişi, organizasyon, analiz ve haritalandırmayı basitleştiren bir sistem olarak, yaygın kaynak kirliliği dağılmış parametre modellerinde kompleks ve heterojen arazilerin bölümlere ayrılması işleminde kullanılabilir. Bu tip modellerde yanlış hücre boyutu seçimi hatalı sonuçlar doğurabilmektedir (Vieux ve Needham 1993).

Yapılan bir başka çalışmada ise, yaygın kaynak kirliliği kontrolü için su kalitesi modellenmesi ile ekolojik risk değerlendirmesi entegrasyonu ele alınmıştır (Chen ve ark. 1993). Su kalitesi kontrolü hedef ve stratejilerinin ABD'deki tarihsel gelişimi gözden geçirilerek, yönetim mekanizmaları, çevresel araştırma yaklaşımları ile çevresel değerlendirme kriterleri konularına açıklık getirilmiş, yaygın kaynak kirliliği kontrolü için yönetim çerçevesi oluşturulmuştur.

Havza hidrolojisine dayalı sediment üretimi konusunda Williams ve Berndt (1997), modifiye edilmiş toprak kaybı denklemi (MUSLE) ve akış modellerini, Texas'taki değişik boyutlardaki 26 havza üzerinde test etmişler, aylık ve yıllık sediment üretimi için en uygun modelin sediment-akış modeli olduğunu vurgulamışlardır. Sular için hacimsel olarak en büyük kirlilik kaynağı olan

sedimenti inceleyen Robinson (1971), sedimentin yarattığı sorunlar üzerinde durmuş, kontrolü için gereklilikleri dile getirmiştir. Malik ve ark. (1994), tarımsal yaygın kaynak kirliliği kontrolünün ekonomik yönlerini; Hatfield (1993), sürdürülebilir tarımın yaygın kaynak kirliliğine etkilerini; Netusil ve Braden (1993), yaygın kaynak kirliliğini önleme sorunlarına pazar yaklaşımını; incelemişlerdir. Yaygın kaynaklardan kaynaklanan kirliliği genel anlamıyla ele alan Humenik ve ark. (1987) ise, bu konuda nerede bulunduğu ve nelerin yapılması gerektiği konularına değinmişlerdir.

3. HSPF PROGRAMININ TANITIMI

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

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

HSPF bir birleşik parametre modelidir. Su havzası toprak yapısı, meteorolojik özellikleri, arazi kullanımı gibi özellikleri homojen alt havzalara ayrılır, bu alt havzalar alansal değişikliklere sahip olmayan, bir diğer deyişle alt havzanın bütününe temsil eden parametreler ve zaman serileri kullanılarak modellenir.

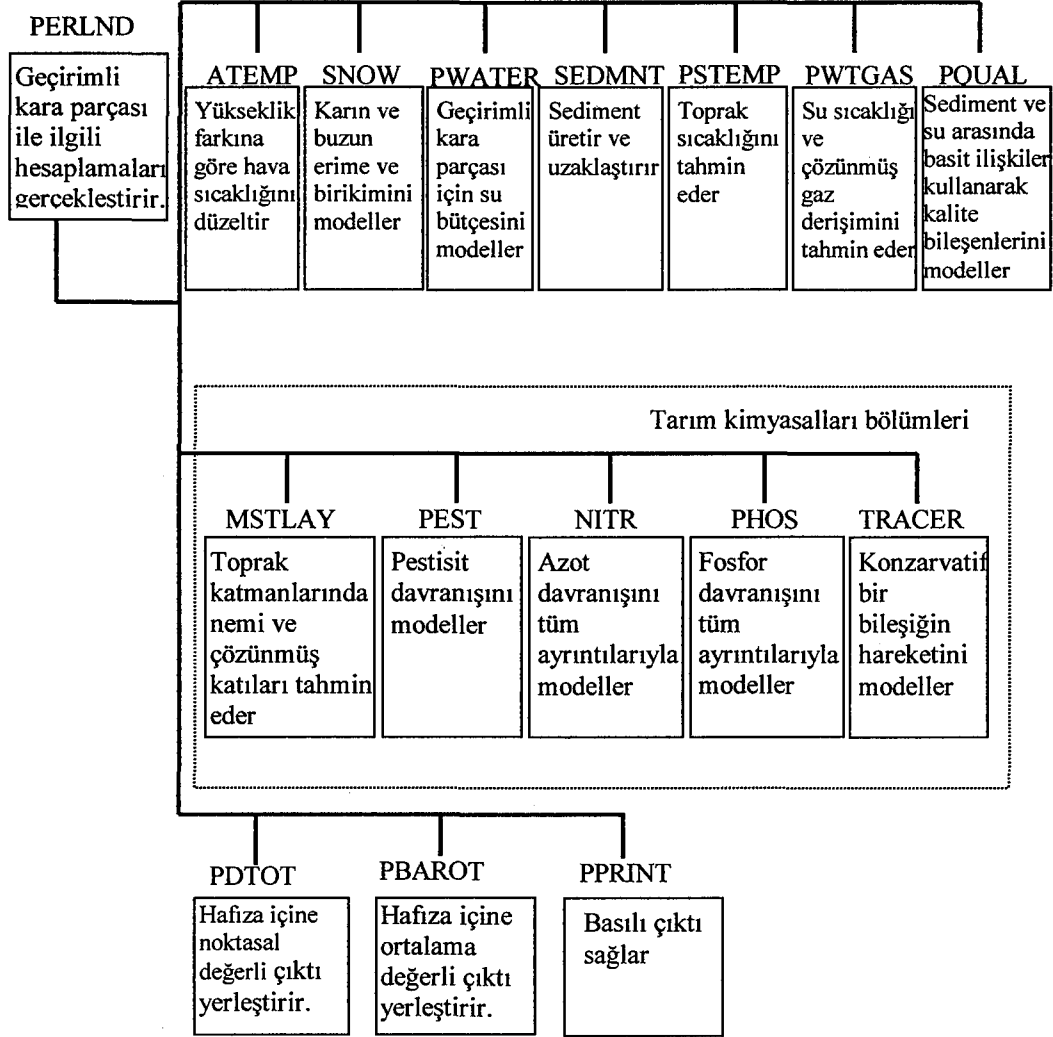
3.1. Programın Modülleri

HSPF geçirimli ve geçirimsiz kara parçalarını ve akarsu veya göl gibi su ortamlarını modelleyebilmektedir. Geçirimli kara parçaları PERLND modülüyle, geçirimsiz kara parçaları IMPLND modülüyle, su ortamları da RCHRES modülüyle modellenmektedir. Bu bölümde HSPF'i oluşturan modüllerden bu çalışmada kullanılanlar tanıtılacaktır (Bicknell ve ark. 1993).

3.1.1. Geçirimli kara parçalarının modellenmesi (PERLND modülü):

Su bütçesini etkileyebilecek ölçüde yağışı alt toprak tabakalarına sızdıran kara parçaları geçirimli (pervious) olarak adlandırılır. HSPF’de, bu tür kara parçaları PERLND (PERvious LaND Segment) modülü ile modellenmektedir. Bu tür kara parçalarına kırsal bölgelerde ve yerleşimin çok dağınık olduğu kentsel bölgelerde rastlanmaktadır.

PERLND modülü, SNOW bölümüyle kar birikmesi ve erimesi, PWATER bölümüyle su bütçesi, SEDMNT bölümüyle erozyondan kaynaklanan sediment, PQUAL ve tarım kimyasalları bölümleriyle su kalitesi modellenmesi yapmaktadır. Ayrıca kar erimesi ve toprak sıcaklığının hesaplanmasında hava sıcaklığı düzeltmesi yapan ATEMP bölümü; yüzeysel akış su sıcaklığının tahmin edilebilmesi, tarım kimyasalları bölümünde reaksiyon hızlarının belirlenmesi ve oksijen ve karbondioksitin çözünürlüklerinin belirlenebilmesinde gerekli olan toprak sıcaklığının tahminini yapan PSTEMP bölümü alt bölümler arasında sayılabilir. Bu bölümler ve birbirleri ile ve PPTOT, PBAROT ve PPRINT bölümleriyle olan ilişkileri Şekil 3.1’de özetlenmiştir. Son üç bölüm üretilen verileri program içinde ve dışında kullanıma hazırlamaktadır. PPTOT bölümü durum (state) değişkenlerinin noktasal değerlerini, PBAROT ise belli bir aralıktaki ortalama değerlerini içerir. PPRINT ise belirtilen miktar ve sıklıkta hesaplanmış sonuçları verir. Şekil 3.1’de verilen bölümlerin simulasyon işleyiş sırası soldan sağa doğrudur. Bu bölümlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.1. PERLND modülünün yapısı

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

ATEMP bölümünün amacı, hava sıcaklığı verilerini, modellenecek kara parçası üzerindeki hava sıcaklığını yansıtması için düzeltmektir. Eğer meteorolojik ölçüm istasyonundaki yükseklik modellemenin yapılacağı bölgenin yüksekliğinden farklı ise bir sıcaklık düzeltmesi gereklidir. Hava sıcaklığı için sıcaklık değişim hızı (lapse rate) zaman aralığındaki yağışa bağlıdır. Eğer yağış varsa ıslak adiyabatik değişim hızları (-6,5 °C /km), yağış yoksa günün saatlerine bağlı olarak değişen kuru adiyabatik değişim hızları geçerlidir. Düzeltilmiş sıcaklık aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$AIRTMP = GATMP - LAPS * ELDAT \quad (3-1)$$

Burada; AIRTMP, düzeltilmiş hava sıcaklığı (derece)

GATMP, ölçüm istasyonundaki hava sıcaklığı (derece)

LAPS, sıcaklık değişim hızı (derece/uzunluk)

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

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

SNOW bölümü, kar yağışını, birikmesini ve erimesini modeller. Kar bölümü ile ilgili işlemlerde yağışın kar mı yoksa yağmur mu olduğunu belirlemek, kar örtüsü için enerji denkliği kurmak ve kar örtüsü üzerinde ısı akısının etkilerini belirlemek için meteorolojik veriler kullanılır. SNOW bölümünde modellenen her bir kara parçası için 5 meteorolojik zaman serisi gereklidir. Bunlar: yağış, hava sıcaklığı, güneş ışınması, çığ noktası sıcaklığı, ve rüzgar hızıdır. Hava sıcaklığı yağışın kar veya yağmur olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Kar yüzeyde birikmeye başladığında kar örtüsü birikimi ve erimesi hesapları modele dahil edilir. Kar örtüsünün erimesini etkileyen ısı kaynakları 5 tanedir: uzun dalga ve kısa dalga net ışıma ısısı; hissedilebilir ısının havadan kar örtüsüne konveksiyon yoluyla geçişi; kar örtüsü üzerinde nemin yoğunlaşması ile gizli ısı aktarımı; yağmurdan gelen ısı, yağmur yağışından gelen hissedilebilir ısı, yağmur olarak düşen suyun kar örtüsü üzerinde donmasından kaynaklanan gizli ısı; ve kar örtüsünün altındaki yüzeyden ısı iletimi. Bu kaynakların verdiği veya aldığı enerji hesapları SNOW'un alt bölümlerinde gerçekleştirilmektedir. Kar örtüsü dışarıdan aldığı ısı ile ısınır, dışarıya verilen ısı ile soğur. Kar örtüsü 0 derecenin üzerine çıkacak şekilde ısınırsa, kar erimesi başlar. SNOW bölümünün alt bölümleri şunlardır:

a) Meteorolojik koşulların tahmini (METEOR alt bölümü): SNOW modülünün alt bölümlerinden olan METEOR, ampirik eşitlikler kullanarak meteorolojik koşulların, kar ile ilgili süreçlere etkilerini tahmin eder. Yağışın kar ya da yağmur şeklinde olduğunu belirler. Kar yağarken yeni kar örtüsünün

kalınlığının bilinmesi için yoğunluğu hesaplanır. Gökyüzünün açıklık oranı da ışınma için tahmin edilir.

Aşağıdaki eşitlik saatlik olarak kar yağışının görüleceği hava sıcaklığını hesaplamaktadır.

$$SNOTMP = TSNOW + (AIRTMP - DEWTMP) / (0,12 + 0,008 * AIRTMP) \quad (3-2)$$

Burada; SNOTMP, altındaki sıcaklıklarda kar yağışının olduğu hava sıcaklığı (derece)
TSNOW, parametre (derece)
AIRTMP, hava sıcaklığı (derece)
DEWTMP, çığ noktası sıcaklığı (derece)'dir.

Model bu denklemle hava sıcaklığının SNOTMP'ye eşit ya da yüksek olduğu durumlarda yağışın yağmur şeklinde olduğunu kabul eder. Sıcaklık terimleri eşitlik içerisinde F derece şeklinde kullanılır, model SI birimlerinde çalıştırılıyorsa, sonuçlar C dereceye çevrilir. Kar yağışı olduğunda kar yoğunluğu hava sıcaklığına bağlı olarak,

$$RDNSN = RDCSN + \left(\frac{AIRTMP}{100} \right)^2 \quad (3-3)$$

eşitliği ile tahmin edilir.

Burada; RDNSN = suya göre yeni karın yoğunluğu (sıfır derece F veya daha yüksek derecelerde),
RDCSN = sıfır derece F ya da daha düşük hava sıcaklıklarında yeni karın suya göre yoğunluğunu belirleyen parametre'dir.

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

simulasyon zaman dilimi için o zaman diliminde yağan karın binde biri kadar bir oranda koyuluğu azaltır.

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

Göreceli kar örtüsü yoğunluğu %55'ten daha düşük olduğunda sıkışma olduğu kabul edilir. Sıkışma hızı şu ampirik eşitliğe göre hesaplanır:

$$COMPCT = 1,0 - (0,00002 * DELT60 * PDEPTH * (0,55 - RDENPF)) \quad (3-4)$$

Burada; COMPCT = belli bir zaman aralığı içerisinde kar örtüsünün birim sıkışma hızı
DELT60 = simulasyon zaman aralığındaki saat sayısı
PDEPTH = kar örtüsünün derinliği, uzunluk
RDENPF = suya göre kar örtüsünün yoğunluğu'dur.

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

$$SNOWEP = SNOEVP * 0,0002 * WINMOV * (SATVAP - VAP) * SNOCOV \quad (3-5)$$

Burada; SNOWEP, kar örtüsünün donmuş kısmından potansiyel buharlaşma hızı (su eşdeğeri/zaman)
SNOEVP, hesaplamayı arazi koşullarına uyarlamada kullanılan parametre
WINMOV, rüzgar hızı, uzunluk/zaman
SATVAP, simulasyon sırasındaki sıcaklıkta havanın doymunluk buhar basıncı
VAP, simulasyon sırasındaki sıcaklıkta havanın buhar basıncı
SNOCOV, kar örtüsüyle kaplanmış kara parçasının oranı'dır.

e) Isı değişim hızının tahmini (HEXCHR alt bölümü): Bu alt bölüm yoğunlaşma, konveksiyon ve ışıma sonucunda kar örtüsü ile atmosfer arasındaki ısı değişimini tahmin eder. Yoğunlaşmanın gizli ısı aktarımı sıcak nemli hava kar örtüsü üzerinde hareket ederken önemli olmaktadır. Bu da havanın buhar basıncının 6,108 mbar'dan büyük olması demektir. Bu fiziksel süreç kar

buharlaşmasının tersidir. Atmosferle türbülans değişim sonucunda sağlanan ısı ise sadece hava sıcaklığı donma sıcaklığından yüksek olduğunda gerçekleşebilir. Isı değişiminin tahmini ampirik ve teorik altı ayrı denklem grubu ile hesaplanmaktadır (Bicknell ve ark. 1993).

f) Kar örtüsünden ısı kaybının simülasyonu (COOLER alt bölümü):

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

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

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

i) Örtüdeki sıvı suyun hesaplanması (LIQUID alt bölümü): Bu bölüm ilk olarak kar örtüsünün sıvı su depolama kapasitesini, daha sonra bu kapasiteyi doldurmak için gereken su miktarını belirler. Bu kapasitenin üzerindeki su miktarı, donma yoksa örtüyü terk eder. Kar örtüsünün yoğunluğu azaldıkça su tutma kapasitesi yükselir.

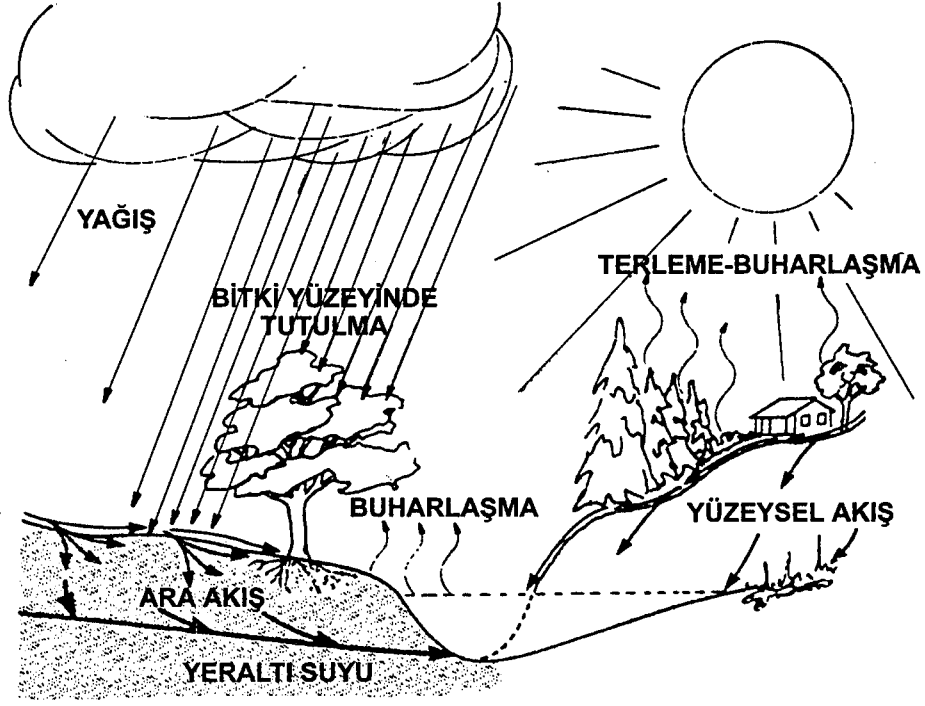
j) Örtüde buz oluşumunun simülasyonu (ICING alt bölümü): Bu alt bölüm sadece bazı özel durumlarda kullanıldığından kullanıcı tarafından seçilebilir. Kar örtüsünün içerdiği suyun donması çevresel koşullara bağlıdır. Her sabah saat 6'da donma kapasitesi değerlendirilip, 32 °F'ın altındaki hava sıcaklıklarında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

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

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

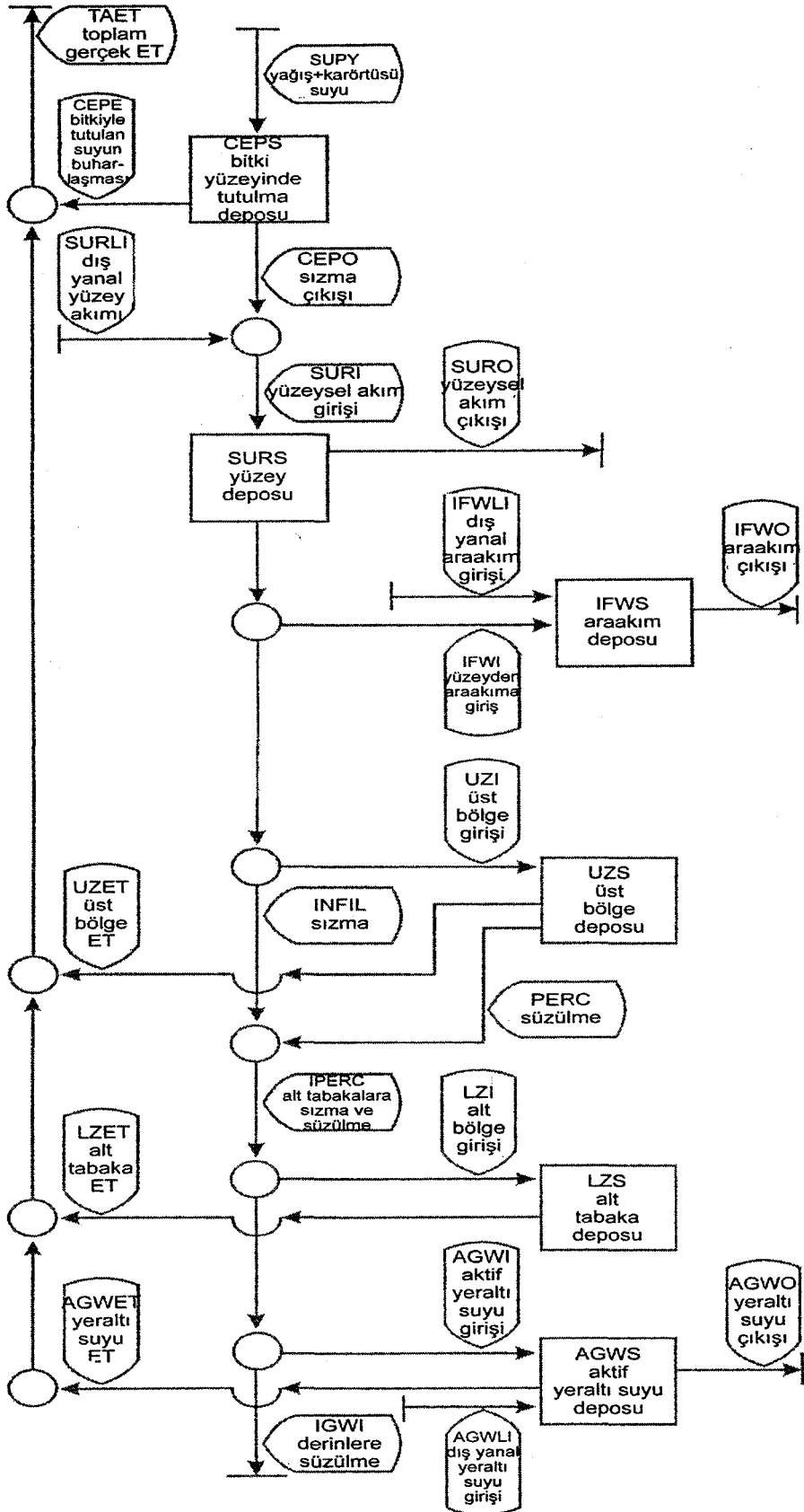
3.1.1.3. Geçirimli kara parçası için su bütçesi simulasyonu (PWATER bölümü)

PWATER bölümü geçirgen alanlardan kaynaklanan su bütçesi bileşenlerinin, hesaplanmasında kullanılır. Bu bölüm, PERLND modülünün anahtar bileşenidir çünkü pek çok temel bölüm (örneğin SEDMNT) bu bölümün çıktısına bağlıdır. Bu bölümde modellenen hidrolojik süreçler Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. PWATER bölümünde modellenen hidrolojik çevrim

PWATER bölümünün temel yapısı depolar ile bu depoların kendi aralarındaki ve çevrelerindeki ortamla gerçekleştirdikleri su alışverişinden oluşmaktadır. Şekil 3.3’de PWATER bölümündeki depolar ve bu depolar arasındaki su hareketleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3. P-WATER bölümünün akım şeması

Depolar suyun bir süre bekletildiği fiziksel mekanlardır. PWATER bölümü toprak altında ve üzerinde altı depo kullanılmaktadır. Bu depolar sırasıyla tutulma deposu, yüzeysel birikim deposu, üst tabaka deposu, ara akış deposu, alt tabaka deposu ve aktif yeraltı suyu deposudur.

Yağış önce tutulma deposuna girer. Tutulma deposu yüzeysel akış düzleminin üzerindeki suyu tutabilen bütün fiziksel mekanları içerir. Kırsal bölgelerde bu depo hemen hemen bütünüyle bitki yüzeylerinden oluşur. Bu depoya giren su ya buharlaşarak atmosfere geri döner ya da depo kapasitesi dolduğunda yüzeye iner. Toprak yüzeyine erişen su yüzeysel birikim deposuna girer. Bu depo toprak yüzeyinde suyun birikmesini temsil eder. Bu depodaki su ya toprağın altına sızar ya da yüzeysel akışa geçer. Yüzeysel akışa geçen su üst tabaka deposuna girer. Bu depodaki su yüzey akışı olarak havzadaki akarsulara yönlendirilebilir veya belli bir zaman süresi içinde yeniden toprağa sızabilir. Bu suyun bir bölümü aynı zamanda buharlaşarak atmosfere karışabilir.

Ara akış deposu yüzeyden sızan suyla beslenir. Bu depo yüzeyin hemen altındaki suyu temsil eder. Bu su yüzeysel akıştan biraz daha yavaş olarak havzadaki akarsulara iletilir.

Toprağın altına sızan su alt tabaka deposuna girer. Alt tabaka deposu toprak parçacıkları arasındaki boşluklarda bulunan serbest, kılcal ve bağlı suyu temsil eder. Bu su depodan bitki kökleri tarafından alınarak veya daha alt tabakalara sızarak uzaklaşır.

Alt tabaka deposunun altında aktif yer altı suyu deposu bulunur ve alt tabaka deposundan beslenir. Bu deponun suyu, havzadaki akarsuları baz akım şeklinde besler. Bu depodaki suyun bir bölümü derin yer altı suyu akiferlerine karışabilir, bu su sistemden kaybolan sudur ve havzaya geri dönmez. Çok derin köklü bitkiler olmadığı sürece aktif yer altı suyu deposundan buharlaşma ve terleme gerçekleşmez ancak yer altı suyunun kaynaklar veya akarsu kıyısı bitki örtüsü gibi yüzeye çıktığı yerlerde buharlaşma ve terleme olabilir.

Bu depolara yağış dışında su girişi yan havzalardan eklemeler şeklinde gerçekleşebilir. Bir su havzasının sınırları genellikle yüzeysel akış hesaba katılarak çizilir ve bu sınır çoğu zaman tepelerin sırt çizgilerini takip eder. Ancak bazı durumlarda yer altı suyu akışı yüzey şekillerini takip etmeye bilir. Havzalar

arası yer altı suyu alışverişi mümkün olabilmektedir. Ancak bu hareketlerin tespit edilmesi zordur ve çok önemli boyutlara ulaşmadığı sürece hesaba katılmaz.

PWATER bölümünün gerçekleştirdiği işlemleri daha ayrıntılı açıklayabilmek için bu bölümün alt bölümleri aşağıda özetlenmiştir.

a) Bitki yüzeyinde tutulma simülasyonu (ICEPT alt bölümü): Bu alt bölümde yağmurdan ya da kar koşullarında kar örtüsünden kaynaklanan nemin bitkiler veya diğer yüzey örtüsü tarafından tutulması simule edilmektedir. Geçirgen sahalarda tutulma kapasitesi otların, yaprakların, dalların, ağaç gövdelerinin ve köklerin üzerlerindeki depolanmaları ifade eder. Depoya giren su tutulma kapasitesini aştığı zaman bir sonra gelen SURFAC alt bölümü tarafından sızma veya yüzeysel akışa geçirilmek üzere depoyu terk eder. Depoda kalan su buharlaşma ile atmosfere geri döner. Bu işlem EVICEP alt bölümünde gerçekleştirilir.

b) Sızan ve akışa geçen suyun dağılımı (SURFAC alt bölümü): SURFAC alt bölümü yüzey suları ile ilgilidir. Bu sular sızabilir, üst bölge depolarına veya ara akış depolarına gidebilir, yüzeysel birikim deposunda kalabilir ya da yüzeysel akışa geçebilir. Sızmayı simule eden algoritmalar hem toprak neminin bir fonksiyonu olarak sızma hızının zamana bağlı sürekli değişimini hem de sızmanın kara parçası üzerinde alansal değişimini hesaba katar. Sızmanın toprak nemine olan bağımlılığı Philip (1957)'nin çalışmalarına dayandırılmıştır (Haan 1982). Sızmayı modelleyen eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$F = s\sqrt{t} + at \quad (3-6)$$

Burada; F, su cinsinden toplam sızmayı (su yüksekliği/zaman)
t, zaman
s ve a, toprak özelliklerine bağlı sabitleri temsil etmektedir.

Bu denklem sızma miktarının zaman ile değişimini vermektedir. Sabitler incelenen toprak çeşitleri için deneylerle belirlenebilir. Sızma hızı bu denklemin zamana göre türevinin alınmasıyla elde edilebilir.

$$f = \frac{s}{2\sqrt{t}} + a \quad (3-7)$$

Burada; f , sızma hızını temsil etmektedir.

Deneyler sonucu a sabitinin genelde diğer terimlere göre küçük olduğu tespit edilmiş olduğundan, Eşitlik (3-6) ve (3-7) aşağıdaki gibi birleştirilebilir:

$$f F = \frac{s^2}{2} \quad (3-8)$$

Burada; $s^2/2$, bir sabittir.

Eşitlik (3-8) hidrolojik simulasyonlarda kullanılmak üzere aşağıdaki şekle sokulmuştur.

$$f F^b = \text{sabit} \quad (3-9)$$

Burada; b , bir sabittir.

Toprağın kabul edebileceği sızmanın maksimum hızı olan sızma kapasitesi, havzanın hem sabit hem de değişken özelliklerinin bir fonksiyonudur. Sabit özellikler toprak geçirgenliği ve eğim, değişken özellikler ise toprağın yüzey durumu ve topraktaki nem miktarıdır. Alansal değişimleri bulmak için doğrusal bir olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılır.

Eşitlik (3-9)'a dayanarak HSPF modeli bir kara parçasında geçerli olan ortalama sızma kapasitesini (IBAR) aşağıdaki gibi hesaplar:

$$IBAR = \frac{INFILT}{\left(\frac{LZS}{LZSN}\right)^{INFEXP}} * INFAC \quad (3-10)$$

Burada; LZS, alt tabaka depo kapasitesini (su yüksekliği olarak)
LZSN, alt tabaka nominal depo kapasitesini (su yüksekliği olarak)
INFILT ve INFEXP, ifadenin katsayı ve üslerini
INFAC de, toprağın donmuş olması halinde sızmanın etkilenmesini hesaba katan bir çarpandır.

Bu eşitlikte INFILT Eşitlik (3-9)'daki sağ taraftaki sabite, INFEXP de b sabitine karşılık gelmektedir. Ortalama sızma kapasitesinin yukarıda söz edilen

doğrusal değişiminin maksimum (IMAX) ve minimum (IMIN) noktaları aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$IMAX = INFILD * IBAR \quad (3-11)$$

$$IMIN = IBAR - (IMAX - IBAR) \quad (3-12)$$

Burada; INFILD, maksimum kapasitenin ortalama kapasiteye oranını belirleyen bir parametredir.

Eşitlik (3-10)'dan yararlanarak toprak üzerine düşen yağışın ne kadarının toprağın altına sızacağı hesaplanır. Bu işlemler için DISPOS ve UZINF alt bölümleri kullanılır.

Yüzey akışına yönlendirilen su, türbülans akım prensiplerine uyarak yüzey boyunca akar. Akış simülasyonunda Chezy-Manning denklemi kullanılır. Eğer yüzey akışı artıyorsa aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$SURO = SRC * \left(SURSM * \left(1,0 + 0,6 \left(\frac{SURSM}{SURSE} \right)^3 \right) \right)^{1,67} \quad (3-13)$$

Eğer yüzey akış azalıyorsa (çekiliyorsa), eşitlik aşağıdaki şekilde gibidir:

$$SURO = SRC * (SURSM * 1,6)^{1,67} \quad (3-14)$$

Bu iki eşitlikte; SURO, simülasyon zaman aralığı içinde gerçekleşen yüzeysel akış yüksekliğini
SURSM, ortalama yüzeysel birikim deposunu
SURSE de, dengedeki yüzeysel birikim deposunu temsil etmektedir.

SURSE aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanır:

$$SURSE = DEC * SSUPR^{0,6} \quad (3-15)$$

Burada; SSUPR, yüzeysel akışa ayrılmış bulunan nem miktarıdır.

Eşitlik (3-13) ve (3-14)'deki SRC ve Eşitlik (3-15)'deki DEC öteleme (routing) parametreleridir ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilirler:

$$DEC = 0,00982 * \left(NSUR * \frac{LSUR}{\sqrt{SLSUR}} \right)^{0,6} \quad (3-16)$$

$$SRC = 1020 * \left(\frac{\sqrt{SLSUR}}{NSUR * LSUR} \right) \quad (3-17)$$

Bu eşitliklerde; NSUR, yüzeysel akış düzleminin Manning n (pürüzlülük katsayısı)
LSUR, yüzeysel akış düzleminin uzunluğu
SLSUR da yüzeysel akış düzleminin eğimi'dir.

c) Ara akış simülasyonu (INTFLW alt bölümü): Bu alt bölümde ara akışın miktarı belirlenir ve depolanma bilgileri yenilenir. Ara akış özellikle daha az geçirgen sığ bölgelerin düşey sızmayı geciktirdiği durumlarda fırtına (storm) hidrograflarını önemli ölçüde etkilerler.

d) Üst tabaka davranışının simülasyonu (UZONE alt bölümü): Bu alt bölüm üst tabaka deposundan sızan suyun hesaplanmasında kullanılır. Sızmayıp üst tabaka deposunda kalan su ETUZON alt bölümünde terleme-buharlaşma (evapotranspirasyon) ile uzaklaştırılır. Üst tabakadan aşağı tabakalara sızma (yüzeysel akış gerçekleştiği sırada) şu denklemle ifade edilir:

$$PERC = 0,1 * INFILT * INFFAC * UZSN * \left(\frac{UZS}{UZSN} - \frac{LZS}{LZSN} \right)^3 \quad (3-18)$$

Burada; PERC, üst tabakadan sızmayı
UZS ve LZS üst ve alt tabakadaki su depolarını
UZSN ve LZSN de üst ve alt tabaka nominal depolarını göstermektedir.

e) Alt tabaka davranışının belirlenmesi (LZONE alt bölümü): Sızarak alt tabakaya giren suyun miktarının belirlenmesinde kullanılan bir alt bölümdür. Alt tabakaya giren su, direk ve yüzeysel akıştan sızmanın toplamının alt tabaka depolanma oranına (alt tabaka deposu, LZS / alt tabaka nominal kapasitesi, LZSN) bağlıdır. Alt tabaka deposuna giren akış, deneysel olarak belirlenmiş eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

f) Yeraltı suyu davranışının simülasyonu (GWATER alt bölümü): Bu alt bölümün amacı aktif olmayan yeraltı suyuna giren su miktarını ve aktif yeraltı suyu çıkışını belirlemektir. LZONE alt bölümü ile belirlenen, üst tabakalardan gelen, ancak alt tabakalara gitmeyen direk ve yüzeysel akıştan sızma toplamı, aktif olan veya olmayan yeraltı suyu için girdi oluşturmaktadır. Aktif ve aktif olmayan yeraltı suyuna dağılım DEEPFR parametresi ile kullanıcı tarafından

belirlenmektedir. DEEPFR yeraltı suyuna giren suyun, aktif olmayan yeraltı suyuna gitme oranıdır. Sızan suyun ve dışarıdan gelen bütün girişlerin kalan bölümü aktif yeraltı suyuna giren toplam akımdır. Bir akiferin debisinin, akımın kesit alanı ve enerji gradyanının çarpımı ile orantılı olduğu kabul edilir. Bununla birlikte, bir başka kabul de, belirleyici bir akım kesit alanının başlangıçtaki yeraltı suyu depo seviyesi ile orantılı olduğudur. Enerji gradyanı, temel gradyan ile eski aktif yeraltı suyu toplanmasına bağlı değişken gradyan toplanarak tahmin edilir. Yeraltı suyu çıkışı aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$AGWO = KGW * (1 + KVARY * GWVS) * AGWS \quad (3-19)$$

Burada; AGWO, aktif yeraltı suyu çıkışı (uzunluk/zaman aralığı)
 KGW, Yeraltı suyu çıkış geri çekilme parametresi (her bir aralıkta)
 KVARY, Aktif yer altı suyu deposu ile çıkış akımı ilişkisini doğrusal olmayan hale getiren parametre.
 GWVS, Yeraltı suyu eğimi için indeks (uzunluk)
 AGWS = Başlangıçtaki aktif yeraltı suyu deposu (uzunluk)'dur.

g) Buharlaşma ve terleme simülasyonu (EVAPT alt bölümü): Geçirgen kara parçalarının her bölgesinden buharlaşma ve bitkiler tarafından gerçekleşen terleme akıları EVAPT alt bölümü ve buna bağlı diğer alt bölümler tarafından hesaplanmaktadır. Buharlaşma ve terleme, evapotranspirasyon (ET), tahmininde iki ayrı durum vardır. Birincisi, potansiyel ET (ihtiyaç) bilinmelidir. Buna ait ölçüm verileri veya teorik veya ampirik denklemlerle hesaplanarak elde edilen veriler zaman serisi şekline getirilebilir. Bu girdiler daha sonra PWATER bölümünde yüzeydeki bitki örtüsüne göre ayarlanır. İkinci olarak, gerçek buharlaşma ve terleme, nem depolarından ve potansiyel ET'den hesaplanır. Gerçek ET aşağıda kısaca değinilecek olan ETBASE, EVICEP, ETUZON, ETAGW ve ETLZON alt bölümleri ile bulunur. Bu beş kaynaktan elde edilen ET toplamı, kara parçasındaki toplam buharlaşmayı ve terlemeyi verir. Bu alt bölümlerden ETBASE, aktif yer altı suyu çıkışı veya taban suyundan kaynaklanan ET'yi hesaplar. Aktif yer altı suyu toprak yüzeyine çıktığında (akarsu kıyıları) belli bir oranda buharlaşma ve terleme gerçekleşir. Bu oran kullanıcı tarafından belirlenir. EVICEP, tutulma deposundan buharlaşmayı hesaplar. Bu hesap yapılırken depodan, potansiyel ET olduğu sürece buharlaşma gerçekleştirilir. ETUZON, üst tabakada oluşan ET ile ilgilidir. UZS/UZSN oranı (üst tabaka

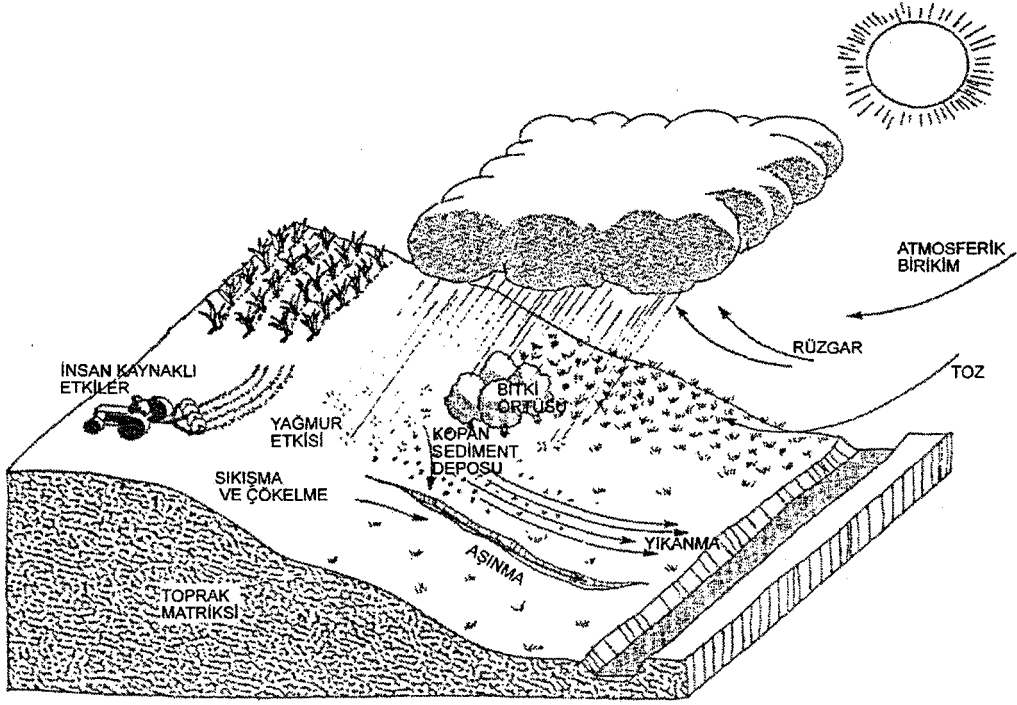
depolanmasının nominal kapasiteye oranı) 2'nin üstünde olduğunda buharlaşma ve terleme üst tabakadan kaynaklanır. ETAGW, aktif yer altı suyundan kaynaklanan ET'yi hesaplamada kullanılır. Taban suyunda olduğu gibi aktif yer altı suyundan kaynaklanan gerçek ET bir parametre ile ayarlanmaktadır (AGWETP). ETLZON ise, ET için son depo olan alt tabaka ile ilgilidir. Alt tabakalardan gelen ET bitkilerin terlemeleri ile ilgilidir ve bitkinin cinsi, kök uzunluğu, yoğunluğu gibi özelliklerine bağlıdır. Bu etkiler, zamana bağlı değişimleri yansıtabilmek için aylık olarak LZETP parametresinde yer almaktadır. Alt tabakadan çekilebilecek maksimum buharlaşma ve terleme miktarı (RPARM) aşağıdaki denklemle verilebilir.

$$RPARM = \frac{\left(\frac{0,25}{1,0 - LZETP} \right) * \frac{LZS}{LZSN}}{24} \quad (3-20)$$

3.1.1.4. Sediment oluşumu ve uzaklaşması simülasyonu (SEDMNT bölümü)

SEDMNT bölümü, geçirgen kara parçalarından sediment üretimini ve uzaklaşmasını modeller. Geçirgen kara parçası üzerinde erozyon süreçlerinden kopma, eklenme ve uzaklaşma Şekil 3.4'te, bu süreçlerin simülasyonunda kullanılan akı ve depoların şematik gösterimi Şekil 3.5'te verilmiştir.

Sediment, bir havzada üç kaynağa sahip olabilir. Bunlardan birincisi su veya hava yoluyla taşınma ile yan havzalardan sediment girişi, ikincisi düşey olarak atmosferden çöken partikül maddedir. Ancak belli koşullarda atmosferden çöken madde girişi akısı negatif olabilir, yani havza büyük bir oranda rüzgar erozyonuyla sediment kaybedebilir. Üçüncü ve en etkili kaynak, neredeyse sonsuz bir sediment kaynağı olan toprak matrisidir.



Şekil 3.4. Erozyon süreçleri

HSPF, bir havzadan sediment taşınmasını iki yolla modellemektedir. Bunlardan ilki toprak yüzeyinde yağmur damlacıklarının etkisiyle yerinden ayrılan sedimentin yüzeysel akışla taşınmasıdır. İkinci yol ise, yüzeyden akan suyun toprağı aşındırarak sedimenti yerinden koparması ve taşınmasıdır (oluk erozyonu).

a) Yağmurla topraktan sediment kopması (DETACH alt bölümü):

Toprak yüzeyinden sedimentin taşınması için önce bu sedimentin yerinden koparılması gerekmektedir. Bu süreç yağmur damlalarının etkisiyle gerçekleşir. Yağmur damlaları yere düşüş hızlarıyla doğru orantılı olarak topraktan sediment kopartırlar ve taşınmaya hazır hale getirirler. Bu sediment SEDMNT bölümünde DETS deposunda birikir. Bu depoya giren sediment miktarı (DET, ton/alan) aşağıdaki denklemle belirlenir:

$$DET = (1,0 - CR) * SMPF * KRER * RAIN^{JRER} \quad (3-21)$$

Burada; RAIN, yağmuru (su yüksekliği olarak) temsil etmektedir.

CR, havzanın kar veya bitki örtüsü gibi bir örtü ile yağmurun topraktan parçacık koparma etkisinden korunan kısmıdır. CR, SNOW alt bölümünde hesaplanan SNOCOV ile kullanıcı tarafından programa verilen COVER'in toplamından oluşmaktadır. KRER ve JRER sırasıyla, yağmur miktarının çarpıldığı çarpan ve üstür. Kopan sedimentin bu tür bir eşitlik ile temsili aşağıdaki genel eşitlikten kaynaklanmaktadır:

$$YÜK = a DEBİ^b \quad (3-22)$$

Bu tür bir eşitlik (üssel fonksiyon) bazı su kalitesi bileşenlerinin su ile taşınmasını modellemek için çok kullanılmaktadır. HSPF programında bu tür eşitlikler sedimentin kopmasında, taşınmasında ve aşınmasında kullanılmıştır.

b) Yüzeysel akışla uzaklaşma (SOSED1 ve SOSED2 alt bölümleri): Yüzeyden kopmuş olan sedimentin taşınması için önce yüzeysel akışın sediment taşıma kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapasite (STCAP, ton/alan cinsinden), Eşitlik (3-22)'deki genel yapıya göre formüle edilmiştir.

$$STCAP = KSER * (SURS + SURO)^{JSER} \quad (3-23)$$

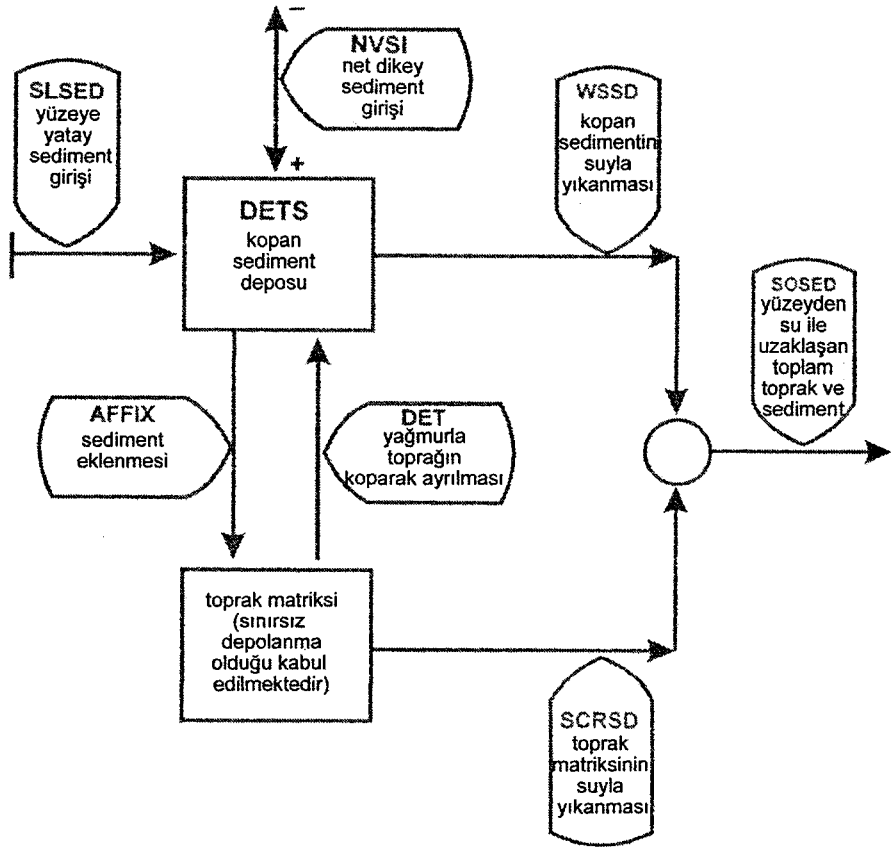
Burada; KSER ve JSER katsayı ve üs
SURS yüzeyde depolanan su miktarı
SURO ise, simulasyon zaman aralığında yüzeyde taşınan su miktarı'dır.

Eşitlik (3-23)'de, SURS ve SURO'nun birimleri aynı değildir ve toplamları homojen olmayan bir büyüklüğü temsil etmektedir. HSPF Eşitlik (3-23)'ü SOSED1 alt bölümünde kullanılmaktadır. SOSED2 alt bölümünde Eşitlik (3-23)'ün farklı bir şekli kullanılmaktadır. Burada, Eşitlik (3-23)'ten SURS terimi çıkartılmıştır. Böylece birimlerdeki homojen olmayan durum ortadan kaldırılmıştır. Hangi yöntemin kullanılacağı kullanıcı tarafından belirlenmektedir. SOSED2 alt bölümü homojen yapısıyla kullanıma daha uygun görünmekle birlikte SOSED1 kadar çok kullanılmamış ve doğruluğu denenmemiştir.

Taşıma kapasitesi belirlendikten sonra bu kapasite kopan sediment deposundaki sediment ile karşılaştırılır. Eğer kapasite kopan sedimentten daha fazla ise, bir başka deyişle toprak yüzeyinde taşınabileceğinden daha fazla kopmuş sediment varsa akan yüzeysel akış bütün kopmuş sedimenti taşır. Bu durumda taşınan sediment (WSSD) miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$WSSD = \frac{DETS * SURO}{SURS + SURO} \quad (3-24)$$

SOSED2 alt bölümü kullanılırsa WSSD, DETS'e eşittir. Eğer kopan sediment deposu taşıma kapasitesini aşıyorsa taşıma miktarı taşıma kapasitesine eşit olarak alınır. Bir başka deyişle, yüzeysel akış yalnızca taşıma kapasitesine eşit olan miktarı taşır bunun üzerindeki kopan sediment taşınmaz.



Şekil 3.5. PERLND modülünün SEDMNT bölümü için akım şeması

Topraktan aşınma yoluyla sediment taşınımı aşağıdaki denklemle temsil edilir.

$$SCRSD = \frac{SURO}{SURS + SURO} * KGER * (SURS + SURO)^{JGER} \quad (3-25)$$

Eğer SOSED2 kullanılırsa SURS terimi eşitlikten çıkartılmaktadır. Bu eşitlikte SCRSD simulasyon aralığı içinde aşınarak taşınan ve ton/alan cinsinden verilen sediment miktarını temsil etmektedir. KGER ve JGER bu eşitlikte katsayı ve üstür.

c) Kopan sedimentin tekrar toprağa yapışması (ATTACH alt bölümü): ATTACH alt bölümü kopan sedimentin (DETS) yüzeye tekrar yapışmasını (toprak sıkışması) simule eder. DETS her yağışsız geçen bir günü takip eden günün başlangıcında $(1,0 - \text{AFFIX})$ ile çarpılarak azaltılmaktadır. AFFIX parametresi kopan sediment deposunun birinci dereceden azalma hızını ifade etmektedir.

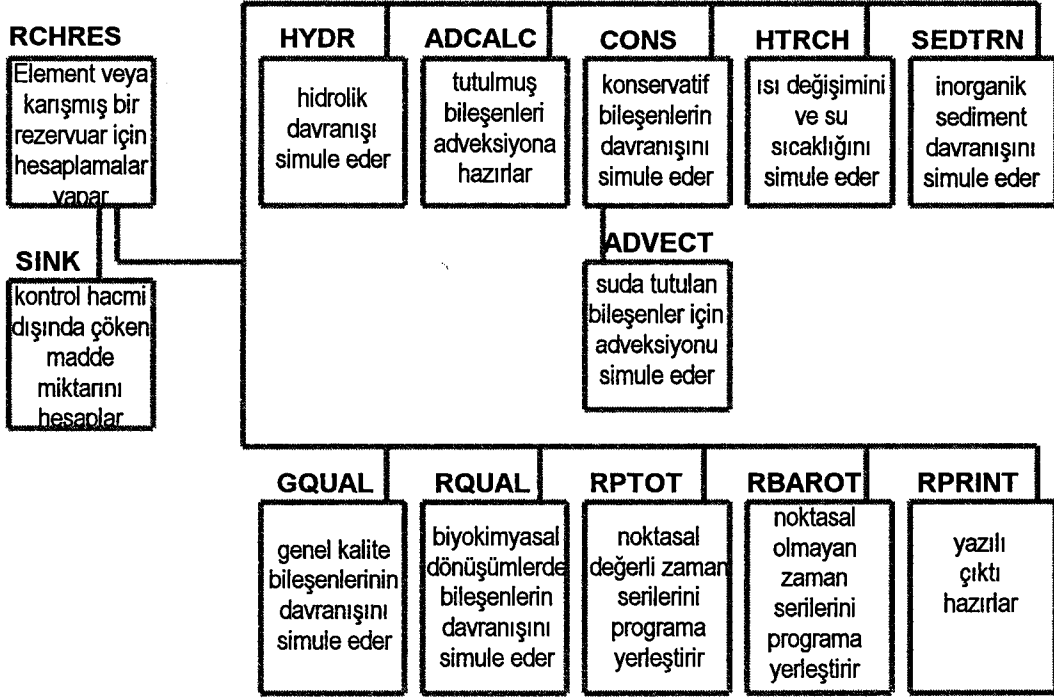
3.2. Geçirimsiz Kara Parçasının Modellenmesi (IMPLND modülü)

Geçirimsiz kara parçaları yağış sızdırmaya müsait olmayan yerlerdir. IMPLND modülü, kar birikmesi, erimesi, suyun depolanması, buharlaşması, su kalitesi bileşenlerinin birikimi ve uzaklaşması, suyun katıların ve diğer pek çok kirleticinin yatay akışla rezervuara ya da bir alt elemente ulaşması gibi olayları modellemektedir. Bu modüldeki pek çok alt bölüm yine PERLND modülünün alt bölümlerindeki gibi çalışmakta hatta SNOW ve ATEMP bölümleri ortaklaşa kullanılmaktadır. Ancak sızıntı fonksiyonları ve ara katman akışları söz konusu olmadığından IMPLND, PERLND'ye göre daha basittir.

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

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

RCHRES modülünün 10 temel alt bölümü bulunmaktadır. Bu bölümlerin yapıları ve fonksiyonları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Modellenen sisteme göre istenen alt bölüm veya bölümler kullanılabilir. Ancak bazı alt bölümler birbirleriyle ilişkilidirler ve birbirleriyle zaman serisi şeklinde veri alışverişinde bulunurlar.



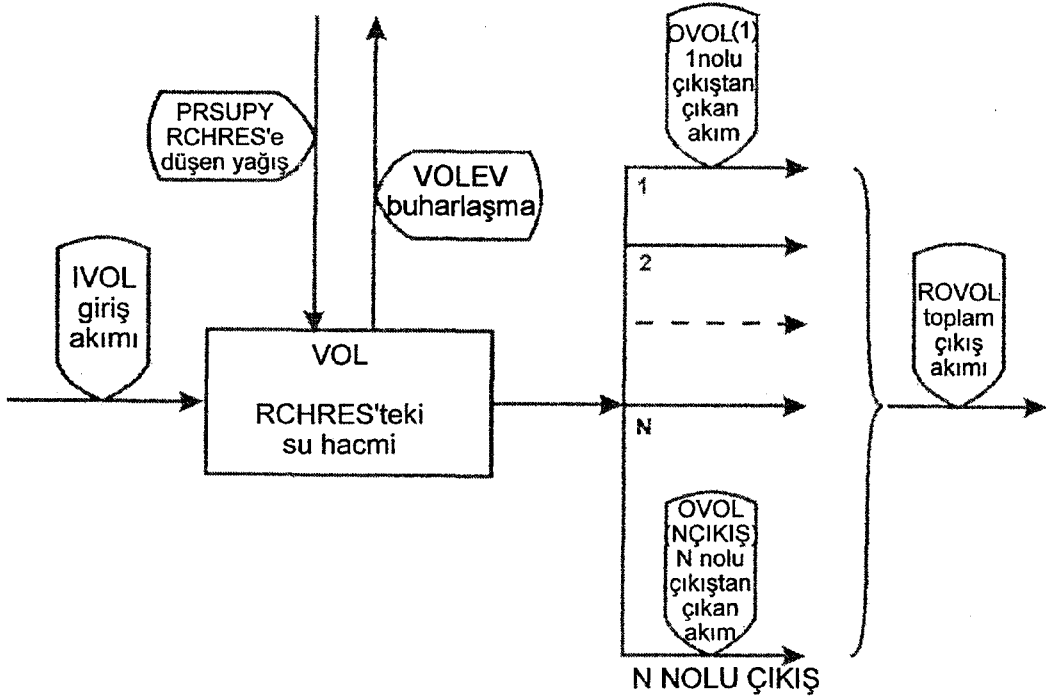
Şekil 3.6. RCHRES modülünün yapısı

Aşağıda RCHRES modülünün bu çalışmada kullanılan alt bölümleri detaylı bir şekilde açıklanacaktır. RCHRES modülüne ait alt bölümlerden SINK, askıda katı maddelerin çökelmelerinin modellenmesini sağlar. Çöken maddelerin miktarlarını hesaplayarak o kısımdaki madde derişimindeki değişimleri belirler.

3.1.3.1. Hidrolik davranışın modellenmesi (HYDR alt bölümü)

Bu alt bölüm, akarsuda gerçekleşen tüm hidrolik süreçlerin modellenmesinde kullanılır. Taşkın modellenmesi, baraj davranışlarının çalışılması, veya suda çözülmüş maddelerin analizi kullanım amaçlarındandır. HYDR bölümünün akış şeması Şekil 3.7'de verilmiştir. RCHRES modülüne yüzey veya yüzey altı kaynaklardan giren suların tümü INFLO adı verilen girişten

geçer ve geçen miktar IVOL olarak adlandırılır. Bu girişler zaman serileri şeklinde ya havza dışından kaynaklanır ya da RCHRES'e drene ettiği kara parçalarından gelir. Herhangi bir zaman serisi verilmemişse sistem RCHRES'e giriş akımını sıfır olarak kabul eder. Bir RCHRES'ten altı tane çıkış vardır. Bu çıkışlar OFLO(1..6) olarak adlandırılır. Simulasyon zaman aralığında bu çıkışlardan çıkan su hacmi OVOL(1..6) dir. Toplam çıkış ise ROVOL olarak tanımlanır.



Şekil 3.7. HYDR bölümünün akım şeması

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

Bir RCHRES'in modellenmesinde en temel eşitlik süreklilik denklemdir. Basit anlamıyla süreklilik, bir su ortamına giren ve çıkan suyun dengelenmesidir. Buna göre:

$$VOL - VOLS = IVOL + PRSUPY - VOLEV - ROVOL \quad (3-26)$$

Burada; VOL, zaman aralığının sonunda RCHRES'teki su hacmi
VOLS, zaman aralığının başlangıcındaki RCHRES'teki su hacmi
PRSUPY, akarsu yüzeyine düşen yağmur
VOLEV, yüzeyden buharlaşma'dır.

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

HSPF'te RCHRES'ten her bir çıkış, ya hacmin bir fonksiyonu $f(VOL)$, ya da zamanın bir fonksiyonu $f(zaman)$, olarak ifade edilir. Hacmin fonksiyonu olan bileşen, akımın üzerinde kontrolün olmadığı veya herhangi bir kontrol yapısının çıkış özelliklerinin arkasındaki su seviyesine bağlı olduğu RCHRES için en kullanışlı bileşendir. Zamanın fonksiyonu olan bileşen ise evsel, endüstriyel veya tarımsal kullanışlı çıkışların karşılanması için uygundur. Bu zaman fonksiyonu, döngülü (örneğin yıllık döngü), veya genel (örneğin artan bir eğilimle beraber görülen yıllık döngü) olabilir.

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

RCHRES özellikleri kullanıcı tarafından RCHTAB tablolarında belirtilir. Bu tablo derinlik, yüzey alanı, hacim ve hacme bağlı fonksiyonları ($f(VOL)$) içeren kolonlardan ve bunların su yüzeyinin değişik yüksekliklerindeki değerlerini içeren satırlardan oluşur. Böylece sistem interpolasyon için ara değerler sağlamış olur. Tablo ya UCI dosyasında (Bkz. Ek-2), FTABLE bloğu olarak bulunur ya da WDM dosyasında saklanır.

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

$$USTAR = \sqrt{9,81 * SLOPE * HRAD} \quad (3-27)$$

Burada; SLOPE, akarsuyun eğimini
HRAD da, akarsuyun hidrolik yarıçapını temsil etmektedir.

Kesme kuvveti şu denklemle hesaplanır:

$$TAU = SLOPE * GAM * HRAD \quad (3-28)$$

Burada; GAM, suyun yoğunluğu'dur.

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

ADCALC, askıda veya çözülmüş bileşenlerin akım yönündeki adveksiyonunun modellenmesi için gereken değişkenleri hesaplar. Bu değerler hidrolik bölümünde (HYDR) hesaplanan çıkış akımı ve hacim değerlerine bağlıdır.

3.3.3. Konservatif bileşenlerin modellenmesi (CONS bölümü)

CONS, zamanla değişime uğramayan ve adveksiyon dışında herhangi bir mekanizmayla elementi terk etmeyen bileşenleri modeller. Örnek olarak toplam çözülmüş katılar, klorür, çok yavaş bozunan pestisit ve herbisitler verilebilir.

Bileşenlerin adveksiyonunun simulasyonu (ADVECT alt bölümü):

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

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

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

Bu bölüm, bir akarsu parçası veya iyi karışmış bir rezervuardaki su sıcaklığını belirleyen prosesleri modeller. Sıcaklığın pek çok çevresel olayda önemli etkisi vardır. Örneğin çözülmüş oksijenin doygunluk derişimi, sıcaklıkla ters orantılıdır. Organik maddelerin bozunması ve bozunma için gereken oksijen miktarı, sıcaklıkla artar. Bazı fitoplankton ve zooplankton türleri de sıcaklıkla

ilintilidir. Aynı zamanda bu çalışmada akarsu içinde kumun taşınma kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan Toffaleti yöntemi denklemlerinde de, su sıcaklığının belirlenmesi için bu alt bölüm kullanılmaktadır.

Sıcaklığın modellenmesi için beş meteorolojik zaman serisi gereklidir.

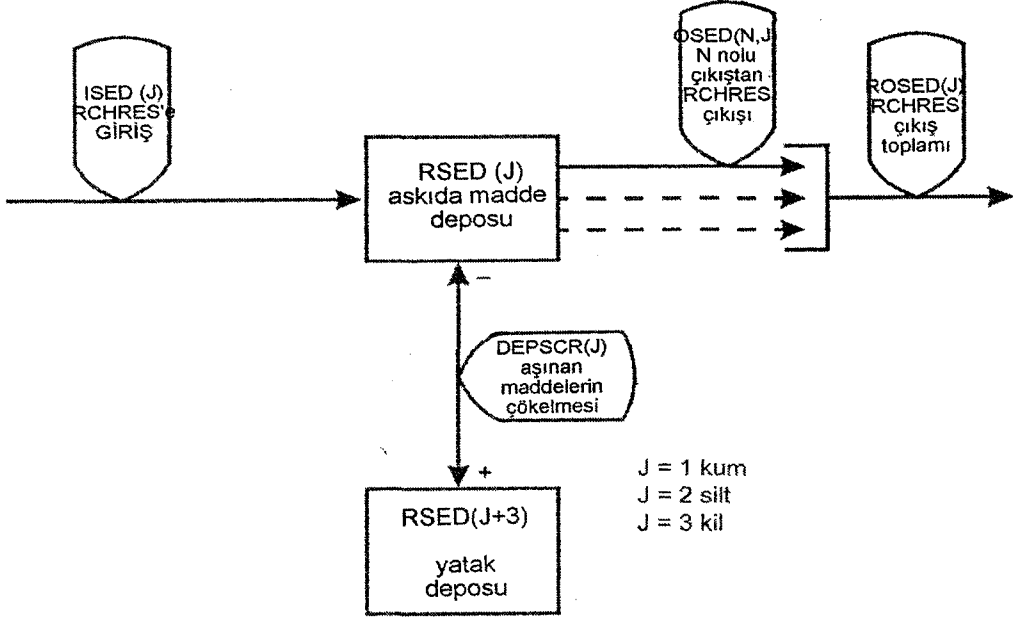
Bunlar,

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

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

3.3.5. İnorganik sediment davranışının modellenmesi (SEDTRN bölümü)

SEDTRN bölümü, inorganik sedimentlerin taşınımını, birikimini ve sıyırılmasını (scour) modeller. Şekil 3.8’de bu bölümün akım şeması verilmiştir. HSPF, inorganik sedimentin çökme ve tabandan sıyırılma süreçlerinin, kanalın hidrolik özelliklerine etki etmediğini varsayar. Bununla birlikte, kum, silt ve kil birikintileri RCHRES tabanında farklı alanlarda bulunur ve sıyırılma ve birikimleri birbirleriyle ilişkili değildir. Taban sedimentlerinin akış boyunca hareketi HSPF tarafından modellenmez.



Şekil 3.8. SEDTRN bölümünün akım şeması

RCHRES yatağındaki sedimentin derinliği, biriken sediment, önceden belirlenen düzeyi geçerse, kullanıcıyı uyarmak üzere hesaplanır. Öncelikle yatak sedimentinin her bir kısmının kapladığı hacim şu şekilde hesaplanır:

$$VOLSED(J) = \frac{RSED(J+3)}{RHO(J) * 10^6} \quad (3-29)$$

Burada; VOLSED(J), yatak sedimentinin J kısmının kapladığı hacim RSED(J+3), sedimentin J kısmının yatak deposu (kütle.hacim/hacim) RHO(J), J kısmının partikül yoğunluğu (kütle/hacim)'dir.

Yatak sedimentinin her üç kısmının hacimleri toplanır ve toplam yatak hacmi sediment boşluklarının (porozite) hacimsel oranını hesaba katmak için ayarlanır:

$$VOLSEDA = \frac{VOLSED}{1,0 - POR} \quad (3-30)$$

Burada;VOLSEDA, sediment dışında diğer materyalin kapladığı hacmi hesaba katmak için ayarlanan yatak hacmi VOLSED, yataktaki sediment hacmi (kum + silt +kil) POR, yatak sedimentinin porozitesi'dir.

Son olarak, fazla birikimi belirlemek üzere, yatak sedimentinin derinliği hesaplanır:

$$BEDDEP = \frac{VOLSEDA}{LEN * BEDWID} \quad (3-31)$$

Burada; BEDDEP, yatak derinliği (uzunluk)

VOLSEDA, yatak hacmi (hacim)

LEN, RCHRES'in boyu (uzunluk)

BEDWID, yatak kalınlığını hesaplamak için etkin yatak genişliği (uzunluk cinsinden bir girdi parametresi)'dir.

Eğer hesaplanan BEDDEP değeri kullanıcı tarafından belirlenen değeri aşarsa, program potansiyel bir modelleme sorununun olduğunu belirterek, kullanıcıyı uyarıcı bir mesaj verir.

HSPF'in PERLND modülü, toprak yüzeyinden yıkanma ve oluk erozyonu ile toplam inorganik sediment uzaklaşmasını simule eder. Model kullanılırken toplam sediment, kum, silt ve kil olarak üç bileşene ayrılmalıdır, böylelikle bu materyal RCHRES modülünün kanal sistemi boyunca iletilebilir.

Bu modül ayrıca sediment özelliklerine göre sınıflandırılmış alt bölümler içermektedir. Bunlar kohezif sedimentler için COHESV alt bölümü ve Kum/çakıl davranışları için SANDLD alt bölümüdür. Bu alt bölümler aşağıda açıklanmıştır.

a) Kohesif sedimentlerin simulasyonu (COHESV alt bölümü): COHESV alt bölümü kohesif sedimentlerin (silt ve kil) birikim, sıyırma ve taşınım süreçlerini simule eder. Modelleme iki basamaktan oluşur. İlk olarak, ADVECT alt bölümü advectif taşınım için kullanılır. Daha sonra BDEXCH altbölümü kullanılarak, yatak kesme kuvveti ve Krone ve Partheniades eşitliklerine dayalı olarak birikim ve sıyırma hesaplanır.

Yatak ile kohesif sedimentler arasındaki değişim yatak yüzeyine uygulanan kesme kuvvetine bağlıdır. RCHRES'teki kesme kuvveti (TAU) kullanıcı tarafından birikim için verilen kritik kesme kuvveti (TAUCD) değerinden küçük olduğunda birikim gerçekleşir; kesme kuvveti sıyırma için verilen kritik değerden (TAUCS) büyük olduğunda ise kohesif yatak sedimentinin

sıyırılması gerçekleşir. Kohesif sedimentin belli bir yüzdesi için birikim hızı aşağıda basitleştirilmiş bir şekli verilen Krone eşitliğine bağlıdır:

$$D = W * CONC * \left(1,0 - \frac{TAU}{TAUCD}\right) \quad (3-32)$$

Burada; D, sediment yüzdesinin çökme hızı (kütle/alan.zaman)
W, kohesiv sediment yüzdesi için çökme hızı (uzunluk/zaman)
CONC, askıda sediment yüzdesi derişimi (kütle/hacim)
TAU, kesme kuvveti (kütle/alan)
TAUCD, birikim için kritik kesme kuvveti (kütle/alan)'dır.

RCHRES'te birikimden dolayı, askıda sediment kısmı derişiminin değişim hızı, AVDEPM, metre cinsinden RCHRES'teki ortalama su derinliği olmak üzere, şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{d(CONC)}{dt} = - \left(\frac{W * CONC}{AVDEPM} * \left(1,0 - \frac{TAU}{TAUCD}\right) \right) \quad (3-33)$$

Bu denklemin integrasyonu ile birikime geçen (çöken) sediment nedeniyle azalan askıda sediment derişimi (DEPCONC) için bir denklem elde edilir.

$$DEPCONC = CONC * \left(1,0 - e^{\left(\frac{-W}{AVDEPM} * \left(1,0 - \frac{TAU}{TAUCD}\right)\right)}\right) \quad (3-34)$$

Kohesif sedimentlerin tekrar süspansiyona karışma, yada yataktan sıyırılma hızı Partheniades eşitliğinin modifiye edilmiş şekliyle çıkarılır:

$$S = M * \left(\frac{TAU}{TAUCS} - 1,0\right) \quad (3-35)$$

Burada; S, sedimentin yataktan sıyırılma hızı (kütle/alan.zaman)
M, sediment yüzdesi için erozyon katsayısı (kütle/alan.zaman)
TAUCS, sıyırılma için kritik kesme kuvveti (kütle/alan)'dır.

RCHRES'te sıyırılma dolayısıyla askıda sediment yüzde derişimi değişim hızı, şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{d(CONC)}{dt} = - \left(\frac{M}{AVDEPM} * \left(\frac{TAU}{TAUCS} - 1,0\right) \right) \quad (3-36)$$

Bu denklemin integrasyonu ile, sıyrılmayla askıda sedimente katılan sediment derişimi (SCRCONC) için bir denklem elde edilebilir.

$$SCRCONC = \frac{M}{AVDEPM} * 1000 * \left(\frac{TAU}{TAUCS} - 1,0 \right) \quad (3-37)$$

Hesaplanan sıyrıлма miktarı yataktaki uygun depo miktarından büyükse, yatak sıyrıлма miktarı depo miktarına eşitlenir ve depo miktarı sıfıra düşer. TAUCS için belirlenen değeri TAUCD değerinden büyük olacağı için, her bir simülasyon aralığında sadece tek bir süreç (birikim veya sıyrıлма) gerçekleşecektir.

b) Kum/çakıl davranışının simülasyonu (SANDLD alt bölümü):

İnorganik sedimentin kum yüzdesinin birikim, sıyrıлма ve taşınım süreçleri SANDLD alt bölümü ile simüle edilir. Erozyon ve kum birikimi, veya kohesif olmayan sediment, akışın taşıyabildiği sediment miktarı ile ilgilidir. Taşınan kum miktarı RCHRES'in hidrodinamik koşulları için akımın taşıyabileceğinden azsa, kum yataktan sıyrılacaktır. Bu olay, gerçek kum taşınım hızı, akımın taşıma kapasitesine eşit oluncaya yada bütün yataktaki kum sıyrılıncaya kadar devam eder. Diğer taraftan, eğer kum taşınım hızı, akımın kum taşıma kapasitesini aşarsa birikim gerçekleşecektir. SANDLD, üç ayrı yöntemden birisiyle kum taşınım kapasitesinin hesaplanmasını sağlar. UCI dosyasında kullanıcı tarafından belirlenen SANDFG değerleriyle, Toffaleti eşitliği (SANDFG=1), Colby metodu (SANDFG=2) veya üssel fonksiyon (SANDFG=3) kullanılabilir. Bu çalışmada Toffaleti metodu seçilmiştir. Bu metodun seçilmesinin nedeni, Colby metodunun ortanca taban sediment çapına, hidrolik yarıçapa ve ortalama hıza bazı sınırlamalar getirmesidir. Bu sınırlamalar dışına çıkıldığında Colby metodu geçerliliğini yitirmektedir. Eğer kum taşıma simülasyonu için Colby metodu kullanılıyorsa bu sınırlar dışına çıkıldığında program otomatik olarak Toffaleti metodunu kullanmaktadır. Daha geniş sınırlara sahip olduğu için Toffaleti metodu tercih edilmiştir. Kum taşınım kapasitesi Toffaleti veya Colby metodlarıyla hesaplanıyorsa, potansiyel kum yükü derişimleri şu dönüşümle belirlenir:

$$PSAND = \frac{GSI * TWIDE * 10,5}{ROM} \quad (3-38)$$

Burada; PSAND, potansiyel kum yükü (kütle/hacim)
 GSI, kum taşınım kapasitesi (kütle/zaman.uzunluk)
 TWIDE, RCHRES genişliği (uzunluk)
 10,5, dönüştürme faktörü
 ROM, RCHRES çıkış akımının toplam hızı (hacim/zaman)² dir.

SANDLD alt bölümünün içerisinde, RCHRES akımının kum taşıma kapasitesini hesaplamak için, Toffaleti metodunu kullanan TOFFAL ve Colby metodunu kullanan COLBY alt bölümleri yer alır. TOFFAL alt bölümünde, kum debisi hesabı yapılan nehrin iki boyutlu, aynı genişlikte ve nehrin hidrolik yarıçapına eşit derinlikte bir nehre eşdeğer olduğu kabul edilir. Hesaplama amacıyla bu hipotetik nehrin derinliği (FHRAD), yatak bölgesi, alt bölge, orta ve üst bölge olmak üzere dört bölgeye ayrılmıştır. Hız profili aşağıdaki üssel ilişki ile temsil edilir.

$$U = (1 + 0,1198 + 0,00048 * TMPR) * V * \left(\frac{Y}{FHRAD} \right)^{(0,1198 + 0,00048 * TMPR)} \quad (3-39)$$

Burada; U, tabandan Y kadar yükseklikte uzunluk/zaman cinsinden hız
 V, akarsuyun uzunluk/zaman cinsinden ortalama hızı
 TMPR, su sıcaklığıdır.

Alt, orta ve üst bölgeler için kum taşınım kapasitesi eşitlikleri şunlardır:

$$GSL = CMI * \frac{\left(\frac{HRAD}{11,24} \right)^{(1,0 + CNV - 0,758 * ZI)} - (2 * FDIAM)^{(1,0 + CNV - 0,756 * ZI)}}{1,0 + CNV - 0,756 * ZI} \quad (3-40)$$

$$GSM = CMI * \frac{\left(\frac{HRAD}{11,24} \right)^{(0,244 * ZI)} * \frac{HRAD^{(1,0 + CNV - ZI)}}{2,5} - \left(\frac{HRAD}{11,24} \right)^{(1,0 + CNV - ZI)}}{1,0 + CNV - ZI} \quad (3-41)$$

$$GSU = CMI * \frac{\left(\frac{HRAD}{11,24} \right)^{(0,244 * ZI)} * \frac{HRAD^{(0,5 * ZI)}}{2,5} * HRAD^{(1,0 + CNV - 1,5 * ZI)} - \frac{HRAD^{(1,0 + CNV - 1,5 * ZI)}}{2,5}}{1,0 + CNV - 1,5 * ZI} \quad (3-42)$$

Bu eşitlikler için:

$$CMI = 43,2 * CLI * (1,0 + CNV) * V * HRAD^{(0,758 * ZI - CNV)} \quad (3-43)$$

GSL eşitliği aşağıdaki ampirik eşitlikle birlikte çözülerek alt bölgedeki kum derişimi (CLI) değeri bulunur:

$$GSL = \frac{0,6}{\left(\frac{TT * AC * K4}{V^2}\right)^{1,67} * \left(\frac{DIAM}{0,00058}\right)^{1,67}} \quad (3-44)$$

Burada; GSL, kum taşınım kapasitesi

TT, su sıcaklığının fonksiyonu olarak geliştirilmiş ampirik faktör $(1,10 * (0,051 + 0,00009 * TMPR))$

AC, suyun kinematik viskozitesinin (VIS) ve kesme hızının bir fonksiyonu olarak geliştirilen ampirik bir faktör

K4, AC'nin, eğimin ve partikül çapının bir fonksiyonu olarak geliştirilen ampirik bir faktör

V, ortalama akarsu hızı

FDIAM, yatak sediment çapının medyanı'dır.

Dördüncü bölgenin taşınım kapasitesi ayarlanmış olan CLI değeriyle ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$GSB = CMI * (2 * FDIAM)^{(1,0 + CNV - 0,758 * ZI)} \quad (3-45)$$

RCHRES için toplam kum taşınım kapasitesi (GSI) dört bölgenin toplamıdır:

$$GSI = GSB + GSL + GSM + GSU \quad (3-46)$$

Diğer bir alt bölüm olan COLBY ise, RCHRES'in kum taşıma kapasitesini, medyan yatak sediment çapına (DB50), ortalama nehir hızına (V), hidrolik yarı çapa (HRAD), ince sediment yükü derişimine (FSL) ve su sıcaklığına (TEMPR) bağlı olarak hesaplar. Bu alt bölüm için çözüm tekniği ampirik eşitliklere dayalıdır. Genel olarak çözüm şu üç işlemi içermektedir:

- Sediment taşınım kapasitesi için değerler matriksinden interpolasyon yoluyla bir değer bulunur.
- Kum taşınım kapasitesi RCHRES'teki su sıcaklığı için düzeltilir.
- Kum taşınım kapasitesi değeri RCHRES'teki ince sediment yükü için düzeltilir.

3.3.6. Genel kalite bileşenlerinin davranışlarının modellenmesi (GQUAL bölümü)

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

GQUAL bölümü, genel bir bileşenin davranışının modellenmesini sağlar ve sadece şu olaylarla ilgilenir:

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

Genel kalite bileşeni sedimentle ilgiliyse şu ilave prosesler dahil edilir:

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

GQUAL modülü şu alt bölümleri içermektedir:

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

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

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

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

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

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

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

3.4. HSPF ile Yapılan Çalışmalar

Hidrolojik Simulasyon Programı – FORTRAN (HSPF) kullanılarak yapılan ilk çalışmalar, Donigan ve ark. (1984) tarafından, 1981 ve 1983 yılları arasında, Iowa Nehri Havzasında ve Four Mile Creek Havzasında gerçekleştirilmiştir. Her iki çalışmada da havza yüzeyi ve nehir modellenmiş, akış, sediment, ve tarımsal alanlardan gelen kimyasallar incelenmiştir. HSPF

programının uygulama kılavuzu niteliğindeki bu çalışma, karar verme, yöntem ve sonuçları açıklayabilmek için programda kullanılan tüm uygulama proseslerini kapsamaktadır. EPA tarafından desteklenen ve 1984 yılında sunulan raporda, HSPF programı, bir planlama aracı olarak kullanılarak akış, kirletici yükleri ve önerilen tarımsal uygulama planlarındaki nehir su kalitesi değişimleri analiz edilmiştir.

Four Mile Creek için yapılan çalışmada, her biri değişik bir kullanımı ifade eden üç küçük alanda (mısır, soya fasulyesi tarlaları ve otlak) pestisit kalibrasyonu için 6 aylık, tarımsal besinler için 12 aylık detaylı kalibrasyon - verifikasyon gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar aynı bileşenlerin modellendiği tüm havzaya extrapole edilerek, sekiz bölgeye ayrılan nehir sistemi yükleri için giriş verileri oluşturulmuştur. Havza seviyesinde daha az detaylı bir kalibrasyon yapılarak, iki ayrı tarımsal uygulama senaryosu simule edilmiştir.

Iowa River çalışmasında, Four Mile Creek için geliştirilen metot, 7200 km²'lik Iowa River havzasına extrapole edilmiş, metodun büyük nehir havzalarına uygulanabilirliği gösterilmiştir. Modelleme amacıyla çalışma alanı meteoroloji, topografi, toprak özelliği, karasal kullanım tarımsal faaliyetler ve uygulanan kimyasallar açısından aynı şartlara sahip 9 geçirgen kara parçasına ayrılmıştır. Beş yıllık bir süre boyunca, akış, sediment, inorganik azot ve pestisit modellemesi gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar 13 bölgeye kanal sistemine girdi olarak kullanılmıştır. Iowa nehrinin 300 km'lik bölümünde hidrolik özellikler ve kimyasal reaksiyonlar modellenmiş, kalibrasyon çalışmaları sediment ve hidrolik açıdan 6 işletim ile kısıtlı tutulmuş, inorganik azot ve pestisit için ise veri yetersizliği nedeniyle kalibrasyon gerçekleştirilememiştir.

HSPF'in genişletilmiş bir amacı da havza sistemlerine bir kez uygulandıktan ve kalibrasyon-verifikasyon yapıldıktan sonra, pek çok değişik alternatifin ve bunların etkilerinin analiz edilebilmesidir. Bu amaca yönelik olarak bu çalışmada, çeşitli "En İyi Tarımsal Yönetim Uygulamaları" (Best Management Practices-BMP) senaryoları hazırlanmış, bunların analizleri gerçekleştirilmiştir. Benzetim için önerilen senaryolar arazinin koruma amaçlı sürülmesi ve konturlama kullanımını içermektedir.

Önerilen BMP senaryolarının başlıca bileşenleri:

- a) Toprağın sürüş şeklinin değiştirilmesi: döner diskle sürümden (moldboard plowing), çelik kalem şeklindeki sürüşe (chisel plowing) geçilmesi
- b) Yabancı otlarla mücadelede toprağın iki defa sürülmesi yerine, yazın tek bir sürüm yapılması
- c) Hasattan sonra kalan ürün artıklarının toprak üzerinde bırakılması olarak özetlenebilir.

EPA tarafından gerçekleştirilen Chesapeake Körfezi programında ise, HSPF modeli çerçevesinde toplam havza bileşenlerinin (akış, sediment, besin maddeleri ve su sıcaklığı, ÇO, BOİ gibi ilgili bileşenler) Chesapeake gel-git bölgesinde modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Havza modeli 68000 mi² den büyük bir araziden kaynaklanan kirleticileri ifade etmekte ve körfezin tamamen dinamik, üç boyutlu, hidrodinamik / su kalitesi modelini çalıştırmak için girdi sağlamaktadır. Havza drenaj alanı karasal bölümlere ve akarsu kanalı bölümlerine ayrılmış olup, modellenen karasal alanlar orman, tarımsal alanlar, otlak, geçirgen ve geçirgen olmayan şehirsiz bölgeler ve kontrol edilemeyen hayvansal atıkları içermektedir. Nehir kanalı simülasyonu, körfeze besin taşınımını etkileyen nehir içi prosesleri açıklamak amacıyla, akım ile oksijen ve besin maddelerinin biyokimyasal modellerini kapsamaktadır.

Tarımsal bir havzada Atrazin taşınımının HSPF ile benzetimi başlıklı çalışmada, Laroche ve ark. (1996), Kanada'da 78 ha.'lık bir havzada, HSPF modelini kullanarak, hidrolojik prosesleri ve pestisit taşınım proseslerini modellemişlerdir. Haziran 1991 ile Ocak 1993 yıllarını kapsayan çalışma sonucunda, gözlenen değerlerle model sonuçları arasında kalibrasyon için aylık verilerde 0,9'a varan korelasyonlar bulunmuştur. Şubat-Kasım 1993 arasında model doğrulanmış (verifiye edilmiş) 0,93'lük korelasyon değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak, Atrazin derişimindeki dalgalanmalar HSPF kullanılarak modellenmiş, ölçülen değerlerle model sonuçlarının oldukça iyi uyduğu gözlenmiş, en yüksek konsantrasyon değerlerine aynı zamanlarda ulaşılmıştır. Ayrıca, grafiksel değerlendirmeler sonucunda bir kez kalibre edilen modelin gözlenen akım verilerini iyi bir şekilde temsil ettiği ortaya çıkmıştır.

Diğer bir çalışmada da, HSPF kullanılarak, güney Florida bölgesinde etki miktarını belirlemek ve alternatif geliştirmek için yüzeysel akış, yeraltı suyu, sediment taşınımı, azot, fosfor ve pestisit modellenmiştir. Kirliliği önlemek için iki koruyucu alternatifin yanı sıra, şu anki durumu ve tarımsal alanların gelecekte şehirleşmelerini modelleyen dört senaryo çalıştırılmıştır. Modellenen koruyucu önlemler, gübrenin gereken en az miktarının uygulanması ve gübre yerine arıtma çamuru kullanılması alternatifleridir. Model sonuçları, şu anki kullanıma göre yüzey sularında sediment, azot, fosfor ve pestisit bulunduğunu ve ayrıca azot ve fosforun yeraltı suyuna karıştığını göstermektedir. Kirliliğin temel kaynağının tarımsal aktiviteler olduğu gözlenmiş, en uygun gübrenin gereken en az miktarının uygulanması kirliliği azaltmıştır. Gübre yerine çamur uygulaması da kirliliğin azaltılmasına yardımcı olmuştur. Koruma yönetimi uygulamalarının su kalitesini artırdığı konusunda herhangi bir şüphe bulunmamaktadır. Koruma alternatiflerine ek olarak tarımsal alanın ileride şehirleşme olasılığı da denenmiş, böylesi bir durumda kullanılan pestisit ve gübre miktarı azalacağından kirletici yükünün de azaldığı gözlenmiştir (Tsirintzis ve ark. 1996).

Havza bazında kompleks bir model olan Hidrolojik simulasyon programı-FORTRAN (HSPF) modeli 16 km²'lik bir havza için kalibre edilmiştir. Gözlenen ve tahmin edilen hidrolojik akımlar, toplam dört yıllık bir kalibrasyon süresi boyunca, yıllık ve aylık bazda karşılaştırılmıştır. Sadece nümerik optimizasyon kullanıldığında, kabul edilebilir bir tahmin kapasitesine sahip model parametre seti bulunamamıştır. Bunun yerine, parametrelerin performansını artırmak için, buldukları zaman aralığı dışında, sensitivite analizi, nümerik optimizasyon ve üretilen model parametre setlerinin denenmesi gibi kritik prosesleri uygulamak gereklidir. Bu kritik kalibrasyon proseslerini kullanarak modelin anlamlı tahmin kapasitesine sahip olduğu ispatlanabilir. Nümerik optimizasyon, model kalibrasyonu için bir amaçtır fakat bilinçsizce kullanılmamalıdır. Parametre uzayının boyutlarını azaltmak için öncelikle bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiş, model tahminlerinin en hassas olduğu parametreler belirlenmiştir. Duyarlılık analizinin ardından, dört yıllık gözlenen yağış ve akım verilerinin her biri için ayrı ayrı nümerik optimizasyon yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına bakıldığında, havza çıkışında debiyi etkileyen en önemli

parametrelerin AGWRC (yer altı suyu geri çekilme katsayısı) ve AGWS (yer altı suyu depolanması için başlangıç koşulları) olduğu görülmüştür (Jacomino ve Fields 1997).

Tsihrintzis ve ark. (1997), daha önce Güney Florida bölgesinde yaptıkları çalışma üzerinde yoğunlaşarak çalışmayı coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ile desteklemiştir. Bu çalışmada, yaygın kaynak kirliliği modeli (HSPF) ile GIS (ARC/INFO) birlikte kullanılarak, veri depolanması, yönetimi ve gösterimi; model giriş verilerinin çıkarımı; ve sonuçların etkili bir şekilde sunumu gerçekleştirilmiştir. Varolan durumun ve uygulamaların sonuçları, yüzeysel sularda ve yer altı suyunda sediment, besin maddeleri ve pestisit bulunduğunu göstermiştir. Kirlilik seviyesini azaltmak için gübre kullanımının en az seviyeye indirilmesi ve gübre yerine evsel atık çamur kullanılması alternatifleri geliştirilmiş, buna ilaveten tarımsal alanların şehirleşmelerinin etkileri incelenmiştir. Kurulan alternatiflerin de, şehirleşme senaryosunun da kirliliği azaltacağı sonucuna varılmıştır.

Havza boyutunda akarsu sıcaklığını modelleyebilmek için, suyun absorpladığı gerçek ışınımın miktarının tahmin edilebilmesi ve bunun için ise topoğrafya ve bitki örtüsünün gölge dinamiğinin hesaplanması gerekmektedir. Güneşin pozisyonu, akarsuyun yeri ve konumu ve akarsu kıyısındaki gölge karakteristiği arasındaki geometrik ilişkiyi ortaya koyan bir dizi hesaplama yöntemi kullanılarak SHADE olarak adlandırılan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. SHADE tarafından elde edilen güneş ışıması verileri daha sonra Hidrolojik Simulasyon Programı-FORTRAN (HSPF) kullanılarak saatlik akarsu sıcaklıkları modellenmiştir. Bu çalışmada, modelleme stratejileri, algoritma ve yöntem olarak SHADE programı, HSPF ile SHADE programlarının birleştirilmesi ve akarsu yatağı ısı iletimi algoritması ve geliştirilmesi açıklanmıştır. Bu çalışmada kullanılacak model seçimi için gerekli kriterler 6 madde halinde belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir:

- a) Havza boyutunda ve devamlı bazda temsil edilebilirlik
- b) Akarsu sıcaklığı simulasyon modülü
- c) Akarsu sıcaklığı modellenmesi için gereken devamlı su dengesi oluşturmak için hidrolojik ve hidrolik modüller

- d) Değişik yüzey kaplamalarına sahip kompleks havzalarda, değişik baz sıcaklıklara sahip olduklarından, yüzeysel akış, ara akış ve yer altı suyu akışı gibi çeşitli akış bileşenlerinin modellenmesi için hidrolojik modül
- e) Bu çalışmada olduğu gibi yüksek enlemlerdeki havzalarda uygulanmaya olanak sağlayan kar birikme/erime modülü
- f) Oldukça fazla modüler yazılım yapısı ve etkin veri yönetimi kabiliyeti

Yapılan ayrıntılı incelemeler sonucunda bu kriterlerin tümünü sağlayan tek seçeneğin HSPF modeli olduğu görülmüştür (Chen ve ark. 1998). Bu çalışmanın devamı olan diğer bir çalışmada ise, SHADE-HSPF model sistemi kuzeydoğu Oregon'da Upper Grande Ronde havzasına uyarlanarak nehir sıcaklığının, SHADE ve HSPF programlarındaki gölge ve ısı dengesi parametrelerine duyarlılığı analiz edilmiş ve bu bilgiler nehir sıcaklığı kalibrasyonu için kullanılmıştır. SHADE programının hassaslık ve güvenilirliğinin doğrulanması için, güneş radyasyonu faktörü (SRF) ile bu faktörün günlük, mevsimlik ve boylamsal değişimleri hesaplanmıştır. Modellenen yüksek sıcaklıklara göre, var olan nehir kıyısı bitki örtüsünde somon balığı yetiştirmek için gerekli olan sıcaklığın 8-10 °C, restorasyon yapıldığında ise 2,6-3,0 °C aşıldığı görülmüştür. Değişik mevsim koşullarında ve hipotetik bitki örtüsü senaryolarında nehir sıcaklığı rejimleri modellenmiştir. Sonuç olarak, doğal hava döngülerine bakılmaksızın, somon balığının yaşama alanı ile ilgili olarak, akarsu sıcaklığını önemli ölçüde azaltmak için nehir kıyısı bitki örtüsü restorasyonu gerekliliği ortaya konulmuştur (Chen ve ark. 1998).

Kuzey Reelfoot Creek, Tennessee'de en iyi yönetim uygulamalarının modellenmesi başlıklı bir çalışmada ise, erozyon ve sediment kontrolü için HSPF programı kullanılarak çeşitli yönetim senaryoları (BMP) incelenmiştir. Bu senaryolar arasında, tarım bitkilerinin sabit bir bitki örtüsü ile değiştirilmesi (BMP#1), koruyucu sürme sistemlerinin kullanılması (BMP#9) ve rezervuar inşa edilmesi (BMP#12) ile bunların birbirleriyle ilişkileri yer almaktadır. Havza erozyonu ve akarsu sediment yükleri üzerine en önemli iyileştirmeyi BMP#1 yaparken, BMP#9'un orta derecede etkili olduğu bildirilmiştir. 146 km²'lik bir alana üç yeni rezervuar inşa edilmesi sonucunda, akarsu sediment yüklerinde

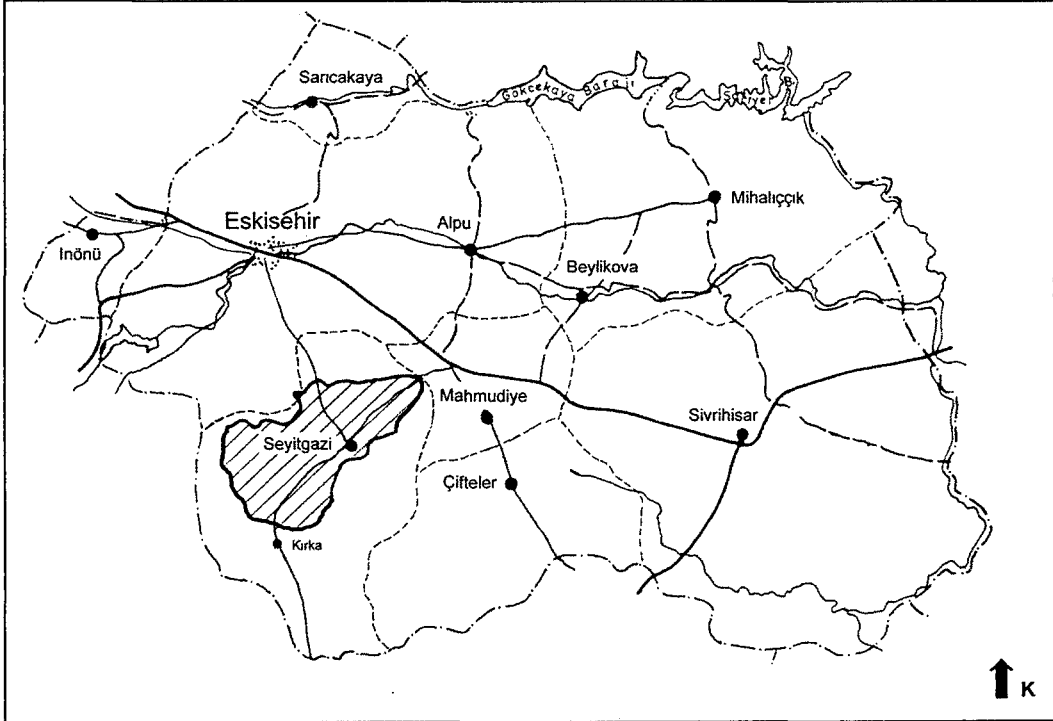
%50'lik bir azalmanın sağlandığı ve en iyi yaklaşımın BMP#1 olduğu vurgulanmıştır (Moore ve ark. 1992).

Yapılan bir başka çalışmada ise Hunting Creek'te uygulanan HSPF, HSPEXP programı kullanılarak kalibre edilmiştir (Lumb 1994). ABD'nin Washington şehrinde de belediye meclisi üyeleri, HSPF'i, yaygın kaynakların, önerilen kentsel yağmur suyu yönetimi uygulamalarında ve değişik atıksu arıtma seviyelerinden kaynaklanan su kalitesi değişimlerinin belirlenmesi çalışmalarında kullandırtmışlardır (Donigian 1991).

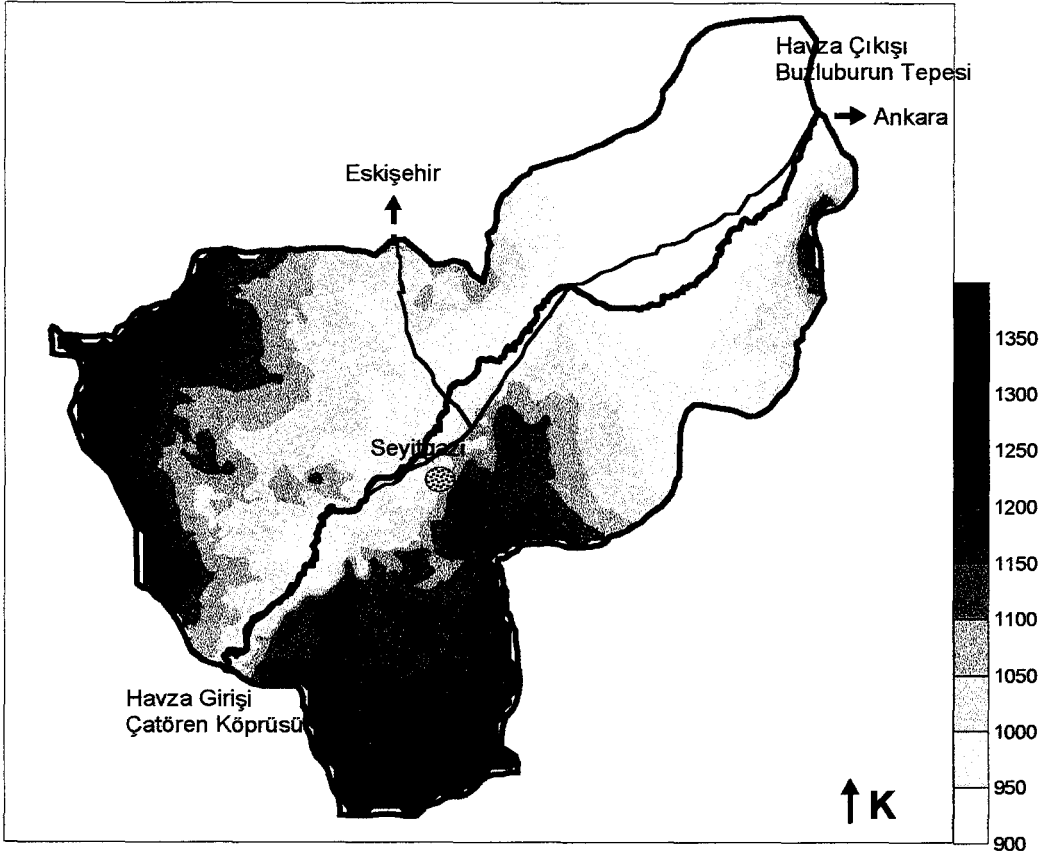
4. SEYDİ SUYU HAVZASI

Bu çalışmada Eskişehir'e 50 km uzaklıkta bulunan Seydi Suyu ve havzası çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Şekil 4.1'de, incelenen Seydi Suyu orta havzasının Eskişehir ilindeki konumu, Şekil 4.2'de ise havzanın genel bir görünüşü verilmektedir. Bu belirlemede göz önüne alınan kriterler; Eskişehir'e yakınlık, akarsuyun her yerine ulaşabilme olanağı, akarsuyun su örneği ve debi ölçümü alınmasına uygun olması, havzanın aşırı karmaşık bir yapıya sahip olmaması, giriş ve çıkışlarda başka kuruluşlar tarafından ölçümler yapılmış olması ve havzayı temsil edebilecek meteorolojik verilerin ve çeşitli fiziksel parametrelerin mevcut olmasıdır. Havza, bu kriterleri önemli ölçüde sağlamakta, aynı zamanda tarım ve hayvancılık yapılması nedeniyle yaygın kaynak kirliliğine maruz bulunmaktadır.

Bu bölümde Seydi Suyu ve havzasının temel özellikleri anlatılacaktır.



Şekil 4.1. Orta Seydi Suyu Havzası'nın Eskişehir haritasındaki yeri (Göktay 1991)



Şekil 4.2. Seydi Suyu ve havzası

4.1. Akarsular

Seydi Suyu ilk kaynaklarını Eskişehir ve Afyon arasında yer alan ve Frig Yaylası adı verilen yüksek platonun güney tarafından alır. Şaphane Dağı'nın (1765 m) kuzeyindeki tepelik ve ormanlık arazide birleşen dereler kuzeybatıya doğru akan Kümbetözü Deresi'ni oluştururlar. Bu dere sağdan ve soldan çeşitli katılmalarla Kırka yakınlarına kadar ilerler. Burada sol taraftan gelen ve Kırka Bucağı'nın içinden geçen Ağzıkara Deresi (bu dere Kırka'dan sonra Balıkboğazı Deresi olarak adlandırılır) ile Yarbasan Köyü'nün kuzeyinde birleşir ve Harami Dere adını alır. Harami Dere Numanoluk Köyü'nden sonra dar boğazlara sokulur. 1986 yılından itibaren Numanoluk'dan sonra Çatören Barajı gölü dereyi kesmektedir. Çatören mevkiinden sonra Harami Dere dar bir boğaz izler. Ada Tepe ile Sazlı Gedik Tepe arasında sol taraftan Akin Deresi'ni alır. Bu dere Türkmen Dağı'nın güney tarafından kaynaklanmaktadır. Akin Deresi, Kırka düzlüğüne indikten sonra kuzey-doğuya yönelerek dar vadilere girer. Sol taraftan

gene Türkmen Dağı'ndan kaynaklanan Keçeliözü Deresi'ni alır ve doğuya yönelerek Harami Dere'ye karışır. Akin Deresi üzerinde Kunduzlar Barajı kurulmuştur.

Bu birleşmeden sonra akarsu Seydi Suyu adını alır. Dar vadi bir süre daha devam ettikten sonra Seydi Suyu, Seyitgazi Ovası'na açılır. Buradan sonra dere tipik bir Orta Anadolu akarsuyu görünümünü alır. Ovada, kuzey-doğuya doğru söğüt ve kavaklar arasında akar. Seyitgazi İlçesi'nin batısından geçer. Kırkız Dağı'nın kuzeyinde önce doğuya döner, Hamidiye Köyü'nden sonra güneydoğuya doğru kıvrılır, Mahmudiye İlçesi'nden geçer. Çifteler İlçesi'nin doğusunda, solundan gelen Sarısu ve sağından gelen Bardakçı Suyu ile birleşerek Sakarya Nehrini oluşturur (Albek 1997).

Seydi Suyu çeşitli kısımlara ayrılabilir. İlk kaynaklarından Seyitgazi Ovası'na açılmasına kadar olan kısmı Yukarı Seydi Suyu, Seyitgazi Ovasındaki kısmı Orta Seydi Suyu, Hamidiye istasyonundan sonraki kısmı ise Aşağı Seydi Suyu olarak adlandırılabilir. Bu kısımlara ayırmada topografik şekiller ve kullanım özellikleri rol oynamaktadır. Yukarı Seydi Suyu kısmı engebeli bir arazide akmaktadır. Orta Seydi Suyu havzası günümüzde sulanmaktadır.

Bu çalışmada Seydi Suyu havzasının orta kısmı incelenmiş ve modellenmiştir. Tüm havzanın seçilmemesi üç nedene dayanmaktadır. İlk neden havza büyüdükçe ve topoğrafik yapı karmaşıklaştıkça modelleme çalışmasının güvenilirliğinin artan oranda azalmasıdır. İkinci olarak havza büyüdükçe havzayı temsil eden meteorolojik istasyon sayısının artması gerekliliğidir. Bu koşul sağlanmamaktadır. Üçüncü neden olarak Yukarı Seydi Suyu Havzası'nda bulunan barajlar gösterilebilir. Baraj modellenmesi havza modellerine pek çok bilinmeyeni beraberinde getirdiğinden büyük zorluklar çıkarmaktadır.

4.2. Bitki Örtüsü ve İklim

Seyitgazi Ovası ortalama 945 metre yüksekliğe sahip, önemli bir tarım havzasıdır. Ova bir aşınma ovası olup, kalın bir alüvyon tabakasıyla kaplıdır. Toprak özelliği açısından, zengin organik madde içeren oldukça geçirgen bazik yapıda toprakla kaplıdır (DSİ 1983). Bölgede doğal bitki örtüsü tarımın

yapılmadığı eğimli araziler ve yüksek tepelerde bulunmaktadır. Bu bitki örtüsü meşe, ardıç ve karaçam ağırlıklıdır ve daha çok havzanın güneyinde bulunmaktadır. Seydi Suyu kıyılarında söğüt ve kavaklara rastlanmaktadır.

Yukarı Seydi Suyu Havzası yüksek bir Orta Anadolu yaylası karakteri taşır. Ancak özellikle Kırka Bucağı'nın güneyindeki ve Türkmen Dağı'ndaki geniş ormanlık alanlar bölgeye bir geçiş (Ege-İç Anadolu) bölgesi karakteri kazandırır. Bu ormanlarda karaçam ve meşe hakim bitki türleridir. Kırka Bucağı çevresi ise bozkır bitki örtüsüne sahiptir ve tarım alanları göze çarpmaktadır.

Seyitgazi yöresi İç Anadolu iklim bölgesinin batı kesiminde olduğundan, İç Anadolu'nun tipik karasal iklimi tam olarak hüküm sürmemekte, Ege ve Marmara iklim bölgeleri geçiş şeridi içinde yer almaktadır. Yağış açısından yıllık yağışın yaklaşık %34'ünü ilkbahar yağışları, %30'unu kış yağışları, %19'unu sonbahar ve %17'sini yaz yağışlarının oluşturduğu görülmektedir (DSİ 1983). Yıllık ortalama yağış (Seyitgazi istasyonu verilerine göre) 308,6 mm'dir ve Türkiye ortalamasına göre oldukça düşüktür. Ancak Yukarı Seydi Suyu Havzası Seyitgazi'den daha yüksekte olduğundan bu rakam bir alt sınır olarak düşünülebilir. Gene Seyitgazi meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 10,6 °C'dir. En soğuk ay 0,4 °C ortalama ile ocak, en sıcak ay ise ortalama 20,5 °C ile ağustostur. Bağıl nem yıllık ortalama %63 olup, %46 ile %82 arasında değişmektedir (Albek 1997).

4.3. Nüfus ve Sosyo-Ekonomik Durum

Araştırma alanında devamlı bir nüfus hareketi gözlenmemektedir. Seydi Suyu havzasında bulunan en büyük yerleşim Seyitgazi ilçesidir. 1997 sayımına göre nüfusu köyleri ile birlikte 8753 kişidir. Diğer yerleşimler, beldeler ve köylerdir.

Seydi Suyu'nun su kalitesinin belirleyici unsuru, havzada yürütülen tarımsal etkinliklerdir. Genel olarak bölgede tarım önemli yer tutmakta, hayvancılık ikinci planda kalmaktadır. En çok yetiştirilen bitki türleri şeker pancarı, buğday, arpa ve çavdardır. Bunun yanı sıra yonca, patates, ayçiçeği ve

fasulye de yetiştirilmektedir. Sebze ziraati çok az görülmektedir. Meyvacılık ise hemen hemen hiç yok gibidir. Hayvancılık açısından koyun ve keçi ilk sırada yer almaktadır. Daha az olmakla birlikte kümes hayvancılığı, sığır yetiştiriciliği ve arıcılık da yapılmaktadır.

Tarımda verimliliği arttırabilmek amacıyla olanaklar ölçüsünde suni gübre kullanılmakta, genellikle yağmurlama sulama ile pancar ve yonca gibi bitkilerin sulanmasına öncelik tanınmaktadır.

Bölgede önemli bir sanayi kuruluşu bulunmamaktadır. Küçük ölçekli tamir atölyeleri, çiftlikler, yem ve gübre tesisleri mevcuttur. Seydi Suyu'nun yukarı havzasında, Kırka Bor Madenleri ve Tesisleri bulunmaktadır. Bu tesisler yılda 320000 ton üretim kapasitesine sahiptir. Madenin çıkarımı sırasında bor, yüzey akışlarıyla ve işlenmesi sırasında oluşan atıksularla Seydi Suyu'na ulaşmaktadır. Tesis atık göletleri inşa ederek ve üretim teknolojisinde değişiklikler yaparak bu sorunun üstesinden gelmeye çalışmaktadır. Barajların yapılmasından önce Seydi Suyu'nda bor açısından önemli sorunlar yaşanmaktaydı (DSİ 1983). Bugün Seyitgazi Ovası'nın sulanmasında Çatören ve bor madenlerinden fazla etkilenmeyen Kunduzlar barajlarının suları karıştırılmaktadır. Yine de bu sorun tamamen giderilmiş değildir.

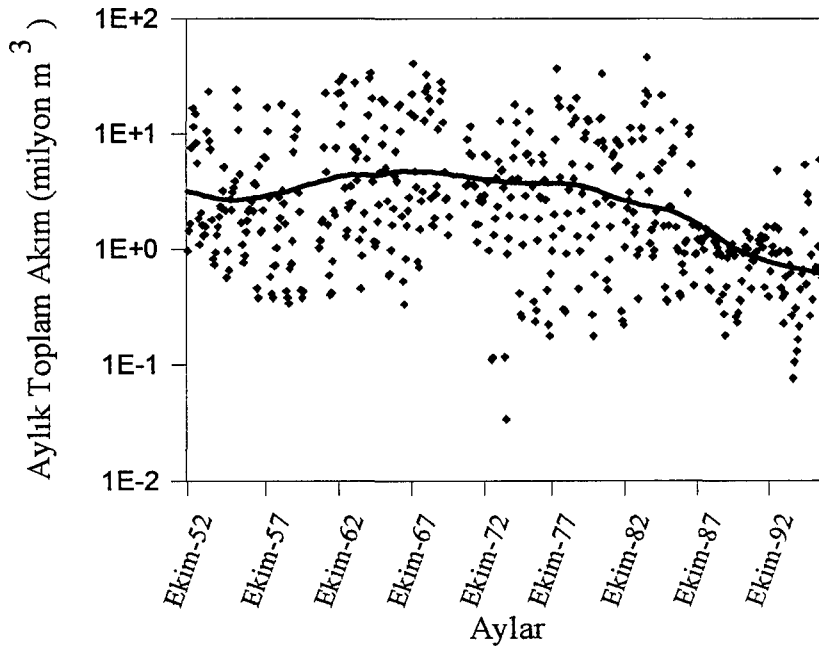
4.4. Seydi Suyu'nun Hidrolojik Özellikleri

Seydi Suyu'nun su toplama havzası, Sakarya'ya karışmadan önce üzerinde bulunan Hamidiye Akım Gözlem İstasyonu baz alındığında 1600 km²'dir. Seydi Suyu üzerinde biri DSİ (Devlet Su İşleri) biri de EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi)'e ait olmak üzere iki devamlı akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Kozyaka Köyü'nün yakınlarında, akarsu Seyitgazi Ovası'na açılmadan önce, DSİ tarafından işletilen istasyonda (Seydi Suyu-Kozyaka DSİ 1258) 1963 -1986 yıllarında günlük debiler gözlenmiştir. Seydi Suyu üzerinde ikinci devamlı gözlem istasyonu EİE tarafından işletilen Hamidiye istasyonudur (EİE 1223 Seydi Suyu-Hamidiye). Bu istasyon ve çevresi aşağı yukarı Seyitgazi Ovası'nın bitimini belirler. Hamidiye istasyonunda gözlemler 1952-1997 yılları arasında devam

etmiştir. Günümüzde Seydi Suyu üzerinde sürekli akım gözlem istasyonu bulunmamaktadır.

1986 yılına kadar Seydi Suyu regüle edilmeyen bir akarsu olarak varlığını sürdürmüştür. Akarsu debisinde yağışlı ve yağışsız dönemler arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir. Zaman zaman akarsu yatağında hiç su bulunmadığı durumlar da olmuştur. Akarsuda gözlenen genel eğilim kış ve ilkbahar yağışlarıyla debinin artması, yağışsız yaz döneminde de debinin düşmesidir.

Seydi Suyu ve kolları üzerinde sulama amaçlı olarak 1986 yılında faaliyete giren iki baraj (Haramidere üzerinde Çatören Barajı ve Akin Deresi üzerinde Kunduzlar Barajı) akarsuyun hidrolojik rejimini önemli ölçüde değiştirmiştir. Şekil 4.3'de Hamidiye istasyonunda ölçülmüş bulunan aylık toplam akımlar ve bu akımlar kullanılarak hesaplanan LOWESS eğrisi görülmektedir (Bkz. Ek-4).

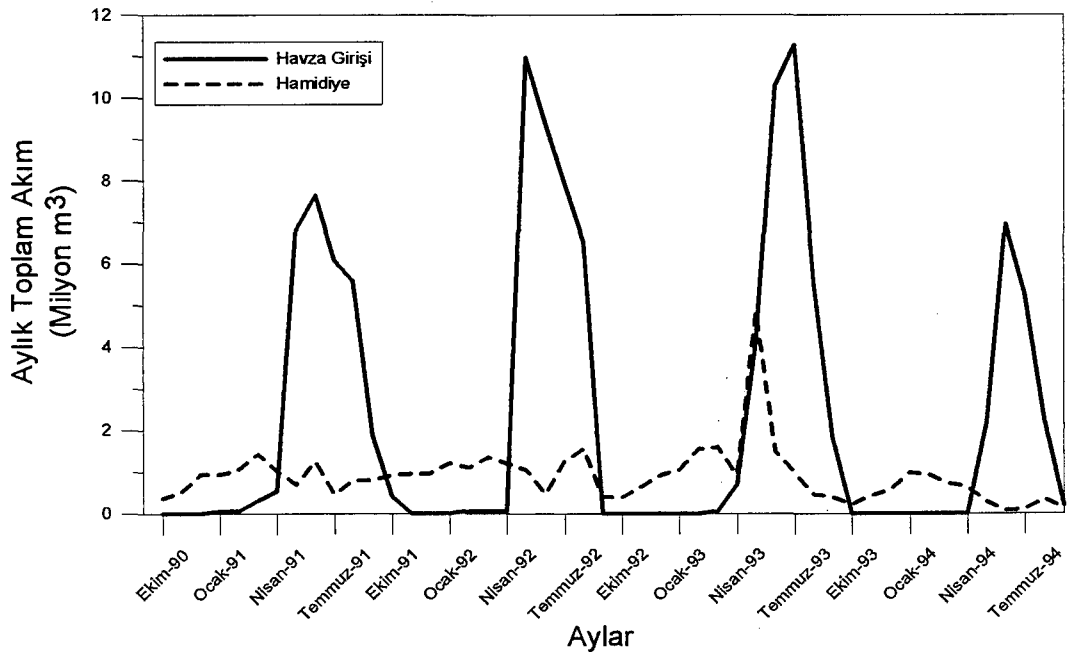


Şekil 4.3. Hamidiye aylık toplam akımlar ve LOWESS eğrisi

LOWESS eğrileri başka amaçlarla da kullanılabildikleri gibi (Albek 1999), çok sayıda veriye sahip zaman serilerinde eğilimlerin rahatça görülebilmelerini sağlamaktadır (Cleveland 1979). Barajlarda su tutulmaya başlanmasından itibaren aylık akımlarda düşmeler gözlenmektedir. Bunun nedeni, buharlaşma kayıplarının artması ve suyun sulamada kullanılmasıdır. Baraj öncesi dönemde 2,59 milyon metreküp olan aylık akım medyanı, baraj sonrası 0,9 milyon metreküp değerine

düşmüştür. Akımların aylara göre dağılımında da önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Baraj öncesi yüksek akımlar kış ve ilkbahar yağışları nedeniyle ocak-mayıs ayları arasında görülmekte idi. Barajların devreye girmesinden sonra mevsimler arası farklılıklar azalmıştır. Barajlardan yaz aylarında kullanılmak üzere su bırakılmaktadır. Böylece akarsu açısından kurak bir mevsim ortadan kalkmıştır.

Şekil 4.4'de bu çalışmada modelleme periyodu olarak alınan 1991-1994 su yılları arasındaki dönemde Hamidiye istasyonunda ve havza girişinde (DSİ tarafından işletilen Kunduzlar ve Çatören baraj çıkışları) ölçülmüş bulunan aylık toplam akım değerleri görülmektedir. Modelleme çalışmasında incelenen havza girişi Kunduzlar ve Çatören barajlarının çıkışlarından yaklaşık 7 km uzaklıktadır. DSİ tarafından baraj çıkışlarında günlük debi ölçümleri yapılmaktadır. Baraj çıkışlarını oluşturan dereler birleşmekte ve modellenen havzaya girmektedir. Şekil 4.4'den de görüldüğü gibi havza girişinde Ekim-Nisan ayları arasında su akmamaktadır. Yalnızca ölçümlere girmeyen ve ihmal edilebilecek kadar küçük olan savak alt akımları mevcuttur.



Şekil 4.4. Hamidiye istasyonunda ve havza girişinde aylık toplam akım değerleri

Seydi Suyu ovasında sulama dönemi olan Mayıs-Eylül ayları arasında barajlardan büyük miktarlarda su bırakılmaktadır. İncelenen dönem içinde (1991-1994 su yılları) barajlardan bırakılan yıllık toplam su miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Havza girişi aylık toplam akımlar

Aylar	1991 Su Yılı		1992 Su Yılı		1993 Su Yılı		1994 Su Yılı	
	Top. Akım (Mm ³)	Yüzde	Top. Akım (Mm ³)	Yüzde	Top. Akım (Mm ³)	Yüzde	Top. Akım (Mm ³)	Yüzde
Ekim	0,00	0,0	0,41	1,2	0,00	0,0	0,00	0,0
Kasım	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Aralık	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Ocak	0,05	0,2	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Şubat	0,06	0,2	0,05	0,1	0,00	0,0	0,00	0,0
Mart	0,31	1,1	0,05	0,1	0,06	0,2	0,00	0,0
Nisan	0,53	1,7	0,05	0,1	0,70	2,1	0,00	0,0
Mayıs	6,83	23,6	10,98	31,0	4,12	12,2	2,20	13,0
Haziran	7,65	26,4	9,41	26,6	10,30	30,4	6,95	41,2
Temmuz	6,08	21,0	7,93	22,4	11,28	33,3	5,28	31,3
Ağustos	5,58	19,3	6,50	18,5	5,55	16,3	2,25	13,3
Eylül	1,87	6,5	0,00	0,0	1,85	5,5	0,20	1,2
Toplam	28,96		35,38		33,86		16,88	

Havza girişinin değişken (regüle edilen) rejimine karşılık aşağı yukarı havza çıkışına denk gelen Hamidiye istasyonunda (Hamidiye istasyonu havza çıkışından 6 km ileridedir ve bu mesafe içinde Seydi Suyuna herhangi bir yan dere karışmamaktadır) ölçülmüş olan günlük debiler daha az salınım göstermektedirler. Baraj öncesi dönemine göre Hamidiye istasyonunda günlük salınımlar çok azalmıştır. Yaz aylarında bırakılan baraj suları hemen hemen tamamen sulamada kullanılmakta, bu sulama suları havza girişinden 6 km aşağıda bulunan Kesenler regülatörü vasıtasıyla sulama kanallarına aktarılmaktadır. Akarsuyun taşıdığı debiyi, yatağa bırakılan fazla regülatör suları ve sulamadan geri dönen sular teşkil etmektedir. Çizelge 4.2'de Hamidiye istasyonunda gözlenen aylık ve yıllık toplam akımlar verilmektedir. Çizelge 4.3'de sulama debilerinin aylık ve yıllık dağılımları verilmektedir.

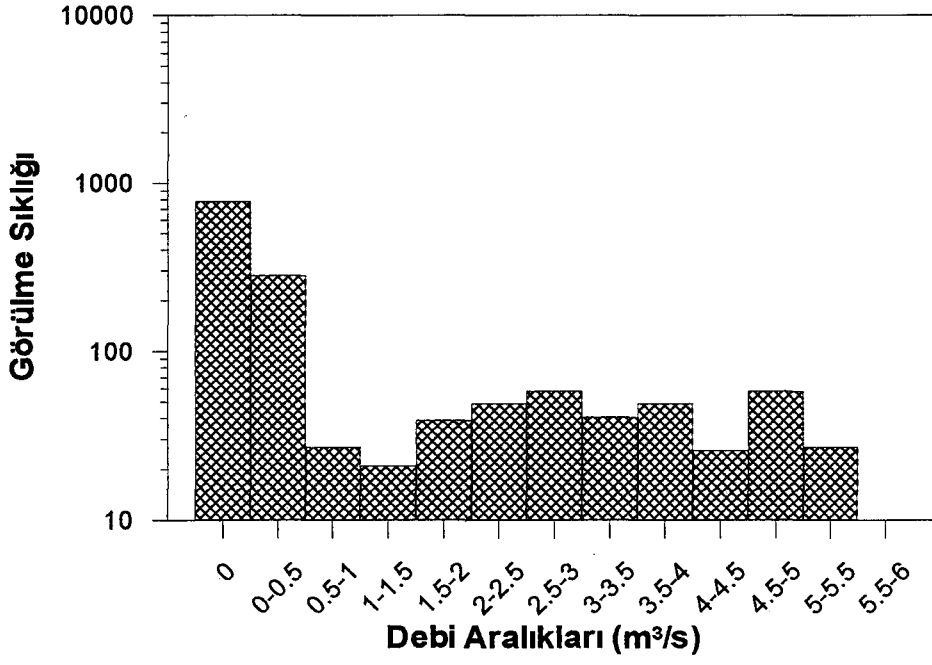
Çizelge 4.2. Hamidiye istasyonu aylık toplam akımlar

Aylar	1991 Su Yılı		1992 Su Yılı		1993 Su Yılı		1994 Su Yılı	
	Top. Akım (Mm ³)	Yüzde	Top. Akım (Mm ³)	Yüzde	Top. Akım (Mm ³)	Yüzde	Top. Akım (Mm ³)	Yüzde
Ekim	0,36	3,5	0,93	7,5	0,39	2,6	0,23	4,2
Kasım	0,53	5,2	0,94	7,6	0,65	4,3	0,43	7,9
Aralık	0,93	9,2	0,97	7,7	0,92	6,1	0,58	10,7
Ocak	0,93	9,1	1,20	9,7	1,05	6,9	0,97	18,0
Şubat	1,05	10,3	1,11	8,9	1,54	10,1	0,93	17,3
Mart	1,41	13,7	1,35	10,8	1,59	10,5	0,73	13,5
Nisan	1,00	9,9	1,20	9,7	0,91	6,0	0,62	11,6
Mayıs	0,69	6,8	1,04	8,4	4,85	32,0	0,27	4,9
Haziran	1,24	12,2	0,47	3,8	1,48	9,7	0,08	1,4
Temmuz	0,45	4,5	1,25	10,1	0,96	6,3	0,10	1,9
Ağustos	0,80	7,9	1,56	12,6	0,46	3,0	0,34	6,2
Eylül	0,79	7,7	0,39	3,2	0,38	2,5	0,13	2,4
Toplam	10,18		12,41		15,18		5,41	

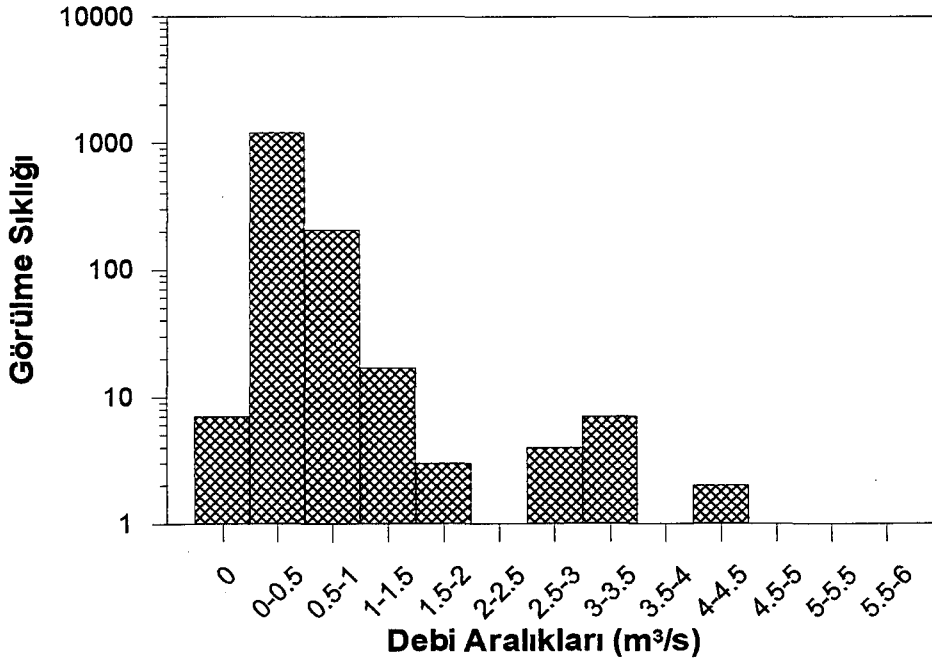
Çizelge 4.3. Sulama debilerinin aylık ve yıllık dağılımları

Aylar	1991 Su Yılı		1992 Su Yılı		1993 Su Yılı		1994 Su Yılı	
	Sulama (Mm ³)	Yüzde	Sulama (Mm ³)	Yüzde	Sulama (Mm ³)	Yüzde	Sulama (Mm ³)	Yüzde
Mayıs	5,41	28,1	8,68	32,1	1,49	5,7	1,92	12,8
Haziran	5,98	31,1	6,60	24,4	9,30	35,7	6,52	43,5
Temmuz	3,93	20,4	6,42	23,7	8,93	34,3	4,36	29,1
Ağustos	3,21	16,7	5,33	19,7	4,64	17,8	1,95	13,0
Eylül	0,71	3,7	0,00	0,0	1,71	6,6	0,26	1,7
Toplam	19,24		27,03		26,08		15,01	

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da havza girişi ve Hamidiye'de ölçülmüş bulunan günlük değerlerin frekans histogramları görülmektedir. Baraj girişi histogramında yaz ve kış aylarının farkı ortaya çıkmaktadır. Debi dağılımı çift modlu (bimodal) bir karakter taşımakta barajlarda su tutulduğu döneme ait düşük kışlık debiler ve yüksek sulama debileri açıkça birbirinden ayrılmaktadır. Hamidiye istasyonunda ise sola çarpık tek modlu (unimodal) bir dağılım gözlenmektedir.



Şekil 4.5. Havza girişinde günlük debi histogramı



Şekil 4.6. Hamidiye günlük debi histogramı

5. MODELİN UYGULANMASI

Bir su havzasının modellenmesinde seçilmesi gereken en önemli iki unsur yer ve zamandır. Bu çalışmada yer olarak Orta Seydi Suyu Havzası seçilmiştir. Yer seçim kriterleri önceki bölümde anlatılmıştır. Modellenen havzadaki süreçlerin simulasyonu için DSI'den alınan verilerin ait olduğu 1991, 1992, 1993, 1994 su yılları seçilmiştir. HSPF modeli ile, Orta Seydi Suyu Havzası'nda hidrolojik süreçlerin ve sedimentin modellenmesi için 1990 yılının Ekim ayında başlayan ve 1994 yılının Eylül ayı sonunda biten bir zaman aralığı simule edilmiştir. Simulasyon başlangıcı olarak su yılı başlangıcı olan ekim ayının seçilmesinin nedeni genellikle ılıman iklimlerde su yılı başlangıcında yer altı su seviyelerinin ve toprak neminin minimum seviyelerde olmasıdır. Böylece bu gibi başlangıç durum değişkenlerinin sayısal değerlerinin saptanması kolaylaşmaktadır.

5.1. Havzanın Fiziksel Olarak Temsil Edilmesi

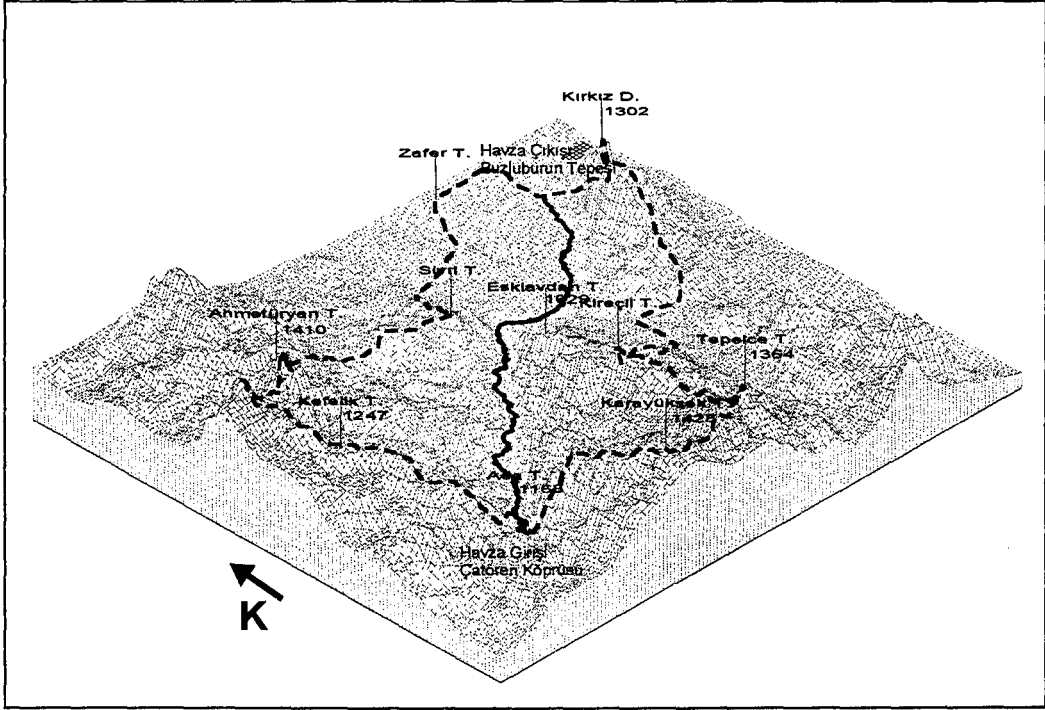
Seydi Suyu Orta Havzası'nda su çevriminin ve su kalitesinin (sediment) modellenmesi için havzanın fiziksel özelliklerinin model çatısı altında matematiksel büyüklüklerle temsil edilmesi gerekmektedir.

HSPF gibi lumped parametre modellerde modellenen havza, homojen özellikler taşıyan alt havzalara ayrılır. Her bir alt havzanın kendi içinde topoğrafik yönden önemli farklılıklar göstermemesi, nispeten homojen toprak yapısına sahip olması, bitki örtüsü ve arazi kullanımının alt havza içinde büyük farklılıklar göstermemesi istenir. Her bir alt havza kendine özgü parametre gruplarıyla modellenir. Aynı şekilde modellenen havzada akan akarsular veya bulunan durgun su kütleleri de farklı özellikleri göz önüne alınarak alt kısımlara ayrılırlar. Bu bölümde Seydi Suyu Orta Havzası'nın alt havzalara ve Seydi Suyu'nun bölümlere ayrılması süreci ele alınacaktır.

5.1.1. Havzanın alt bölümlere ayrılması

Seydi Suyu Orta Havzası'nın alt havzalara bölünmesi için önce havzanın topoğrafik yapısı belirlenmiştir. Bunun için Harita Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış bulunan 1/25000'lik haritalardan faydalanılmış, bu haritalardaki eş yükselti eğrileri sayısal hale getirilmiştir. Önce haritalar tarayıcı aracılığıyla TIFF dosyaları olarak bilgisayara kaydedilmiş, WMS (Watershed Modelling System) adlı bir program kullanılarak iki koordinat ve bu iki koordinatın belirlediği noktadaki yükseklikten oluşan üçlü veriler ASCII dosyaları şeklinde bilgisayara yüklenmiştir. Bu veriler 36 km* 32 km lik bir alan üzerinde homojen bir sıklıkla alınmıştır.

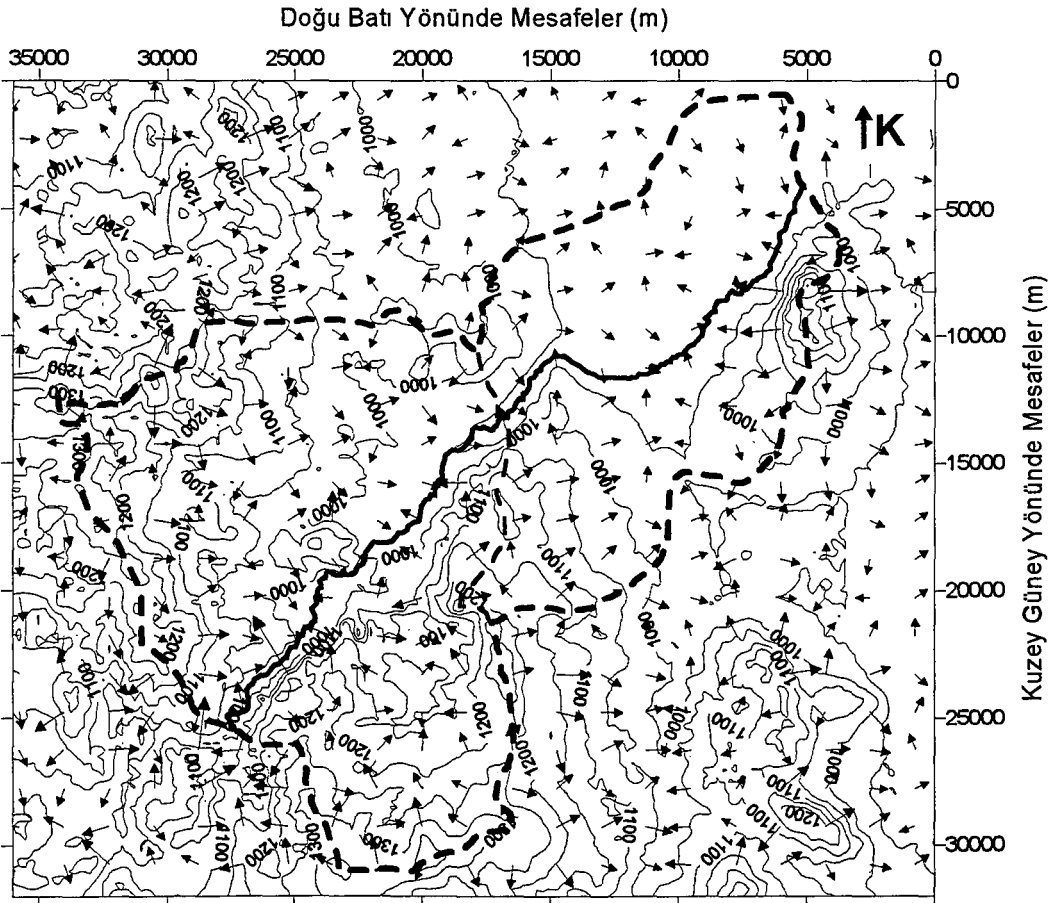
Bu veriler SURFER adlı bilgisayar programı yardımıyla işlenmiştir. SURFER programı ile ilk yapılan işlem havza ve çevresindeki arazinin üç boyutlu bir görüntüsünün elde edilmesi olmuştur (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Havzanın üç boyutlu görüntüsü

Bu görüntü ile arazinin genel topoğrafik yapısı hakkında bilgi edinilmiştir. Görüntüden anlaşılacağı gibi Seydi Suyu Orta Havzası engebeli bir memba bölümünden ve düzlüklerden oluşan bir mansab bölümünden oluşmaktadır. Bu genel yapı çerçevesinde havzanın sınırları saptanmıştır.

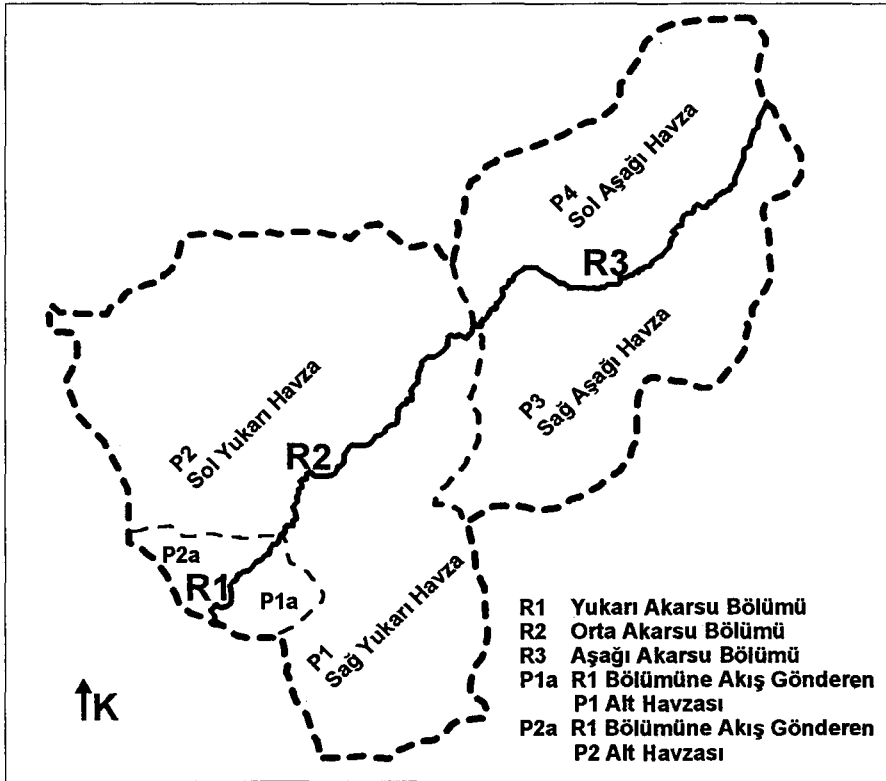
Havza sınırlarının saptanmasında, SURFER programının, bir düzlem üzerinde suyun yüzeysel akış yönünü belirleyen (bir noktadaki maksimum eğime göre) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile arazi üzerinde, Seydi Suyu'nun mecrasına ve bu mecraya katılan yan derelere doğrudan yüzeysel akış gönderen bölgeler saptanmıştır. Bu bölgeleri kapsayan alan Seydi Suyu Orta Havzası olarak belirlenmiştir. Bu belirlemede mecrayı çevreleyen tepelerin sırt çizgileri de göz önüne alınmıştır. Şekil 5.2'de SURFER programıyla elde edilen yüzeysel akış yönleri, eş yükselti ve Seydi Suyu Orta Havzası sınırları görülmektedir.



Şekil 5.2. Havza üzerindeki yüzeysel akış yönleri

Şekil 5.1'den de anlaşılacağı gibi, Seydi Suyu Orta Havzası'nın tek bir parametre setiyle modellenmesi mümkün görünmemektedir. Bu nedenle havzanın alt havzalara ayrılması gerekmektedir. Arazinin topoğrafik özellikleri (yükseklikler ve eğimler gibi) göz önüne alınarak ve arazi kullanımları da bir kriter olarak kullanılarak Seydi Suyu Orta Havzası 4 alt havzaya bölünmüştür (Şekil 5.3). Bu alt havzalar Şekil 5.4 ile Şekil 5.7'de, alt havzaların özellikleri ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.

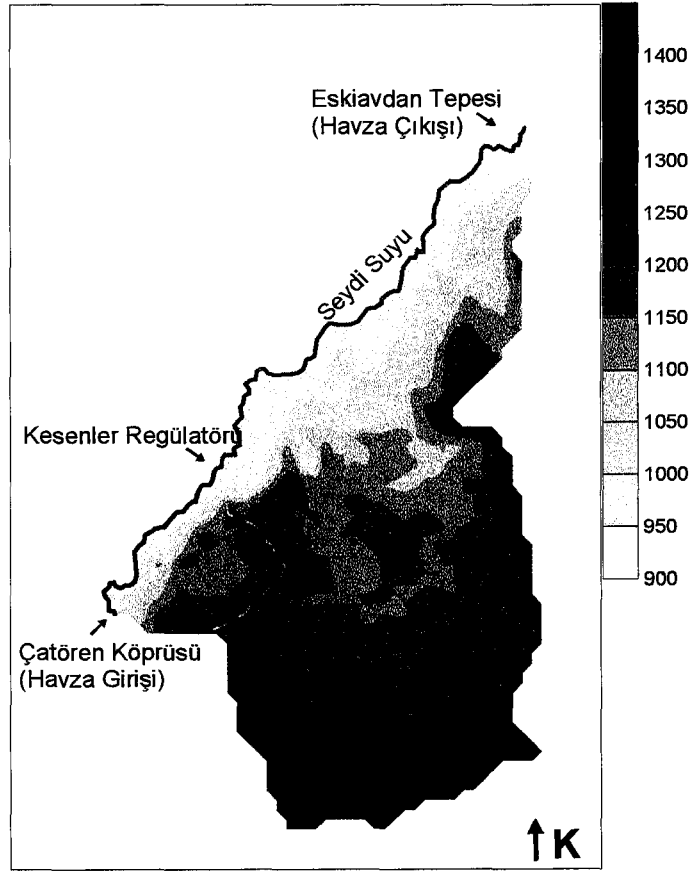
Seydi Suyu'nun menbasında bulunan ilk iki alt havza (P1 ve P2 alt havzaları) engebelidir. Seydi Suyu'nun mansabında bulunan alt havzalar ise (P3 ve P4) ise diğer alt havzalardan daha az engebeli olup düzlüklerden oluşmaktadır. Bu iki alt havzanın hemen hemen tümünü tarım alanları kaplamaktadır. P1 ve P2 alt havzalarında ormanlık ve otlaklık bölgeler mevcuttur. P1 ve P2 alt havzaları ve P3 ve P4 alt havzaları birbirlerinden Seydi Suyu ile ayrılmaktadır. P1 ve P3 alt havzaları ve P2 ve P4 alt havzaları arasındaki sınırlar yüzeysel akış haritasından (Şekil 5.2) yararlanılarak saptanmıştır.



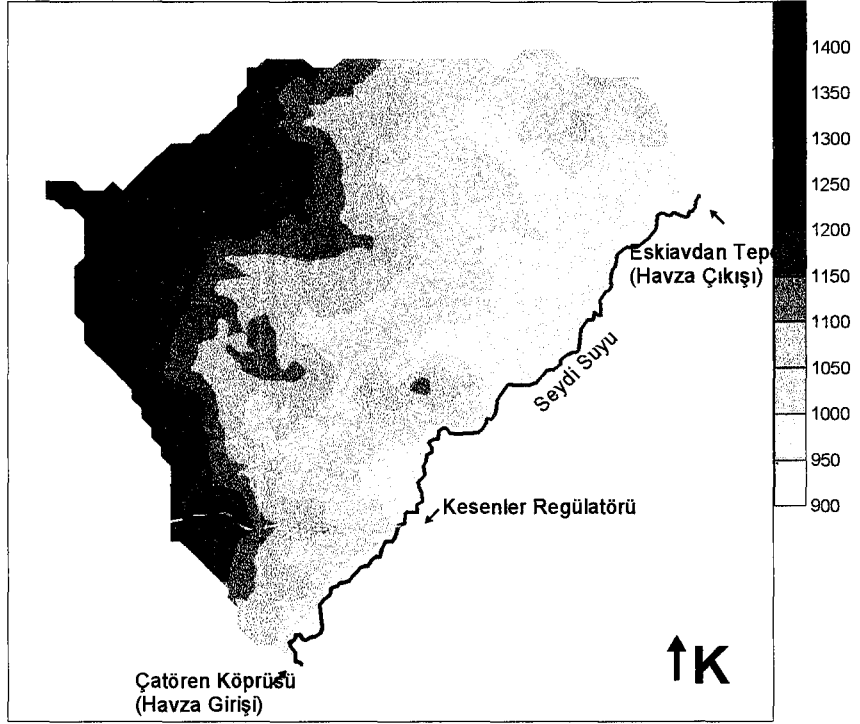
Şekil 5.3. Havzanın bölümleri

Çizelge 5.1. Alt havzaların özellikleri

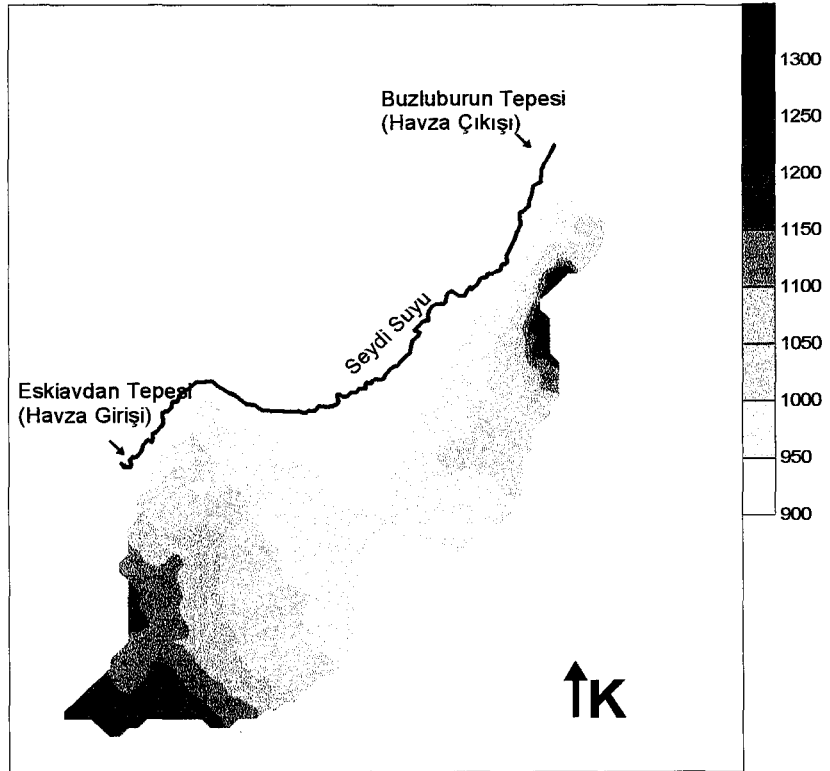
Alt havza	P1	P2	P3	P4
Özellikler	Sağ yukarı havza	Sol yukarı havza	Sağ aşağı havza	Sol aşağı havza
Yüzey alanı	100,44 km ²	147,9 km ²	89,78 km ²	76,09 km ²
En alçak nokta	925 m	939 m	914 m	909 m
En yüksek nokta	1362 m	1373 m	1251 m	1065 m
Ortalama yükseklik	1155 m	1099 m	1007 m	939 m
En düşük eğim	0,31 m/km	0,051 m/km	0,48 m/km	0,011 m/km
En yüksek eğim	428,2 m/km	230,8 m/km	355,29 m/km	128,115 m/km
Ortalama eğim	68,6 m/km	50,1 m/km	42,67 m/km	13,098 m/km



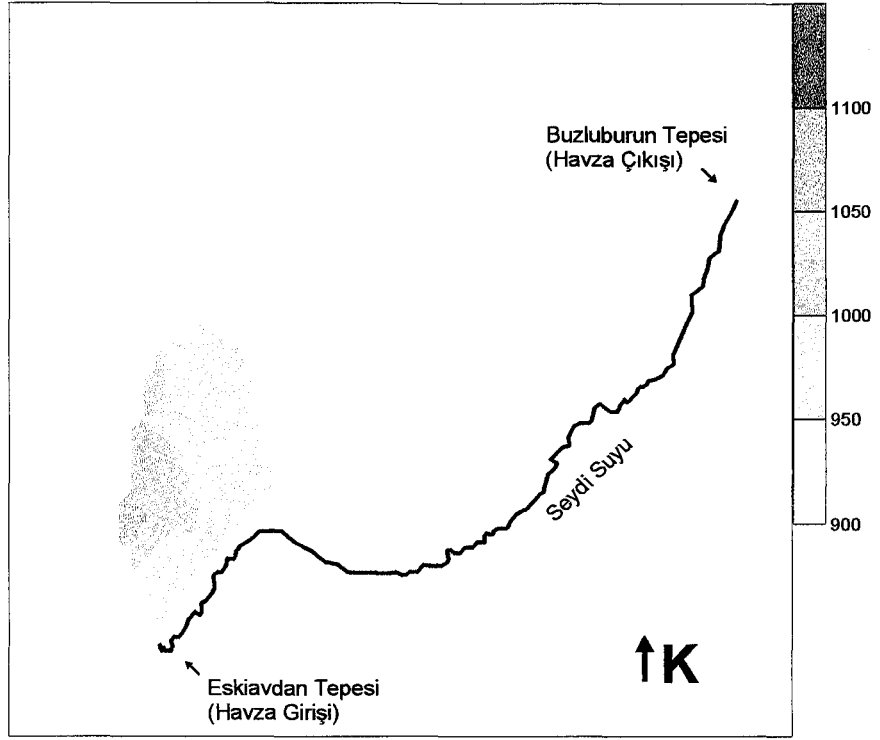
Şekil 5.4. P1 sağ yukarı havza



Şekil 5.5. P2 sol yukarı havza



Şekil 5.6. P3 sağ aşağı havza



Şekil 5.7. P4 sol aşağı havza

Bu dört alt havzada da arazi yüzeyleri hemen hemen tamamen üzerlerine düşen yağışı toprağın içine sızdırabilen bir yapıdadır. Seyitgazi gibi ilçeler ve köylerdeki sızdırmaz yüzeylere sahip yüzeyler toplam alan içinde çok önemsiz bir yere sahiptir. Aynı zamanda arazide su geçirmeyen geniş kaya yüzeyleri de mevcut değildir. Bu nedenlerden dolayı bu dört alt havzanın da bir önceki bölümde söz edilen PERLND modülleri ile temsil edilmeleri uygun görülmüştür. Alt havzalar akarsuda membadan mansaba ilerlerkenki konumlarına ve havzanın daha yüksek veya alçak kısımlarında bulunmalarına göre Sağ Yukarı Havza (P1), Sol Yukarı Havza (P2), Sağ Aşağı Havza (P3) ve Sol Aşağı Havza (P4) olarak adlandırılmışlardır.

5.1.2. Akarsuyun bölümlere ayrılması

HSPF modelinde akarsu veya göller de hidrolojik, hidrolik ve su kalitesi açısından modellenebilmektedir. Seydi Suyu Orta Havzası üzerine düşen fazla yağışı (buharlaştırma kayıpları, terleme kayıpları ve toprağın alt tabakalarına sızarak

sistemden çıkan su kayıpları çıkardıktan sonra kalan su) yüzeysel akış, ara akış veya yer altı suyu akışı şeklinde Seydi Suyu'na göndermektedir. Seydi Suyu, Seydi Suyu Orta Havzası'na Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilen noktadan (Çatören Köprüsü) girmekte, havzayı hemen hemen iki eşit parçaya bölerek Buzluburun Tepesi önünde havzadan çıkmaktadır. Havza içinde Seydi Suyu'nun üzerinde akım düzenleyici olarak Kesenler Regülatörü yer almaktadır.

Gerek taban eğimlerinin kırılma noktaları dikkate alınarak, gerek de insan yapısı engeller göz önünde bulundurularak Seydi Suyu üç alt bölüme ayrılmıştır. İlk alt bölüm Çatören Köprüsünden başlamakta ve Kesenler Regülatöründe sona ermektedir. Bu bölüm Yukarı Bölüm (R1) olarak adlandırılmıştır. Bu bölüm P1 ve P2 alt havzalarından bir kısmının fazla yağışlarını toplamaktadır. P1 ve P2 alt havzalarının R1 bölümüne su gönderen kısımları sırasıyla P1a ve P2a olarak adlandırılmıştır. P1a kısmının yüzey alanı 8,5 km², P2a kısmının yüzey alanı 9,6 km² dir. Kesenler regülatöründen Seyitgazi ilçesinin kuzeyindeki Eskiavdan Tepe mevkine kadar olan akarsu bölümü Orta Bölüm (R2)'dir. Bu bölüm P1 ve P2 alt havzalarının kalan fazla yağışlarını toplamaktadır. Eskiavdan Tepesinden havza çıkışı olan Buzluburun Tepesine kadar olan akarsu bölümü ise, P3 ve P4 alt havzalarının fazla yağışını toplayan Aşağı Bölüm (R3) dür. Bu üç bölümün özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Akarsu bölümlerinin özellikleri

Akarsu Bölümü	R1	R2	R3
Özellikler	Yukarı bölüm	Orta bölüm	Aşağı bölüm
Uzunluk	5,8 km	14,6 km	19,4 km
Ortalama eğim	0,0042 m/km	0,0022 m/km	0,0017 m/km
Toplam düşü	24 m	33m	33 m

5.2. Zaman Serilerinin Hazırlanışı

HSPF modelinin en önemli girdilerinden zaman serileri hidrolojik süreçlerin ve su kalitesi süreçlerinin ardındaki itici gücü teşkil etmektedir. Zaman serileri meteorolojik, hidrolojik veya kalite bileşeni türündendir.

HSPF modelinin kullandığı zaman serileri iki tür veri içermektedir. Noktasal değerli zaman serileri zaman içinde belli bir anda ölçülmüş bulunan bir

büyüklüğü içerirler (örneğin herhangi bir saatte ölçülmüş olan sıcaklık gibi). İki an arasındaki değerler, bu iki değer genel olarak doğrusal bir fonksiyondur. HSPF modelinin bugün kullanılan şekli, herhangi bir andaki değeri, bir önceki ve bir sonraki değerleri kullanarak interpolasyon yoluyla bulmaktadır. Ortalama değerli zaman serileri ise, herhangi bir büyüklüğün belli bir zaman periyodu içinde sahip olduğu değeri içerirler. Bir başka deyişle zaman içinde birbirini izleyen iki an arasındaki her nokta aynı değere sahiptir. Örneğin belli bir zaman dilimindeki güneş ışınması ortalama değerli bir zaman serisi olarak düşünülebilir.

Zaman serileri HSPF modeline iki şekilde girilebilir. Bunlardan birincisi, zaman serilerini, her bir andaki veya zaman dilimindeki verinin alt alta yazıldığı ASCII veri dosyaları şeklinde HSPF programına özel bir modül ile (MUTSIN) yüklemektir. İkincisi ise, zaman serilerini WDM (Watershed Data Management) dosyalarında saklamaktır. WDM dosyaları zaman serilerini sıkıştırarak saklayan, bu seriler üzerinde çeşitli işlemler yapabilen ve serileri kullanışlı bir şekilde HSPF programına aktaran yapılardır. Bu çalışmada kullanılan zaman serileri böyle bir WDM dosyasında saklanmış ve HSPF programına aktarılmıştır. WDM dosyalarının yaratılması ve kullanılması için HSPF programından ayrı, ANNIE adlı yardımcı bir program kullanılmıştır.

Bu çalışmada simülasyon aralığı bir saat olarak alınmıştır. HSPF beş dakikadan bir güne kadar simülasyon aralıklarını kabul etmektedir. En çok kullanılan simülasyon aralığı bir saattir. Daha kısa aralıklar veri eksikliği ve program çalışma süresinin aşırı uzaması nedeniyle çok küçük havzaların modellenmesi dışında pek kullanılmamaktadır. Bir saatten daha büyük aralıklar ise yeterli çözünürlüğü sağlayamaması nedeniyle tercih edilmemektedir. Bu çalışmada kullanılan zaman serileri bir saatlik simülasyon aralığına cevap verecek duruma getirilmiştir.

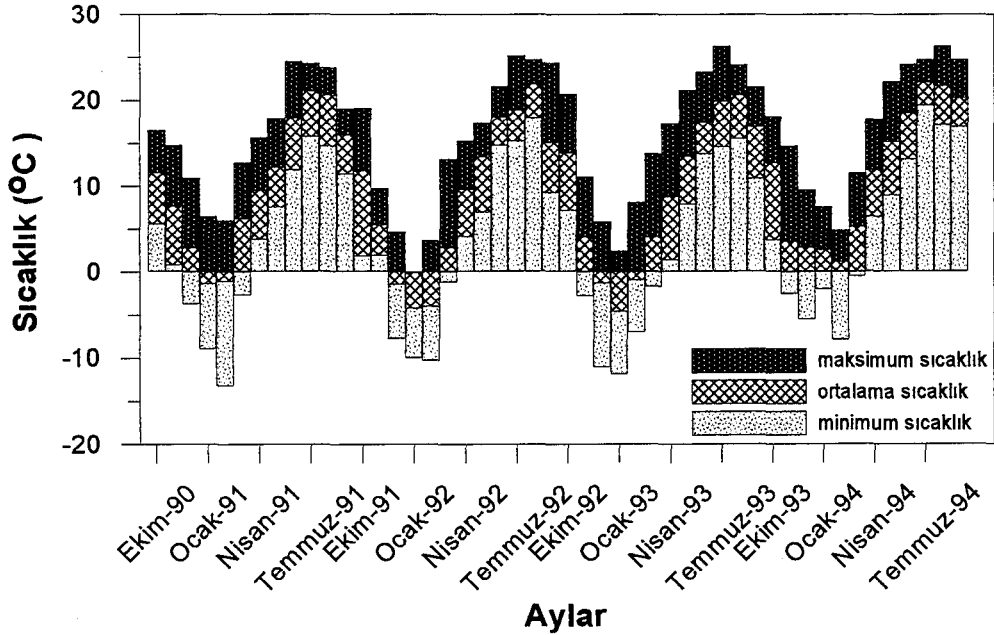
5.2.1. Meteorolojik zaman serileri

HSPF modeli bir su havzasındaki hidrolojik çevrimi modellemek için yedi adet meteorolojik zaman serisine gerek duymaktadır. Orta Seydi Suyu havzasının modellenmesi için gerek duyulan zaman serileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel

Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Modellenen havzaya en yakın meteoroloji istasyonu Eskişehir meteoroloji istasyonudur. Bu çalışmada, bu istasyondan alınan veriler kullanılmıştır. Aşağıda ham verilerin modele uygun hale getirilme süreci anlatılmaktadır.

5.2.1.1. Sıcaklık

Sıcaklık HSPF modelinde en önemli girdilerden bir tanesidir. Sıcaklık değerleri ile yağışın türü (kar veya yağmur şeklinde) belirlenmekte, kar erimesi, buharlaşma, terleme gibi süreçler modellenmekte, özellikle su kütlelerindeki kimyasal, biyolojik ve fiziksel süreçlerin hızlarının sıcaklığa bağımlılıklarının temsili mümkün olmaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Eskişehir ölçüm istasyonunda sıcaklık verileri saatlik olarak ölçülmektedir. Dört yıllık bir zaman diliminde ölçülen 35064 değer, WDM dosyasına aktarılarak kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Şekil 5.8'de aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkların simulasyon periyodu içindeki değişimleri görülmektedir. Çizelge 5.3'de simulasyon periyodu içindeki saatlik sıcaklık değerleri hakkında istatistiksel bilgiler verilmiştir.



Şekil 5.8. Ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkların aylık değişimleri

Yaz ve kış ayları arasındaki beklenen sıcaklık dalgalanmaları (yazın maksimum değerler ve kışın minimum değerler) Şekil 5.8'de açıkça görülmektedir.

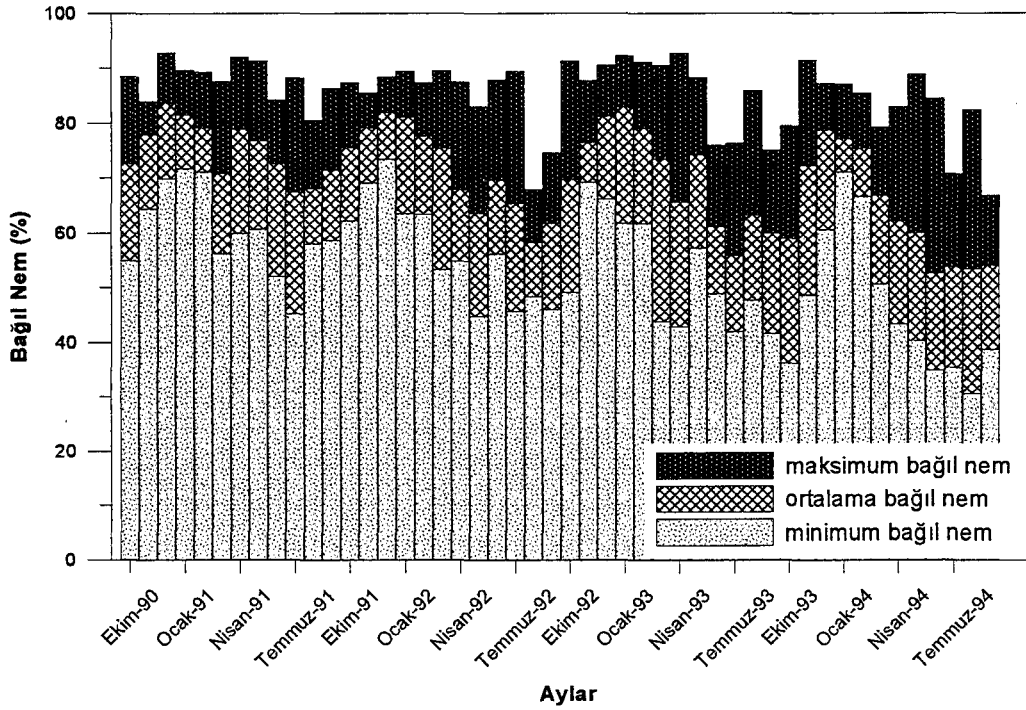
Çizelge 5.3. Saatlik sıcaklık verilerine ait bazı istatistiksel değerler

Aylar	Minimum	Maksimum	Ortalama
Ocak	-15,6	11,8	-1,9
Şubat	-17,2	15,0	-1,2
Mart	-8,6	23,6	4,6
Nisan	-6,2	27,0	9,9
Mayıs	-1,6	31,4	13,6
Haziran	3,6	33,8	18,0
Temmuz	6,0	36,6	20,5
Ağustos	7,2	37,7	21,2
Eylül	0,2	36,1	17,1
Ekim	-5,0	31,7	12,5
Kasım	-8,6	22,9	5,2
Aralık	-16,4	14,3	0,7
Genel	-17,2	37,7	10,1

5.2.1.2. Çiğ noktası sıcaklığı

Çiğ noktası sıcaklığı, havanın içerdiği su buharının bir ifadesidir. Hava, sıcaklık arttıkça daha fazla su buharı içerir. Belli bir sıcaklıkta bir hava kütesinin içerebileceği maksimum su buharı miktarına doyumluk su buharı miktarı adı verilir. Bu değer de sıcaklık ile doğru orantılıdır. Çoğu zaman hava taşıyabileceği maksimum su buharı miktarından daha az su buharı taşır. Bir hava kütesinin sıcaklığı azaldığında, hava kütesine dışardan su buharı katılmadığını veya dışarıya su buharı kaçmadığını varsayarsak, doyumluk su buharı miktarı, içerdiği su buharı miktarına doğru yaklaşır. Çiğ noktası sıcaklığı bir hava kütesinin sıcaklığı azaldığında içerdiği su buharı miktarıyla doyumluk su buharı miktarının eşitlendiği sıcaklık noktasıdır. Bir diğer değişle hava kütesi çiğ noktası sıcaklığına eriştiğinde %100 bağıl nem içerir. Bağıl nem, havanın içerdiği su buharı miktarının doyumluk su buharı miktarına oranının % olarak ifadesidir. Çiğ noktası sıcaklığı normal sıcaklığa eşit veya küçük olabilir. Aradaki fark ne kadar büyükse bağıl nem o kadar azdır.

HSPF modelinde çığ noktası sıcaklığı, kar erimesi ile buharlaşma ve terleme simulasyonunda kullanılmaktadır ve bir zaman serisi olarak modele verilmelidir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ölçüm istasyonlarında bağıl nem değerlerini ölçmektedir. Bu ölçümler günde üç defa (07:00, 14:00 ve 21:00 saatlerinde) gerçekleştirilmektedir. İlk önce bu veriler saatlik verilere çevrilmiştir. Saatlik veriler 07:00, 14:00 ve 21:00 saatlerindeki veriler kullanılarak interpolasyon yoluyla elde edilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Maksimum, minimum ve ortalama bağıl nem değerleri

Beklenildiği gibi bağıl nem değerleri yaz aylarında en düşük seviyelere ulaşmaktadır. Bunun nedeni sıcaklık yüksek olduğundan doygunluk su buharı derişiminin yüksek olması ve yazın az yağış düşmesi nedeniyle de gerçek nemin az olmasıdır.

Saatlik çığ noktası sıcaklığı, elde edilen bu saatlik bağıl nem değerleri ve saatlik hava sıcaklıkları kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Linsley ve ark. 1988).

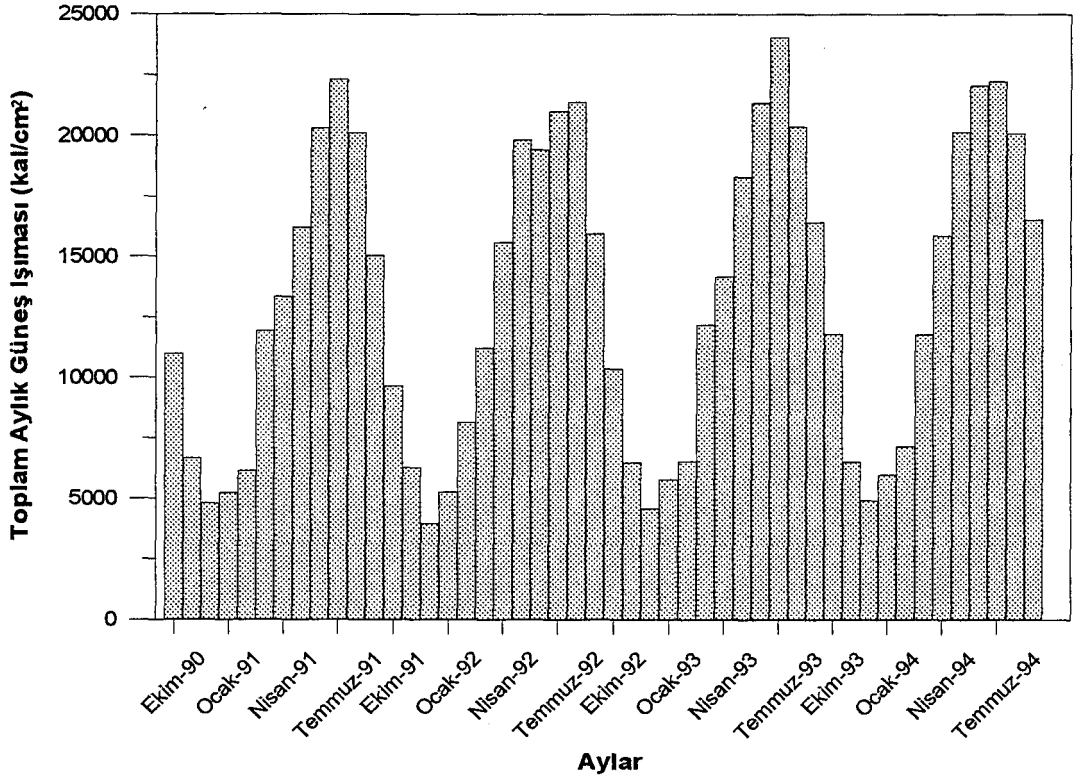
yoluyla hesaplanarak WDM dosyasına aktarılmış ve kullanıma hazır duruma getirilmiştir.

5.2.1.5. Basınç

Basınç verileri HSPF modelinde doğrudan kullanılmamaktadır. Ancak ölçülmeyip de diğer verilerden hesaplanan meteorolojik zaman serileri için basınç değerleri gereklidir. Çiğ noktası sıcaklığının, güneş ışımalarının ve potansiyel evapotranspirasyon zaman serilerinin hesaplanmasında saatlik ölçülmüş bulunan basınç değerleri kullanılmıştır. Bu değerler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden sağlanmıştır.

5.2.1.6. Güneş ışınması

HSPF modelinde güneş ışınması verileri kar örtüsünün erimesi için kullanılan ısı akısının belirlenmesinde, evapotranspirasyon miktarının hesaplanmasında, su kütlelerinin ısı bütçesinin bulunmasında ve su kütlelerindeki yosun dinamiğinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Güneş ışınması Türkiye’de meteorolojik ölçüm istasyonlarının bazılarında ölçülmektedir. Eskişehir meteoroloji istasyonunda da dönem dönem güneş ışınması ölçümleri yapılmıştır. Ancak verilerde ölçüm aletinin (pyranometer) zaman zaman bozulmasından dolayı büyük boşluklar bulunmaktadır. Bu yüzden modelde ölçüm verileri kullanılmamıştır. Yeryüzünde herhangi bir noktada güneş ışınması değeri, bu noktanın yeryüzündeki konumu, güneşin eğikliği, güneşin dünyaya olan uzaklığı, atmosferin güneş ışınlarını saçma ve yutma miktarı, atmosferdeki su buharı miktarı, bulutluluk, ışınların yüzeye çarpıp geri dönme oranı gibi faktörlere bağlı olarak Water Resources Engineers, Inc. tarafından geliştirilen denklemlerle hesaplanabilir. Bu hesaplamalar çeşitli su kalitesi modellerinde kullanılmıştır (Brown ve Barnwell 1987). Bu çalışmada Ek-3’de verilen denklemlerle saatlik güneş ışınması değerleri, ayrı bir FORTRAN programı kullanılarak hesaplanmış, bu değerlerin aylık toplamaları Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10. Toplam aylık güneş ışıması değerleri

5.2.1.7. Potansiyel evapotranspirasyon

Potansiyel evapotranspirasyon bir yeryüzü parçasından buharlaşma ve terleme yoluyla kaybedilebilecek maksimum su miktarını ifade eder. Potansiyel evapotranspirasyonda buharlaşma ve terleme yoluyla kaybedilen su miktarının kaynağının sonsuz olduğu kabul edilir. Potansiyel evapotranspirasyon değerleri hava sıcaklığı, havadaki nem, bitki örtüsü gibi unsurlara bağlıdır. Bir kara yüzeyinde ortaya çıkan gerçek evapotranspirasyon değerleri her zaman potansiyel evapotranspirasyon değerlerinden daha küçüktür. Potansiyel evapotranspirasyon değerleri HSPF modelinde her türlü buharlaşma sürecinde kullanılırlar.

Potansiyel evapotranspirasyon değerleri ölçülerek veya hesaplanarak tahmin edilebilir. Günümüze kadar çok sayıda ölçüm ve hesaplama yöntemi geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu çalışmada bu yöntemlerden Priestly ve Taylor yöntemi seçilmiştir. Bunun nedeni bu yöntemin Seyitgazi bölgesinde ölçülmüş bulunan (DSİ 1983) serbest su yüzeyi buharlaşma değerlerine en yakın değerleri vermesidir. Priestly Taylor yöntemi aşağıdaki denklemi kullanır (Dingman 1994).

$$PET = \frac{12,6 S_{Ta} S}{H_L S_{Ta} + 0,38 P} \quad (5-2)$$

$$S_{Ta} = \frac{25083}{(T + 237,3)^2} e^{\left(\frac{17,3 \cdot T}{T + 237,3}\right)} \quad (5-3)$$

$$H_L = 597,3 - 0,564 \cdot T \quad (5-4)$$

Burada; S_{Ta} , sıcaklığa bağlı bir fonksiyon (1/ derece²)

S, güneş ışınması (enerji/alan)

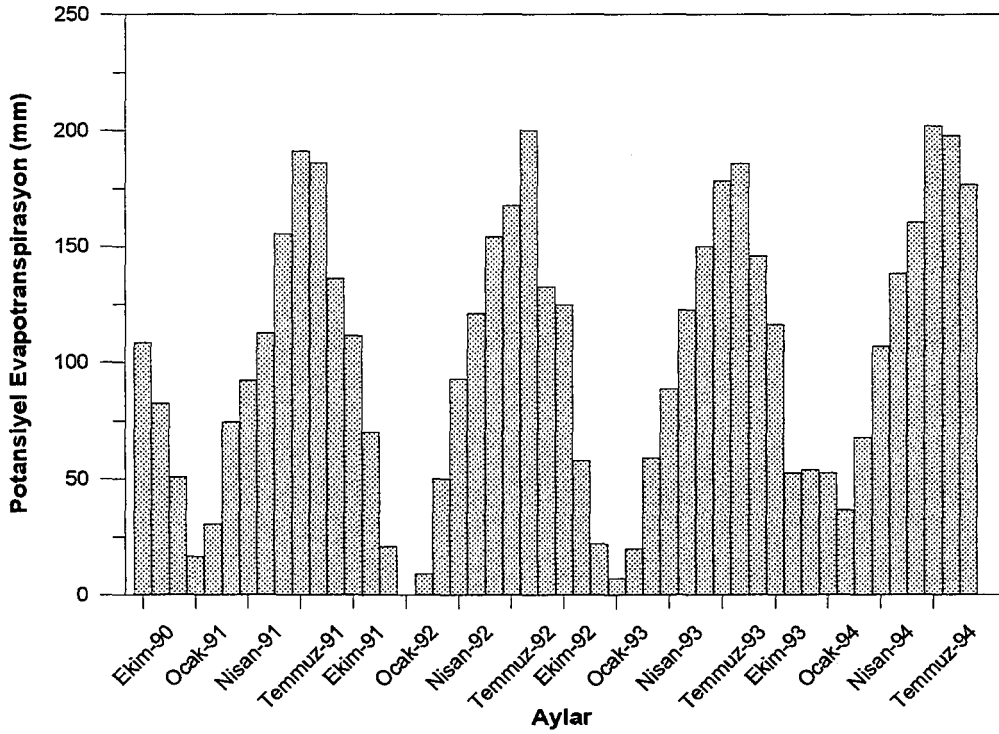
H_L , suyun buharlaşma ısısı (enerji)

T, sıcaklık (derece)

P, basınç

PET, potansiyel evapotranspirasyon (derinlik)'dir.

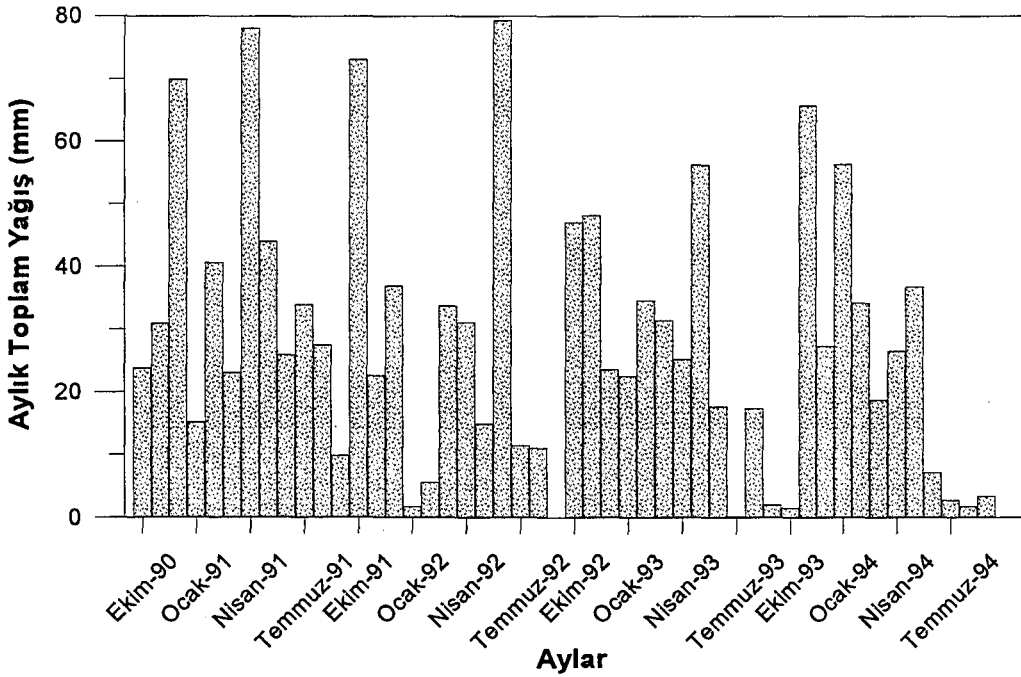
Bu denklemlerden elde edilen ve WDM dosyasına yüklenen potansiyel evapotranspirasyon değerleri Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Potansiyel evapotranspirasyon değerleri

5.2.1.8. Yağış

Hidrolojik çevrimin en önemli unsuru sudur. Bir havzadaki suyun en önemli kaynağı da yağıştır. Bir su havzasının tanımı üzerine düşen yağışı toplayarak bir akarsu ağına ileten kara parçası olduğundan yağış havzadaki su kalitesinin arkasındaki en önemli itici güç olarak karşımıza çıkmaktadır. HSPF modelinde yağış bir zaman serisi olarak programa girilmektedir. Yağışın türü (kar veya yağmur şeklinde) hava sıcaklığı zaman serileri tarafından belirlenmektedir. Orta Seydi Suyu havzasının modellenmesinde kullanılan yağış verileri Devlet Meteoroloji İşleri Eskişehir meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir. Yağış, bir gün boyunca iki tane yedi saatlik, bir tane de on saatlik zaman periyodu içerisinde (07:00-14:00, 14:00-21:00, 21:00-07:00) bir haznede biriken suyun miktarının ölçülmesiyle, kar durumunda karın su eşdeğeri olarak hesaplanır. Böylece o zaman periyodu içinde düşmüş olan toplam yağış bulunur. Bu yöntemle zaman periyodu içinde yağış şiddetinin dağılımı hakkında bir bilgi edinilememektedir. Saatlik verilere gereksinim duyulduğundan bir zaman periyodu içindeki toplam yağış o zaman periyodu içindeki saatlere eşit olarak dağıtılmıştır. Bu programda kullanılan dört yıllık yağış verileri Şekil 5.12’de sunulmuştur.



Şekil 5.12. Aylık toplam yağış

5.2.2. Hidrolojik zaman serileri

HSPF meteorolojik zaman serilerinin yanı sıra bazı hidrolojik zaman serilerine de gereksinim duymaktadır. Bunlar havzaya yan havzalardan giren yüzeysel akış, ara akış, yer altı suyu akışı ve sediment yükü gibi zaman serileri, havzaya dışarıdan giren akarsuların akış zaman serileri ve bu akarsuların taşıdığı kimyasal bileşenlerin zaman serileridir. Aynı zamanda havzadaki bir akarsudan sulama suyu temini gibi herhangi bir amaçla su çekilmesi de bir zaman serisi olarak modelde kullanılmaktadır. Orta Seydi Suyu Havzası'na yan havzalardan herhangi bir su veya sediment girişi olmamaktadır. Bu yüzden bu tür zaman serilerine bu çalışmada gerek duyulmamıştır.

5.2.2.1. Havza girişi akış zaman serisi

Orta Seydi Suyu'nun kaynaklarını başlıca iki dere (Kümbet Deresi ve Keçeliözü Deresi) oluşturmakta, bu derelerin üzerinde sırasıyla Çatören ve Kunduzlar barajları bulunmaktadır. Bu barajlardan bırakılan sular birleşerek Orta Seydi Suyu Havzası'na Çatören köprüsü mevkiinde girmektedirler. Her iki barajın çıkışında DSİ III. Bölge Müdürlüğü tarafından günlük debi ölçümleri yapılmaktadır. Bu ölçümler toplanarak havzaya giriş zaman serisi elde edilmiştir (Şekil 4.4).

5.2.2.2. Çekilen sulama suyu zaman serisi

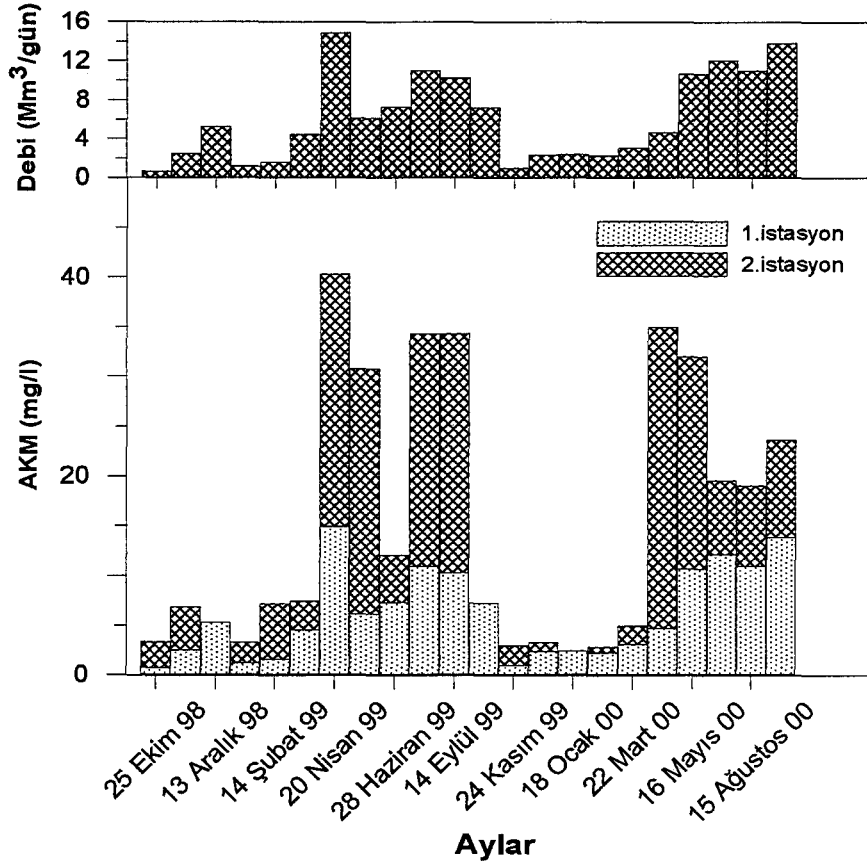
Havza içinde bulunan kesenler regülatöründen yaz ayları boyunca sulama suyu çekilmektedir. Bu veriler aylık toplam su miktarları şeklindedir. Sulamanın düzenli bir şekilde yapıldığı varsayılarak bu aylık veriler homojen bir şekilde günlere dağıtılarak günlük veriler haline getirilmiştir. Bu zaman serisi kesenler regülatöründen, dolayısıyla Seydi Suyu'ndan çekilen suyu temsil etmektedir (Çizelge 4.3).

5.2.2.3. Havza girişi akarsu sediment yükü zaman serisi

Orta Seydi Suyu Havzası'nın çıkış noktasındaki (Buzluburun Tepesi) akarsu sediment yüklerinin iki kaynağı vardır. Bunlardan birincisi havzadan erozyon yoluyla akarsuya katılan sediment ikincisi ise havzaya Çatören köprüsü mevkiinden giren Seydi Suyu'nun getirdiği sediment yüküdür. Havzanın ürettiği sediment miktarının modellenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Havzaya akarsu yoluyla giren sediment yükü bir zaman serisi olarak modele girilmiştir.

Modelleme çalışmasının zaman periyodu 1991-1994 su yıllarını kapsamaktadır. Bu dört yıl boyunca Seydi Suyu Havzası'nda havzaya giriş ve çıkış debi ölçümleri dışında (bu ölçümlerden 4. Bölümde söz edilmiştir) herhangi bir ölçüm bulunmamaktadır. Seydi Suyu Havzası'nda yürütülen ve Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen bir proje kapsamında, Orta Seydi Suyu Havzası'nın giriş ve çıkış noktalarındaki iki istasyonda debi, askıda katı madde ve su kalitesi bileşenleri ölçümleri yapılmaktadır (Albek ve ark. 2000). Bu lm sonuçlarından debi ve askıda katı madde lmleri Şekil 5.13'de verilmiştir.

Bu aylık ölçümlerden faydalanarak, akarsuyun taşıdığı sediment yükünün ve debi dağılımının, akarsu kontrollü olduğundan önemli ölçüde değişmediğini varsayarak bu askıda katı madde derişimlerinin simulasyon periyodunda da geçerli olduğu varsayılmıştır. Aylık debi ve askıda katı madde yükü arasındaki regresyondan faydalanarak her iki istasyonda da günlük sediment yükleri hesaplanmıştır. 1 numaralı istasyonda akarsu tabanının durumu ve çeşitli mevsimlerde rastlanılan düşük su seviyeleri nedeniyle debi ölçümü yapılamamıştır. Bu nedenle birinci ve ikinci ölçüm istasyonları arasında bir regresyon denklemi bulunarak birinci istasyondaki sediment yükleri tahmin edilmiştir.



Şekil 5.13. Aylara göre 1. ve 2. istasyonlardaki AKM derişimleri ve debi

Günlük ortalama akımların bilindiği bir akarsuda taşınan sediment yüklerinin hesaplanması için sediment rating eğrisi yöntemi kullanılır. Genellikle akarsularda sediment ölçümleri ayda bir veya iki defa yapılır. Bu ölçümler sırasında anlık debi ve sediment derişimi ölçülür. Akarsularda sediment yükleri ile debi arasında genellikle aşağıdaki gibi üssel bir ilişki bulunmaktadır (Ferguson 1986).

$$L = a Q^b \quad (5-5)$$

Burada; L, yükü (kütle/zaman)
 Q, debiyi (hacim/zaman)
 a ve b katsayıları temsil etmektedir.

Her iki tarafın da logaritması alınarak bu ilişki doğrusallaştırılabilir.

$$\ln L = \ln a + b \ln Q \quad (5-6)$$

Yük ve debinin logaritmaları kullanılarak doğrusal regresyon analizi yapıldığında, $\ln a$ ve b nin sayısal değerleri elde edilebilir. a nın değerini bulmak için bir geri transformasyon yapılır ($a = e^{\ln a}$). a ve b nin sayısal değerleri ve ölçülmüş bulunan günlük ortalama debiler kullanılarak Eşitlik (5-5)'e göre günlük sediment yükleri hesaplanabilir. Bu yöntem sediment yükü hesaplamalarının standart yöntemidir (Linsley ve ark.1988).

Geri transformasyon sırasında logaritmik uzaydan doğrusal uzaya geçiş yapıldığından bir hata (transformation bias) olduğu literatürde rapor edilmiştir (Ferguson 1986; Foster ve ark. 1995). Bu hata sonucunda sediment yükleri önemli ölçülerde düşük çıkabilmektedir. Bu hatanın giderilmesi için çeşitli düzeltme yöntemleri bulunmaktadır (USGS 2000). Bu çalışmada "smearing estimator" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde yük ile debi arasındaki regresyon kalıntılarından (ölçülen yükler ile regresyondan hesaplanan yükler arasındaki fark) yararlanılarak bir düzeltme faktörü hesaplanır. Yükler bu düzeltme faktörü ile çarpılır. Düzeltme faktörünün denklemi aşağıdaki gibidir:

$$D.F. = \frac{\sum_{i=1}^N e^{(\ln L_i - \ln L_i^*)}}{N} \quad (5-7)$$

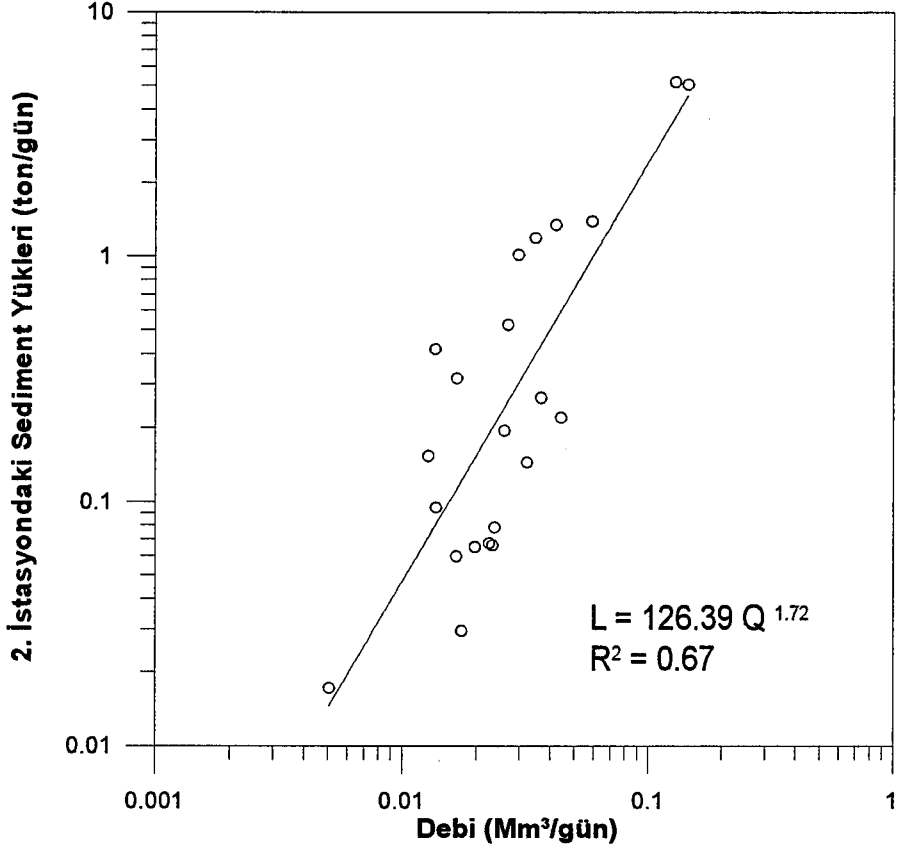
Burada; D.F., düzeltme faktörü

L , ölçülmüş sediment yükü

L^* , regresyon sonucunda bulunmuş sediment yükü

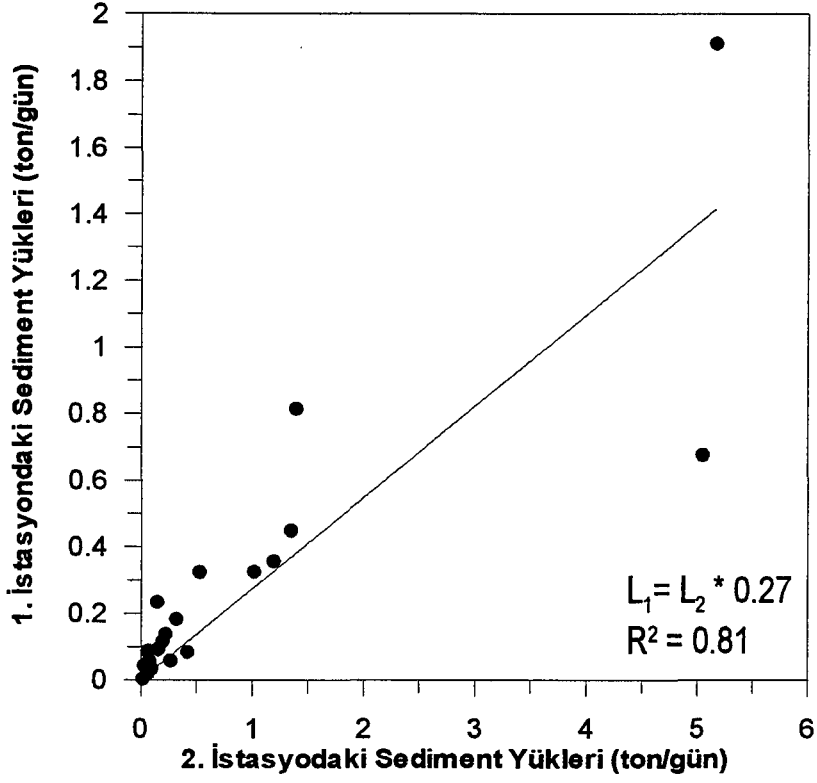
N ise regresyonda kullanılan veri sayısı'dır.

Havza girişindeki akarsuyun getirdiği sediment yüklerini hesaplamak için, önce ikinci istasyondaki debi ve sediment derişiminin çarpımından elde edilen sediment yükleri ile debi arasında bir regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu istasyondaki debi ile sediment yükleri arasındaki ilişki Şekil 5.14'te verilmiştir. Regresyon analizi sonuçları da Şekil 5.14'ün üzerinde belirtilmiştir.

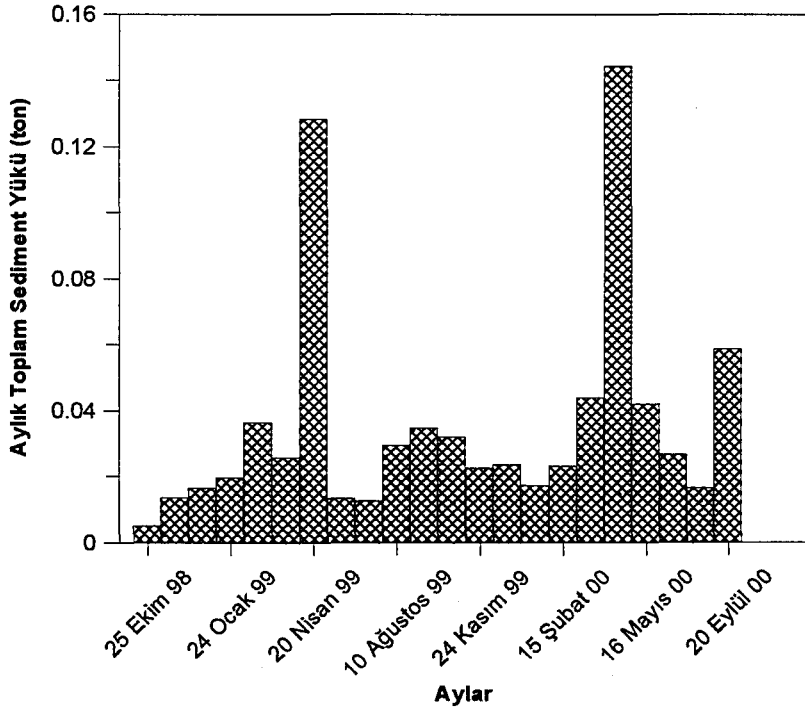


Şekil 5.14. İkinci istasyondaki sediment yükleri ve debi ilişkisi

Ölçüm periyodu içinde her iki istasyonda da benzer debi dağılımlarının mevcut olduğu varsayılarak birinci istasyon için de sediment yükleri hesaplanmıştır. Her iki istasyon arasındaki sediment yükü ilişkisi Şekil 5.15’de görülmektedir. Bu ilişkiden faydalanılarak ve havza girişindeki günlük debi ölçümleri kullanılarak havza girişinde sediment yükü zaman serisi ortaya çıkartılmıştır. Havza girişindeki aylık toplam sediment yükleri Şekil 5.16’da verilmiştir.



Şekil 5.15. İki istasyon arasındaki sediment yükleri ilişkisi



Şekil 5.16. Havza girişindeki aylık toplam sediment yükleri

5.2.2.4. Havzaya verilen sulama suyu zaman serisi

Orta Seydi Suyundan Kesenler regülatörü vasıtasıyla yaz aylarında sulama suyu çekilmektedir. Sulama suları genellikle yağmurlama yöntemiyle araziye verilmektedir. Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü'nden aylık sulama debileri temin edilmiştir. Sulama için regülatörden çekilen suyun günlük bazda fazla değişmediği varsayılarak ve yatağa bırakılan su da göz önüne alınarak, sulama suları günlük bazda dağıtılmıştır. Sulama suyu zaman serisi modelde R1 akarsu bölümünden çekilmiş, %25 olarak tahmin edilen sulama kanallarındaki kayıp çıkarıldıktan sonra yağmurlama yöntemini simule edecek şekilde havzaya dağıtılmıştır.

5.3. Parametrelerin Hesaplanması

HSPF programının çalıştırılabilmesi için gerekli parametrelerin değerlerinin bulunması oldukça uzun çalışmalar gerektirmektedir. Bu parametrelerden bazılarının kesin değerleri, ölçüm, yerinde gözlem, harita üzerinden hesaplama ya da deneysel çalışmalar gibi yöntemlerle bulunabilirken, bazı parametreleri kesin olarak bulmak mümkün olamamaktadır. Kesin olarak tahmin edilemeyen bu parametreler için literatürde yapılan çalışmalar incelenerek (Donigian ve ark. 1984), benzer sistemlerde kullanılan parametre değerlerinin modele başlangıç aşamasında verilmesi gerekmektedir. Bu yolla bulunan yaklaşık değerlerin yerine, daha sonra kalibrasyon yoluyla sisteme en iyi uyan değerler belirlenir. Modelde kullanılan bütün parametrelerin adları, kısa açıklamaları, kullanılacak maksimum ve minimum değerler ile programın atadığı tipik (default) değerler, Ek-1'de verilmiştir.

Modelde kullanılan parametrelerin tanıtımı ve sayısal değerlerinin hesaplanması aşamaları modül bazında aşağıdaki kısımlarda anlatılmıştır.

5.3.1. PERLND modülü parametreleri

Bu çalışmada PERLND modülünün ATEMP, SNOW, PWATER ve SEDMNT alt bölümleri kullanılmıştır. Bu bölümde bu parametreler hakkında bilgi verilmiş ve değerlerinin bulunması için kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur.

5.3.1.1 ATEMP alt bölümü için gerekli parametreler

ATEMP alt bölümünün gerek duyduğu parametreler sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı meteoroloji istasyonu ile havzanın ortalama yüksekliği arasındaki fark ve simulasyon başlangıcındaki havzanın ortalama hava sıcaklığıdır. Alt havzaların ortalama yükseklikleri ile ölçümleri kullanılan Eskişehir Meteoroloji istasyonu yüksekliği (801 metre) arasındaki farklar P1, P2, P3 ve P4 alt havzaları için sırasıyla 354 , 298, 206 ve 138 metredir. Havza ortalama yükseklikleri SURFER programı yardımıyla bulunmuştur. SURFER programı, belli sınırlar içindeki bir bölgenin eşit dağılmış bir ağ üzerindeki bütün noktalarının yüksekliklerini hesaba katarak ortalama yüksekliği bulmaktadır. İkinci parametre olan alt havza ortalama hava sıcaklıkları simulasyon başlangıcı olan 1 Ekim 1990 saat 01:00 da ölçülen 5,4 °C'dir.

5.3.1.2. SNOW alt bölümü için gerekli parametreler

SNOW alt bölümü 19 parametre ve başlangıç koşuluna gerek duymaktadır. Bu parametrelerden önemli bir bölümü yıllardır sürdürülen çalışmalar sonucu belirlenmiş ve bölgeden bölgeye fazla değişiklik göstermeyen fiziksel özelliklerdir. Bunlar örneğin kar yoğunluğu, yağışın kar olarak düştüğü sıcaklık, kar örtüsünü eritecek toprak sıcaklığı gibi parametrelerdir. SNOW alt bölümünde eğer havzada kar örtüsü yükseklikleri ölçülmüş ise kalibrasyon gerçekleştirilebilmektedir. Ancak kar örtüsü yükseklikleri çok özel durumlar dışında rutin meteorolojik ölçümlere dahil edilmemekte, edilse bile zaman serileri eksik olmaktadır. Bu yüzden pek çok HSPF programı kullanıcısı SNOW alt bölümünün parametrelerini

programın kullandığı tipik değerlerden seçmektedir. Bu çalışmada da SNOW alt bölümünün 12 parametresi için tipik değerler kullanılmış, diğerlerinin sayısal değerleri hesaplanmıştır.

Havzanın enlemi, haritalardan 39 derece kuzey olarak; P1, P2, P3 ve P4 alt havzalarının ortalama yükseklikleri de SURFER programı ile, sırasıyla 1155, 1099, 1007 ve 939 metre olarak bulunmuştur. SNOW alt bölümünde kar erimesinin modellenmesinde önemli bir parametre olan ve kar örtüsünü güneş ışımından koruyan bitki örtüsünün yüzdesini temsil eden SHADE parametresi için Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğünden elde edilen 1/25000'lik meşcere haritalarının yer aldığı, Seyitgazi Orman İşletme Şefliği Amenajman Planı (1993) kullanılmıştır. Bu harita ve planlardan, çalışma alanına giren meşcere bölmelerinin sınırları tek tek bulunarak, her alt havza için ormanlı saha, ormansız saha ve toplam alanlar hesaplanmıştır. Ayrıca her alt havzanın orman özellikleri de (orman yoğunluğu, ağaç tipi, kapalılık oranları gibi) ayrıntılı olarak çıkarılmıştır. Bu özellikler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Alt havzaların orman özellikleri

Kapalılık	Kapalılık Oranlarına Göre Orman Alanı Yüzdesi				Toplam %
	% 0 - % 10	% 11 - % 40	% 41 - % 70	% 71 - % 100	
Alt Havza					
Ağaç Türleri					
P1					
Meşe	16,94	0,00	0,00	0,00	16,94
Çam	3,03	4,76	5,10	8,35	21,24
Ardıç	0,39	0,00	0,00	0,00	0,39
Toplam					38,57
P2					
Meşe	19,37	5,05	3,03	2,23	29,69
Çam	0,00	0,67	0,41	0,05	1,13
Ardıç	3,07	0,00	0,00	0,00	3,07
Toplam					33,89
P3					
Meşe	7,04	0,00	0,00	0,00	7,04
Çam	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ardıç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam					7,04
P4					
Meşe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Çam	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ardıç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam					0,00

P1, P2, P3 ve P4 alt havzaları için SHADE parametreleri 0,1, 0,05, 0,0 ve 0,0 olarak hesaplanmıştır. Diğer parametreler literatürdeki sıklıkla kullanılan değerlerden alınmıştır (Donigian ve ark. 1984).

SNOW alt bölümü, simülasyon başlangıcında kar örtüsü içindeki kar, buz ve su miktarına ve ayrıca havanın açıklık (1-bulutluluk) oranına da gerek duymaktadır. Simülasyon ekim başında başlatıldığı için kar örtüsü değerleri 0, açıklık oranı ise 1 olarak programa girilmiştir.

5.3.1.3. PWATER alt bölümü için gerekli parametreler

PWATER bölümü, 6 tanesi aylık olarak değişebilme özelliğine sahip 20 parametreye ve 7 durum değişkenine ihtiyaç duymaktadır.

FOREST parametresi bir havzada kışın da yaprak dökmeyen, dolayısıyla terleme yapan bitki örtüsünün kapladığı alanın havza alanına oranını temsil etmektedir. Bu parametre her bir alt havza için önceki bölümde söz edilen orman amenajman planlarından çıkarılmıştır. FOREST parametresinin hesaplanmasında çam ve ardıç gibi iğne yapraklı ağaçlar hesaba katılmış, P1, P2, P3 ve P4 alt havzaları için 0,1, 0,05, 0,0, 0,0 değerleri bulunmuştur.

LZSN parametresi (Lower Zone Nominal Storage, alt tabaka nominal kapasitesi), yüzeyin altındaki toprak tabakası için nominal su miktarını temsil eden bir parametredir. Bu parametre alt tabakadaki gerçek toprak nemine eşit değildir. Nominal nem miktarlarının kullanımı simülasyon sürdükçe ve toprak yüzeylerine değişen miktarlarda su düştükçe, hidrolojik büyüklüklerin ani değişimlerini önlemek ve yumuşak geçişler sağlamak için kullanılmaktadır. LZSN parametresinin başlangıç değeri, başka çalışmalarda benzer sistemler için kullanılan değerlerden elde edilebileceği gibi, bir havzaya düşen yağıştan da tahmin edilebilir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda LZSN'nin başlangıç değeri için aşağıdaki bağıntının yararlı olduğu görülmüştür (Linsley ve ark.1988)

$$LZSN = 100 + 0,25 P \quad (5-8)$$

Burada; P, yıllık ortalama yağış (mm)'dir.

Seydi Suyu havzasında yıllık ortalama yağış 300 mm civarındadır. Bu değer kullanılarak LZSN'nin başlangıç değeri için 175 bulunmuştur. Gerçek LZSN değeri kalibrasyon sonucunda elde edilmektedir.

INFILT parametresi, havzadaki ortalama sızma kapasitesini temsil etmektedir ve genellikle toprak özelliklerinin bir fonksiyonudur. Sızma kapasitesi, toprak üzerine düşen yağışın ne kadarının alt tabakalara sızacağını ve ne kadarının yüzeyde depolanacağını yada yüzeysel akışa geçeceğini etkiler. Toprağın yapışkanlık ve geçirgenlik özelliklerine bağlı olarak 0,25 ile 25 mm/sa arasında değişir. Başlangıç değerlerinin tahmin edilebilmesi için genellikle Çizelge 5.5'den yararlanılır, ancak gerçek değer kalibrasyon ile bulunmalıdır.

Çizelge 5.5. Hidrolojik toprak grupları

Hidrolojik toprak grubu	Tahmini INFILT (mm/sa)	Yüzey akış potansiyeli
A	10 – 25	düşük
B	2,5 – 10	orta
C	1,25 – 2,5	orta ila yüksek arası
D	0,25 – 1,25	yüksek

LSUR ve SLSUR parametreleri sırasıyla, yüzeysel akış düzleminin uzunluğu ve eğimidir. Her iki parametre de geçirgen ve geçirgen olmayan araziler için topoğrafya haritaları kullanılarak bulunur. Yüzeysel akış düzleminin uzunluğu aşağıdaki formülle tahmin edilebilir (Linsley ve ark.1988).

$$LSUR = \frac{1}{2D} \quad (5-9)$$

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

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

Alt havzalardaki akarsu yataklarının toplam uzunluğu o havzanın içinde bulunan ana akarsu yatağının ve yan derelerin uzunluklarının toplanmasıyla bulunmuştur (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. Alt havzalardaki drenaj yoğunluğu ve LSUR parametreleri

Alt havza	Yan derelerin toplam uzunluğu (m)	Ana akarsu yatağı uzunluğu (m)	Toplam yatak uzunluğu (km)	Drenaj yoğunluğu (1/m)	LSUR (m)
P1	20800	20400	41200	$0,41*10^{-3}$	1219
P2	15900	20400	36300	$0,245*10^{-3}$	2040
P3	0	19400	19400	$0,2*10^{-3}$	2314
P4	0	19400	19400	$0,255*10^{-3}$	1961

SLSUR değerleri, SURFER programı yardımıyla çıkartılan, alt havzaların ortalama eğimlerinden yararlanılarak, 0,069, 0,050, 0,043, 0,013 olarak bulunmuştur.

Geri çekilme parametrelerinden AGWRC, yer altı suyu için IRC de, ara akış için geri çekilme hızlarını ifade eder. Bu parametreler grafiksel olarak hidrograf ayırma tekniği ile hesaplanır daha sonra kalibre edilmeleri gerekir. Bu çalışmada da bu yöntem uygulanmış, AGWRC ve IRC parametrelerinin başlangıç değerleri hidrograf yöntemi ile geri çekilme analizi yapılarak aşağıda anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır.

Tipik bir hidrografta yükselen bir kenar, tepe ve sonra tekrar azalan taraf (geri çekilme) görülür. Artan taraf genellikle artışa neden olan yağışın karakteriyle ilgilidir. Azalan bölgedeki dönüm noktası akışın kanala artık ulaşmadığını ifade eder. Azalan taraf ise suyun uzaklaşmasını gösterir. Geri çekilme eğrisi yağıştan yağışa farklılık gösterebilir, özellikle büyük havzalarda yağışın olduğu yere göre ve önceki yağışların etki süresine göre şekil değiştirebilir. Buna rağmen bu yöntem hidrolojide önemli bir araçtır.

Geri çekilme eğrisini ifade eden denklemlerden en genel kullanılanı aşağıdaki ifadede verilmiştir:

$$q_1 = q_0 K_r \quad (5-10)$$

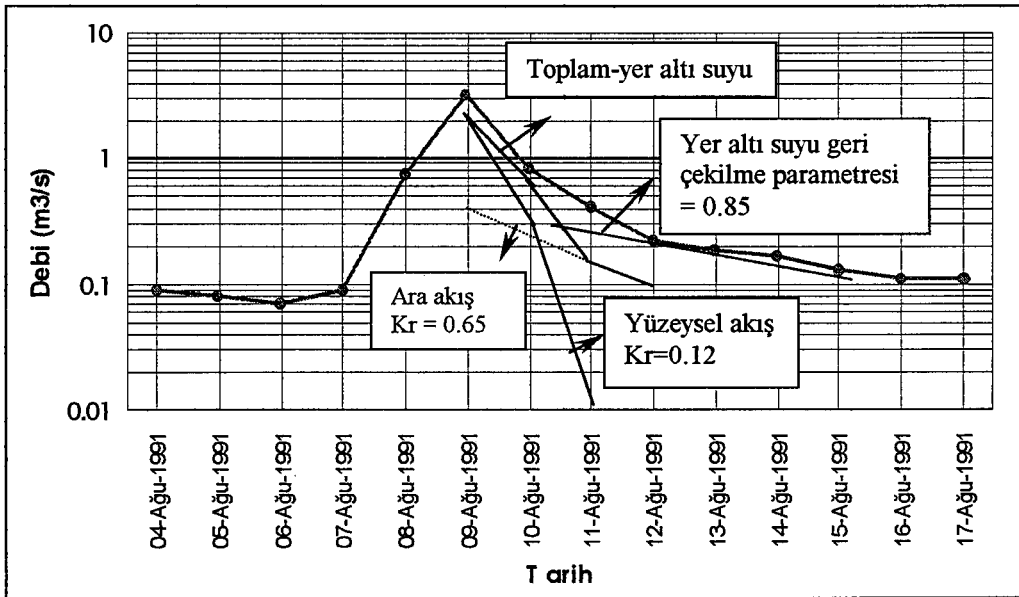
Burada; q_0 , herhangi bir zamandaki akış
 q_1 , bir sonraki akış
 K_r , geri çekilme sabiti'dir.

Daha genel anlamda bu eşitliği tekrar yazacak olursak;

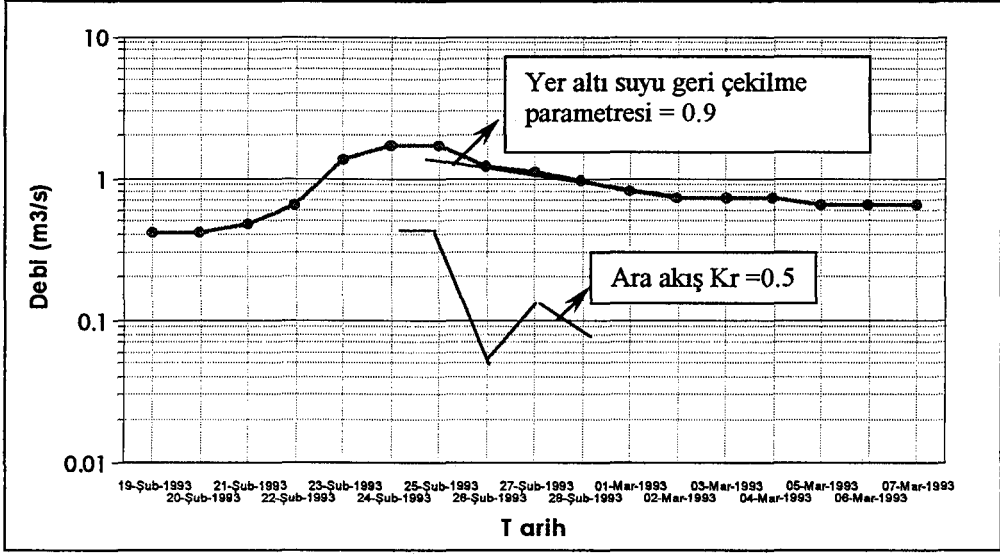
$$q_t = q_0 K_r^t = q_0 e^{-\alpha t} \quad (5-11)$$

Burada; q_t , q_0 'dan t zaman sonraki akış
 α : $-\ln K_r$ 'dir.

Zaman birimi genellikle 24 saat alınır ancak küçük havzalarda daha kısa süreler gerekli olabilir. Eşitlik (5-10), düz çizgi olarak yarı logaritmik kağıda, q logaritmik ölçekte olacak şekilde çizilir. Bir nehrin geri çekilmesi yarı logaritmik ölçekte çizilirse, sonuç genellikle düz bir çizgi olmaz. Dereceli olarak azalan eğimli bir eğri şeklinde olur, yani K_r değeri artış göstermektedir. Bunun nedeni suyun üç değişik depodan (nehir kanalı, yüzeysel ve yer altı suları) geliyor olması ve bunların değişik gecikme sürelerine sahip olmasıdır. Geri çekilme eğrisinin son kısmının eğimi, yer altı suyu için K_r değerini ifade eder. Bunun nedeni hem ara yüzey akışı, hem de yüzeysel akış çekilmiştir. Bu eğim geriye doğru uzatıldığında ve bu çizgi ile toplam hidrografın farkı yeniden çizildiğinde ara akışın geri çekilmesi elde edilir. Böylece ara akış için eğim bulunur ve bu işlem yüzeysel akış için de tekrarlanır. Bu yöntem Orta Seydi Suyu Havzası'na değişik akımlar için uygulanmış, Şekil 5.17 ve 5.18'de verilen değerler elde edilmiştir. Bu şekillerdeki çizimler, metodun kullanımının gösterilmesi amacıyla, grafik üzerinde elle hesaplamalar yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların, şekil üzerinde gösterimidir.



Şekil 5.17. Geri çekilme analizi için hidrograf gösterim metodunun logaritmik çizimi



Şekil 5.18. Geri çekilme analizi için hidrograf gösterim metodunun logaritmik çizimi

DEEPFR parametresi, derin (aktif olmayan) yer altı suyuna karışarak sistemden kaybolan yer altı suyu akışı oranını ifade eder. Bu nedenle 1.0 değeri havzadaki akarsuların yer altı suyundan beslenmesini engellemektedir. DEEPFR parametresinin sayısal değeri kalibrasyon yoluyla bulunmaktadır.

BASETP, AGWETP parametreleri sırasıyla baz akıştan (yer altı suyunun yüzeye çıktığı yerlerden) ve aktif yer altı suyu deposundan karşılanan potansiyel evapotranspirasyon miktarlarını temsil etmektedirler. Bu parametrelerin sayısal değerleri de kalibrasyon yoluyla elde edilmektedir.

Bunların dışında kalan KVARY, PETMAX, PETMIN, INFEXP ve INFILD parametrelerinin program tarafından sağlanan tipik değerleri kullanılmıştır (Bkz. Ek-1).

CEPSC, UZSN, NSUR, INTFW, IRC, LZETP parametreleri yıl boyunca aylık değişebilen sayısal değerlere sahip olabilen parametrelerdir. Bunlardan CEPSC, bitki yüzeyinde tutulmayı yani tutulma depo kapasitesini temsil etmektedir. Yağışın bir bölümü toprağa erişmeden önce bitkiler tarafından, bitki yüzeylerinde tutulur. Bu su miktarının bir bölümü bir süre geçtikten sonra yere düşer veya süzülür. Tutulan suyun geri kalanı buharlaşır. Dolayısıyla tutulma havza hidrolojik döngüsünden bir kaybı temsil etmektedir. Yoğun bitki örtüsüne sahip havzalarda tutulma yağışın önemli bir yüzdesine erişebilir. Yaprak döken ağaçların hakim

olduğu havzalarda tutulma ilkbahar ve yaz aylarında ağaçların yapraklanmasıyla artış gösterir. Tarım yapılan havzalarda da ürünün tarlada bulunduğu dönemlerde tutulma yüksek, hasattan sonra düşüktür. Su havzalarında tutulmayı hesaplamak için literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur (Dingman 1994). Dünyada değişik özelliklere sahip havzalarda yapılan çalışmaların sonuçları önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Tutulma konusunda teorik formülasyonlar bulunmamaktadır. Yalnızca belli bitki türlerinin ve örtülerinin üzerlerine düşen yağışın yüzde kaçını tuttuklarını veya kaç mm tutma kapasitesine sahip olduklarını hesaba katarak havzalardaki tutulma ile ilgili sayısal değerler elde edilmektedir. Bu çalışmada literatürde bulunan bu tür değerler kullanılarak havzaların bitki örtüsü ve kapalılık oranları göz önünde bulundurularak, tutulma kapasiteleri bulunmuştur. Yaz mevsiminde tarım yapıldığı da hesaba katılarak, bahar ve yaz aylarında daha yüksek tutulma değerleri kullanılmıştır. Tutulma değerleri kalibrasyon işlemi sırasında belli ölçüde değiştirilebilmektedir.

UZSN parametresi, yer üstünde biriken su miktarını temsil eden, LZSN parametresi gibi nominal bir parametredir. Toprağın değişik mevsimlerde tarım, bitki örtüsünün değişimi gibi nedenlerle değişik sızma kapasitelerine sahip olması nedeniyle yıl boyunca değişebilmektedir. Bu parametre yüzeyde biriken su miktarını kontrol ederek buharlaşma kayıplarını ve yüzey akış miktarlarını etkileyen bir kalibrasyon parametresidir. Bu parametre genellikle LZSN ve havza topografyası ile ilgilidir. Fakat tarım yapılan havzalarda şu esaslara göre önemli ölçüde değişmektedir: yüzey birikintilerinin düşük olduğu, eğimin yüksek olduğu az ekili yerler için $0,06 * LZSN$; ortalama yüzey birikintili, eğimli ve bitkili yerlerde $0,08 * LZSN$; yüksek yüzey birikimine sahip, düz eğimli, yoğun ekimli arazilerde $0,14 * LZSN$.

NSUR parametresi yüzeysel akış için Manning's n değerini temsil etmektedir. Manning's n değeri, suyun üzerinden aktığı yüzeyin, suyun akışına gösterdiği direncin bir ifadesidir. Pürüzlü, akışa direnç gösteren yüzeylerin değerleri daha yüksek olmaktadır. Tarım yapılan havzalarda toprak sürüldüğü ve üzerindeki bitki örtüsünün yıl boyu değişmesi nedeniyle mevsimsel değişiklikler gösterebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Manning's n değerleri toprağın kullanımı, bitki örtüsü ve mevsimsel değişiklikler göz önüne alınarak literatürden

elde edilmiştir. Literatürde Manning's n için verilen yaklaşık değerler Çizelge 5.7'de verilmiştir (Donigian ve Crawford 1976).

Çizelge 5.7. Yüzeysel özelliklerine göre Manning's n değerleri

Yüzeysel özelliği	Manning's n
Düzgün, kaplı yüzeyler	0,05
Normal yollar ve park alanları	0,10
Bozuk arazi yüzeyleri	0,15
Çim	0,25
Ağır çim ve orman döküntüsü	0,35

INTFW parametresi, ara akışa giriş parametresidir. Bu parametre akışın, ara akım bileşenini ifade eder ve genellikle akış zamanını değiştirir. INFILT ve LZSN parametreleriyle ilişkili bir kalibrasyon parametresidir.

LZETP, alt tabaka evapotranspirasyon parametresi, derin köklü bitkilerin yoğunluğunu temsil etmektedir. Açık arazilerde ve çim sahalarda 0,25, yoğun ormanlık alanlarda 0,7-0,9 arasında değerler alabilen ve bitki örtüsü durumuna göre aylık bazda değişebilen bir kalibrasyon parametresidir.

PWATER alt bölümüne ait durum değişkenleri, başlangıçtaki su depolanma koşullarıdır. Bunlardan CEPS, tutulma depolanması; SURS, yüzeysel depolanması; UZS, üst yüzeysel depolanması; IFWS, ara akım depolanması; LZS, alt tabaka depolanması; AGWS, aktif yer altı suyu depolanması parametreleridir. GWVS de bir zaman periyodu öncesine göre aktif yer altı suyuna karışma hızının bir ölçüsü olarak, yer altı suyu eğimi indeksidir. Bu parametreler başlangıç koşullarını gösteren kalibrasyon parametreleri olduklarından sadece simulasyonun ilk dönemlerinde etkili olurlar. Bu nedenle kullanılan modelin başlangıç şartlarının doğru verilebilmesi için sistem oturtulduktan sonra bu parametrelerin değerlerine bakılarak, başlangıç şartları tekrar belirlenebilir.

5.3.1.4. SEDMNT alt bölümü için gerekli parametreler

SEDMNT alt bölümü, 2 tanesi aylık değişebilen, 10 parametre ve 1 başlangıç koşuluna ihtiyaç duyar.

Bu parametrelerden ilki olan SMPF, erozyon kontrolü uygulamalarının yapıldığı alanlarda gerçekleştirilen simulasyonlarda, erozyonun azaltılması için kullanılan "erozyon önleme uygulaması faktörü" dür. Bu faktör 1 olduğunda herhangi bir erozyon kontrolü gerçekleşmemekte, değer azaldıkça o oranda erozyon kontrolü hesaba katılmaktadır. Erozyon kontrolü için gerçekleştirilen uygulamaların hangi değerde bu parametreye yansıtılacağı yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmekte, bu konuyla ilgili değerler literatürde yer almaktadır (Moore ve ark. 199; Razavian 1990 ve Donigian 1984).

KRER parametresi yağmur damlalarının etkisiyle sedimentin topraktan kopma eşitliğinin katsayısıdır ve belli bir toprak türünün erozyona yatkınlığı ile ilgilidir. KRER, toprak kaybı (Universal Soil Loss Equation, USLE) denklemindeki 'K' faktörü ile doğrudan ilgilidir (Wishchmeier ve Smith 1965). Başlangıçta KRER değeri, toprak yapısına bağlı olarak, literatürde verilen (Donigian ve Crawford 1976) çizelge ve nomogramlardan yararlanılarak bulunabilir. Ancak bu değer kalibrasyonla doğrulanması gerekmektedir.

JRER parametresi yağmur damlalarının etkisiyle sedimentin topraktan kopma eşitliğinin üssüdür ve küçük toprak parçacıklarının oluşumu için yağmurun gücü ile toprak yüzeyine aktarılan enerji arasındaki ilişkiyle ilintilidir. Literatürde başlangıç değeri, 2 ile 3 arasında verilmekle birlikte, gerçek değerinin kalibrasyonla bulunması gerektiği ifade edilmektedir (Donigian ve Crawford 1976).

Topraktan kopan sediment taşınmadığı sürece belli bir hızla yeniden toprağa yapışır. AFFIX, kopan sediment deposunun, yeniden toprağa yapışması sonucu her gün azalan miktarını ifade eden bir hız terimidir. Bu çalışmada literatürde genel olarak kullanılan değeri esas alınmıştır.

COVER, toprak yüzeyini yağmurdan kaynaklanan erozyondan koruyan kapallık oranıdır ve tarımsal havzalarda bitki örtüsünün havza alanına oranıdır. Bitki örtüsünün yıl içindeki değişimlerini yansıtması amacıyla aylık değerler alabilen bu oran, toprak kaybı denklemindeki 'C' değerinden 1 çıkarılarak bulunabilir (Wischmeier ve Smith 1965). Bunun yanı sıra orman haritalarından ve yapılan gözlemler sonucunda havzanın bitki örtüsü durumundan da tahmin edilebilir. Bu çalışmada, Orman Bölge Müdürlüğünden alınan 1/25000'lik

haritalardan edinilen bilgiler ışığında, her bir alt havza için COVER değeri bulunmuştur.

NVSI parametresi ise, atmosferden, kopan sediment deposuna giren sediment hızıdır. Bu parametrenin değeri, insan etkinlikleri ve rüzgar gibi nedenlerle sediment uzaklaşmasının yoğun olduğu durumlarda negatif olabildiği gibi, değişen atmosferik koşulların simulasyona da yansıtılabilmesi için aylık olarak da değiştirilebilir. Bu çalışmada atmosferden sediment deposuna giren sediment hızının, insan etkinlikleri ve rüzgar gibi nedenlerin yol açtığı uzaklamaya yaklaşık olarak eşit olduğu düşünülerek, programın verdiği tipik değer olan 0 kullanılmıştır.

KSER ve JSER parametreleri, kopan sedimentin yüzeysel akışla taşınması eşitliğindeki katsayısı ve üssüdür. Bu parametreler eğim, yüzey akış uzunluğu, sediment partikül boyutu ve yüzey pürüzlülüğünün (ya da yüzey akışının taşıma kapasitesinin) etkilerini tek bir kalibrasyon parametresinde birleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle bu parametrelerin değerlerinin bulunmasında kalibrasyon oldukça önemlidir. Havzanın yüzey özellikleri KSER üzerinde çok etkilidir. Bu parametrelerin başlangıç değerlerinin tahmini için fazla bir çalışma bulunmamakla birlikte, 0,01 ile 5,0 arasında değiştiği ancak bu değerlerden önemli sapmaların da olabileceği literatürde verilen bilgiler arasındadır.

KGER ve JGER parametreleri de toprağın akan suyla aşınması eşitliğindeki katsayı ve üstür. Bu parametreler akışla toprağın aşınmasını ve oluk erozyonunu simule eden kalibrasyon parametreleridir. Literatürde bu konuda fazla bir bilgi bulunmadığından değerlerinin bulunmasında kalibrasyon çok önemli bir yöntemdir.

SEDMNT alt bölümünün tek başlangıç koşulu değerini taşıyan DETS parametresi, topraktan kopan sediment deposunun başlangıç değeridir. Bu parametrenin belirlenmesi için de fazla bir bilgi bulunmamakta ve kalibrasyonla bulunması gerektiği bildirilmektedir.

5.3.2. RCHRES modülü parametreleri

Bu çalışmada RCHRES modülünde HYDR, ADCALC, HTRCH ve SEDTRN alt bölümleri kullanılmıştır. Bu bölümde bu parametreler hakkında bilgi verilmiş ve değerlerinin bulunması için kullanılan yöntemlerden söz edilmiştir.

5.3.2.1. HYDR alt bölümü için gerekli parametreler

HYDR alt bölümü için 5 parametre ve 1 başlangıç koşulu gerekmektedir. Bu parametrelerden LEN, RHRES'in uzunluğu; DELTH, RCHRES'in yukarı kısmı ile aşağı kısmı arasındaki su yüksekliği farkıdır. Bu parametrelerin hesaplanan değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Yatak sedimentinin medyan çapı olan DB50, bütün simulasyon boyunca sabit kabul edilir. DB50 parametresi, bu çalışmada, yatak sedimentinden alınan örneklerde yapılan partikül boyut analizi sonuçlarından bulunmuştur. STCOR ve KS parametreleri ise hidrolik düzeltme değerleridir bu değerler için programın öngördüğü tipik değerler kullanılmıştır. HYDR alt bölümünün başlangıç koşulu olan VOL parametresi, RCHRES'deki suyun başlangıç hacmidir. Bu parametre hesaplanırken, başlangıç döneminde ölçülen ortalama derinliklere karşılık gelen genişlikler bulunmuş, bunlar uzunlukla çarpılarak hacim elde edilmiştir.

5.3.2.2. ADCALC ve HTRCH alt bölümleri için gerekli parametreler

ADCALC alt bölümünün, herhangi bir parametreye gereksinimi bulunmamakta gerekli olan iki parametre de HYDR alt bölümü çalıştırıldığı için bu alt bölümden sağlanmaktadır. Bu nedenle bu alt bölümün sadece aktif hale getirilmesi yeterlidir.

HTRCH alt bölümünde ise gerekli olan parametrelerden, ELEV (ortalama RCHRES yüksekliği) ve ELDAT (RCHRES ile sıcaklık ölçümü yapılan istasyon arasındaki yükseklik farkı) haritalardan hesaplanmış; CFSAEX güneş ışıını düzeltme faktörü; KATRAD uzun dalga ışıını katsayısı; KCOND iletimle-ulaşım ile ısı aktarım katsayısı; KEVAP evaporasyon katsayısı gibi diğer parametreler için tipik değerler alınmıştır. HTRCH alt bölümünde başlangıç koşulların belirlenmesinde iki parametre yer almaktadır. Bunlardan TW, başlangıç su sıcaklığı; AIRTMP, başlangıç hava sıcaklığıdır. Bu parametrelerin değerleri için, başlangıç döneminde ölçülen sıcaklıklar kullanılmıştır.

5.3.2.3. SEDTRN alt bölümü için gerekli parametreler

RCHRES'teki sedimenti modelleyen bu alt bölümde, kum yükünün belirlenmesinde kullanılacak olan yöntem seçildikten sonra, 17 parametre ve 7 başlangıç koşulu gerekmektedir. Kullanılacak olan kum yükü yönteminin seçiminde, yöntemler arasında çok büyük farklar olmamakla birlikte, daha geniş bir aralıkta çalışan Toffaleti yöntemi tercih edilmiştir.

Bu alt bölümde belirlenmesi gereken genel parametrelerden BEDWID, yatak sedimentinin derinliğinin hesaplanmasında kullanılacak olan, su yüksekliği ve üst genişlikten bağımsız olarak biriken yatak sedimentinin tahmin edildiği, en kesit alanın genişliğidir. Bu parametrenin tahmininde yatak profili çıkarılması için yapılan ölçümlerden faydalanılmıştır. BEDWRN, kullanıcı tarafından belirlenen, birikim gibi yollarla aşıldığında uyarı mesajı verilecek olan yatak derinliğidir. Bu parametre için normal yatak derinliğinin üzerinde bir sayı verilmeli, simulasyonda fazla birikim yapılması durumunda bu değer aşılsa kullanıcıyı uyaracak bir değere ayarlanmalıdır. POR parametresi, yatağın derinliğinin hesaplanmasında kullanılacak olan, yatak gözenekliliğidir. Bu parametre, yatak sedimentinden alınan örneklerde partikül boyut analizi yapılarak bulunan partikül çapları kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Craig 1987).

$$POR = \frac{V_b}{V} \quad (5-12)$$

Burada; V_b , boşlukların hacmi;
 V , toprağın toplam hacmi'dir.

Bu bölümde kullanılan LEN, DELH ve DB50 parametreleri HYDR alt bölümünün aktif olmadığı durumlarda gerekmektedir. Ancak bu çalışmada bu parametreler, aktif olduğu için HYDR alt bölümünden sağlanmaktadır.

Bu alt bölümde, taşınan kum, silt ve kil özellikleriyle ilgili olarak verilen parametrelerden D, taşınan kum parçacıklarının efektif çapını ifade etmektedir. Ancak burada verilecek olan çap sadece giriş verilerinin kohesif sedimentlerle uyumlu olması içindir; programda kullanılacak olan asıl değer daha önce HYDR alt bölümünde verilmiş olan DB50 değeridir. W parametresi, bununla ilgili olarak durgun sudaki çökme hızı; RHO, kum parçacıklarının yoğunluğudur. KSAND

ve EXPSND ise, başlangıçta kullanıcı tarafından seçilen yöntem, 3 numaralı güç fonksiyonu ise bu fonksiyonda kullanılacak olan katsayı ve üstür ancak bu çalışmada bu yöntem kullanılmadığından bu parametreler kullanılmamıştır. D, W ve RHO parametreleri silt ve kil parçacıkları için de ayrı ayrı verilir. TAUCD parametresi, birikim için kritik yatak kesme kuvvetidir. Bu kuvvetin üzerinde birikim gerçekleşmez ancak kesme kuvveti bu değerden sıfıra doğru düştükçe birikim, durgun sudaki çökme hızının belirlediği ölçüde yavaş yavaş artmaya başlar. TAUCS parametresi de, aşınma için kritik yatak kesme kuvvetidir. Bu değer altında aşınma olmamakta; üzerinde ise yavaş yavaş artmaktadır. M parametresi ise, sedimentin erozyona yatkınlık katsayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada bu parametrelerin değerleri, daha önce yapılmış çalışmalar incelenerek literatürde kullanılan değerler doğrultusunda belirlenmiştir.

Askıda sediment derişimlerinin başlangıç değerlerini veren Sand, Silt ve Clay değerleri, ölçülen askıda sediment derişimlerinin başlangıç koşullarına uyarlanmasıyla elde edilmiştir. Yatak sedimentinin başlangıç oranlarını belirleyen Sand, Silt ve Clay değerleri ise, yatak sedimentinin partikül boyut analizinden bulunmuştur. Başlangıçtaki toplam yatak derinliğini veren BEDDEP parametresi, yatağın başlangıç koşullarındaki kalınlığıdır ve bu parametre yerinde yapılan ölçüm sonucunda belirlenmiştir.

6. MODELİN KALİBRASYONU VE VERİFİKASYONU

HSPF modelinin uygulanmasında kalibrasyon ve verifikasyon süreçleri çok önemlidir. Kalibrasyon, simulasyon sonuçlarıyla ölçüm değerlerinin karşılaştırılarak, model parametrelerinin geliştirilmesinde ve en uygun değerlerinin belirlenmesinde kullanılan iteratif bir yöntemdir. Topografik, mevsimsel, toprakla veya fiziksel-kimyasal özelliklerle ilgili kesin olarak belirlenemeyen parametreler için kalibrasyon gereklidir. HSPF parametrelerinin büyük bir kısmı bu kategoride değildir.

6.1. Genel Kalibrasyon Prensipleri

Kalibrasyon, parametrelere rastgele değerler verilerek uygun sonuçlar alınmaya kadar devam ettirilen bir eğri ayarlama tekniği değildir. Kalibrasyon sırasında, parametrelerin değerleri ayarlanırken, literatürde benzer sistemlerde kullanılan değerler dikkate alınmalı veya deneysel verilerden yararlanılmalıdır. Kalibrasyon, parametrelerin değişen mevsimsel, toprak ve su koşullarında geliştirilebilmesi için birkaç yıllık (en uygunu 3 ila 5 yıllık) simulasyonları kapsamalıdır. Kalibrasyonda, hem aylık hem de yıllık değerlerle, tekil yağış olayları dikkate alınmalıdır. Kalibrasyon sırasında genel olarak uygulanması gereken basamaklar sırasıyla aşağıda özetlenmiştir (Donigian ve ark. 1984):

- Öncelikle, bütün parametrelerin tek tek değerleri belirlenir ve hidrolojik kalibrasyon için program çalıştırılır.
- Aylık ve yıllık simulasyon değerleri ölçülen değerlerle karşılaştırılır.
- Ölçüm sonuçları ile simulasyon sonuçları daha iyi benzeşecek şekilde, hidrolojik kalibrasyon parametreleri ve başlangıç değerleri ayarlanır.
- Bu işlemlere tatmin edici sonuçlar alınmaya kadar devam edilir.
- Seçilen yağış hidrograflarıyla simulasyon sonuçları karşılaştırılır.
- Aylık ve yıllık akımların yanı sıra yağış olaylarının simulasyonu için de uygun sonuçlar elde edilinceye kadar kalibrasyon işlemleri devam eder.

- Sediment simulasyonu yapıyorsa sediment parametreleri için de kalibrasyon işlemini gerçekleştirilir.
- Yeterli veri varsa aylık ve yıllık sediment kaybı simulasyon sonuçlarıyla karşılaştırılır.
- Simule edilen yağış sediment grafikleri, seçilen olaylar için ölçüm değerleri ile karşılaştırılır.
- Sediment kalibrasyon parametreleri, aylık ve yıllık değerlere ve yağış sediment grafiklerine göre ayarlanır.
- Sediment için de tatmin edici sonuçlar alınıncaya kadar işlemlere devam edilir.

Bu bölümde, Bölüm 5.3'te kalibrasyon parametresi olarak belirtilen parametrelerin etkileri ayrıntılı olarak incelenerek, kalibrasyon amacıyla parametrelerde ne gibi değişikliklerin yapılması gerektiği üzerinde durulacaktır.

6.2. Hidrolojik Kalibrasyon

Hidrolojik simulasyon, havzanın fiziksel özellikleri ile gözlenen meteorolojik verileri birleştirerek, havzanın hidrolojik tepkisini simule eder. Bütün havzaların hidrolojik bileşenleri birbirlerine benzemekle birlikte, değişik kombinasyonlarda olduklarından, farklı havzalar farklı tepkiler üretirler.

Hidrolojik kalibrasyonda ilk olarak, havzadan çıkan akımların simule edilen ve ölçülen değerleri yıllık bazda dengelenir. Bu dengeleme sırasında yıllık toplam akımların tutturulması esastır. Modelden elde edilen yıllık toplam akım ile gözlenen yıllık toplam akım değerleri \pm %10 mertebesinde eşitlendikten sonra ayrıntılı kalibrasyon çalışmasına geçilmelidir (Lumb ve ark. 1994).

Gerçek buharlaşma-terlemenin büyük bir bölümü alt tabakadaki toprak neminden kaynaklandığı için, LZSN parametresinin artırılması gerçek buharlaşma-terleme miktarını arttıracak ve dolayısıyla yıllık akım miktarını düşürecektir. Aynı şekilde, simulasyon sonucunda elde edilen yıllık toplam akım, gözlem değerlerinden büyükse, LZSN parametresi düşürülerek, alt tabaka nominal deposu ve dolayısıyla buharlaşma-terleme miktarı azaltılmış olur. Bu nedenle

LZSN, yıllık su dengesinin kurulmasında çok önemli bir kalibrasyon parametresidir.

Bu çalışmada, LZSN parametresinin başlangıç değeri 175 olarak hesaplanmış, ilk iterasyonlar bu değer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak simulasyondan elde edilen yıllık toplam akımlar, gözlenen değerlerle karşılaştırıldığında, modelleme sonuçlarının gözlenen değerlerden çok daha düşük olduğu görülmüştür. Bu fark alt tabaka buharlaşma-terleme miktarının azaltılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle LZSN parametresinin değeri kademe kademe düşürülerek, uygun bir seviyeye indirilmiştir.

Gerçek buharlaşma-terleme miktarı, LZETP parametresine de aşırı derecede duyarlıdır. LZETP parametresi havzadaki derin köklü bitkilerin oranını ifade ettiği için LZETP'nin arttırılması gerçek buharlaşma-terleme miktarını da arttıracak ve dolayısıyla gerçekleşen akımı azaltacaktır. Gerçek buharlaşma-terlemenin temel bir hidrolojik bileşen olduğu havzalarda, LZETP parametresindeki çok küçük değişimler bile yıllık akımı etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada LZETP parametresi, yıllık toplam akımın kalibre edilebilmesi için ilk iterasyonlarda mevsimsel bazda değiştirilmemiş, orman miktarlarından hesaplanan değerler alt havzalara uyarlanmıştır. Ancak bahar ve yaz aylarında artan bitki örtüsü yoğunluğu, buharlaşma-terleme miktarını da arttıracığından bu parametrenin aylık bazda değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle daha sonraki iterasyonlarda da aylık değerler kullanılarak aylık bazda kalibrasyona geçilmiştir.

INFILT parametresi, daha çok mevsimsel ya da aylık akım dağılımını etkilese de, yıllık toplam su dengesi yukarıda anlatılan parametrelerle sağlanamamışsa INFILT parametresiyle ayarlama yapılabilir. INFILT, yağışı çeşitli bileşenlere dağıttığı için, bu parametrenin değeri artarsa yüzeysel akış azalır ve alt tabakalarla yeraltı suyuna su aktarımı artar. Alt tabakalarda su miktarının artmasıyla, LZSN ve LZETP parametrelerinin belirlediği ölçüde, alt tabakalardan kaynaklanan gerçek buharlaşma-terleme miktarı da artacaktır. INFILT azaltıldığı zaman genellikle gerçek buharlaşma-terleme de azalır ve yüzeysel akış artar. Yeraltı suyu bileşeni olmayan havzalarda LZSN ile birlikte INFILT parametreleri kullanılarak yıllık toplam akım dengesi kurulabilir.

Yıllık toplam akım dengesi kurulduktan sonra, akımın mevsimsel ya da aylık dağılımı, INFILT parametresi kullanılarak ayarlanmalıdır. Bu mevsimsel dağılım, gelen suyun yüzeysel akış, ara akış, üst tabaka deposu, alt tabaka ve yeraltı suyu depoları arasında dağıtılmasıyla gerçekleşir. Sürekli bir taban akışı olan yani yeraltı suyu bileşeni bulunan havzalarda, INFILT artırılınca yüzeysel akışın alt tabakalara sızma süresi kısılacığından, yüzeysel akış hemen azalacak ve yer altı suyu artacaktır. Böylelikle akış yer altı suyuna aktarıldığından, daha sonraki bir mevsimi etkilemek üzere ertelenmiş olur. INFILT ve LZSN parametreleri yer altı suyundan akış hacmini kontrol ederken, AGWRC parametresi de, yer altı suyu deposundan çıkış hızını kontrol eder.

Sürekli veya kesikli taban akımı olan havzalarda, yer altı suyundan akarsuya karışan akım, genellikle toplam nehir akımının büyük bir kısmını oluşturur. Bu havzalarda DEEPFR parametresi, derin akiferlere geçerek, havza çıkışında taban akımına karışmayan toplam yer altı suyu oranıdır.

Süreçlerin özelliklerini ve miktarlarını etkileyen başlangıç koşulları, süreçler arasındaki hidrolojik süreçlerin bir sonucudur. Bu nedenle, ilk yıl için başlangıç koşullarının seçimi çok önemlidir. UZS, LZS ve AGWS gibi başlangıç koşullarıyla ilgili parametreler, ilk kalibrasyon işletiminden sonra ulaşılan değerlere göre yeniden ele alınmalı, sonraki yıllar için elde edilen değerlere göre başlangıç koşulu belirlenmelidir. Bu çalışmada simülasyon Ekim ayı başında başlamaktadır. Başlangıç koşulu olarak parametrelere simülasyon başlangıcında sıfır değeri verilmiş, ilk kalibrasyonlardan sonra elde edilen üçüncü yıl sonu değerleri başlangıç koşulu olarak belirlenmiştir.

Yıllık ve aylık akım hacimleri için yeterli kalibrasyon yapıldıktan sonra, seçilmiş yağış olayları için hidrograflar düzeltilmelidir. Seçilmiş hidrografların, gözlenen değerlerle daha iyi uymasını sağlamak için UZSN ve INFILT parametreleri tekrar gözden geçirilir. Ancak bu aşamaya gelindiğinde, parametrelerin değerlerinde çok küçük değişiklikler yapılarak daha önce kurulmuş olan yıllık ve aylık su dengelerin bozulmamasına dikkat edilmelidir. Simülasyonunun tümü ele alındığında, kalibrasyon sırasında parametrelerin

ayarlanmaları bir süre sonra sonuçların daha iyiye gitmesini engeller. Bu noktada kalibrasyona son verilmelidir.

6.3. Sediment Erozyonu Kalibrasyonu

Hidrolojik kalibrasyondan sonra, sediment parametreleri de gözden geçirilerek, kalibre edilmelidir. Kalibrasyon süreci aynıdır; ancak bu kez sediment modellenmesinde kullanılan temel kalibrasyon parametreleri seçilip, gözlenen değerlerle modelleme sonuçlarının aynı seviyelere getirilmesi sağlanır.

Havzanın sediment erozyonunun modellenmesinde kullanılan parametrelerle ilgili, başlangıç değerlerinin zor tahmin edilebilmesi veya parametrelere verilecek değerlerin çok geniş sınırlar arasında değişmesi gibi bir takım belirsizlikler vardır. Bu belirsizlikler, hidrolojik kalibrasyon için kullanılan parametrelere göre, sediment parametrelerinin daha az çalışılmış ve bu konuyla ilgili fazla araştırma yapılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu belirsizliklerden dolayı sediment kalibrasyonu için kullanılan parametreler, olayları ayrı süreçler bazında değerlendirmek için elverişli değildir. Bunun için daha genel anlamda aylık ve hatta yıllık bazda kalibrasyon yeterli olmaktadır.

Genel olarak sediment kalibrasyonu, biriken veya oluşan sediment parçacıkları ile bu parçacıkların koparılarak taşınması (ya da yıkanması) arasında yaklaşık bir eşitlik veya denge kurulmasıdır. Bu nedenle kalibrasyon sırasında yüzeyde biriken sediment miktarında aşırı bir artış veya azalma görülmemelidir. Uzun süren kurak dönemlerde yüzeyde kirleticiler birikecek, uzun yağışlı dönemlerde ise azalacaktır fakat genel eğilim nispeten sabit kalacaktır.

Geçirgen kara parçalarının sediment kalibrasyonunda en önemli parametreler, KRER ve NVSI dir. Bu parametreler, yüzeyde sediment bulunmasını kontrol ederken, KSER ve JSER sediment taşınmasını kontrol eden parametrelerdir. KGER parametresi ise diğer parametrelerden bağımsız olarak toprağın aşınması ve oluk erozyonu ile ilgilidir. Yüksek kapalılık faktörüne (COVER) sahip olan alanlarda, NVSI ile yüzeyde günlük sediment birikimi yada uzaklaşması önem taşır. Nispeten çıplak alanlarda ise, suyun toprak parçacıklarını kopartma etkisiyle sediment üretilmesi baskın olacağından, büyük oranda KRER

parametresi etkilidir. Geçirgen saha üzerinde sedimenti dengelemek için KSER ve JSER parametreleri sediment taşınımını kontrol ederek sürekli birikim veya uzaklaşma olmasını engeller. Bu nedenle eşitliğin sağlanabilmesi için, KRER ve NVSI parametreleri ile KSER ve JSER parametreleri arasında denge kurulması gerekmektedir.

Her bir simülasyon aralığında sediment taşınımı, yüzeysel akışın taşıma kapasitesine veya taşınabilecek sediment parçacıklarının miktarına bağlıdır. Eğer taşıma kapasitesi oluşan sediment miktarından büyükse taşınım, sediment miktarına bağlıdır. Tersi söz konusu olduğunda yani sediment miktarı taşıma kapasitesinden büyük olursa, taşınım kapasiteye bağlı olur. Hangi koşulun sağlandığını görebilmek için sediment taşıma kapasitesi (STCAP) değerleri için programın çalıştırılıp çıkış değerlerine bakılması gereklidir. Bu değerler daha sonra PERLND modülünün SEDMNT bölümünden çıkartılan taşınma değerleriyle karşılaştırılır. Bu karşılaştırmadan elde edilen sonuca göre, JRER ve JSER üzerinde küçük ayarlamalarla sediment grafiğindeki yağış olaylarının şekli değiştirilebilir. Geçirgen alanlar için sediment miktarı sınırlayıcı ise, JRER parametresinin artırılması yüksek değerleri arttıracak ve düşük değerleri düşürecektir. JRER in düşürülmesi de tam tersi bir etki yapacak, simülasyon sonuçlarının değişkenliğini düşürecektir. Sediment miktarı sınırlayıcı değilse, JSER parametresi aynı etkiyi yapacaktır. JSER in yükseltilmesi değişkenliği artıracak, azaltılması düşürecektir.

HSPF modeli ARM ve NPS modellerinden farklı olarak, toprağın aşınmasını simüle eden ek bir yapıya sahiptir. Daha önceki modellerde bu yapının bulunmaması, dolayısıyla bu konuda fazla bir bilginin bulunmamasını da beraberinde getirmektedir. Matematiksel formülasyonda yüzeysel akışın üssel fonksiyonu olarak ifade edilen aşınma ile ilgili parametreler KGER ve JGER bu formüldeki katsayı ve üstür. Aşınma simülasyonunda sedimentin miktarı sınırlayıcı değildir çünkü çok büyük bir büyüklük olarak kabul edilen toprak matrisinden sıyırılma söz konusudur.

Yapılan bu çalışmada, havzanın büyük bir bölümünün yoğun bir bitki örtüsüne sahip olmaması nedeniyle NVSI, sediment üzerinde fazla bir etkiye sahip değildir. Bu nedenle, önceki bölümde de söz edildiği gibi, atmosferden

biriken sediment miktarı ile rüzgar ve insan aktiviteleriyle uzaklaşan sediment eşit kabul edilerek NVSI parametresi sıfır alınmış ve kalibrasyona dahil edilmemiştir. Bu nedenle ilk etapta sediment üretimini etkileyen KRER ve JRER ile sediment taşınımını ifade eden KSER ve JSER parametreleri kullanılarak sediment dengesi kurulmuştur. Bu aşamada pek çok defalar simulasyon tekrarlanarak STCAP (yüzeysel akışın sediment taşıma kapasitesi) ve taşınmaya uygun sediment miktarı birlikte kontrol edilerek denge kurulmaya çalışılmıştır. Daha sonra toprak yüzeyinin aşınması ve oluk erozyonunu simule eden KGER ve JGER parametreleri kullanılarak, havzanın aylık bazda kalibrasyonu tamamlanmıştır.

6.4. Sediment Taşınımının Kalibrasyonu

Yüzeysel sediment erozyonu toplam sediment olarak modellenirken, nehirdeki sediment taşınımı da RCHRES modülünün SEDTRN bölümü kullanılarak, sediment bileşenlerine (kum, silt ve kil) bağlı olarak hesaplanır. Önceki bölümde de bahsedildiği gibi kum taşınımının hesaplanması sırasında kullanılan Toffaleti veya Colby metodlarında herhangi bir kalibrasyon parametresi bulunmamaktadır. Kohesif sedimentlerin (silt ve kil) başarılı bir şekilde modellenebilmesi kalibrasyona bağlıdır. Kalibrasyonda kullanılan üç önemli parametre çökme için kritik kesme kuvveti (TAUCD); erozyon için kritik kesme kuvveti (TAUCS) ve erozyon katsayısı (M) dır. Akarsudaki sediment taşınım süreçlerinin en iyi şekilde kalibre edilebilmesi için öncelikle hidrolik kalibrasyon kullanılarak gözlenen değerlerin simulasyon değerleriyle iyi uyduğu bir dönem belirlenir. Akış ve sediment taşınımının iyi bir şekilde tanımlanabilmesi için kalibrasyon periyodunun, belirgin akış olaylarını kapsaması gerekir. Uygun bir dönem belirlendikten sonra, HSPF çalıştırılarak hesaplanan kesme kuvvetinin (TAU) günlük değerlerinin çıktıları alınır ve TAU'nun fazla miktarda askıda katı madde taşıdığı dönemlerdeki değerleri belirlenir. Daha sonra bunların ortalama gibi karakteristik bir değeri silt ve kil erozyonu için kritik kesme kuvvetinin (TAUCS) değeri olarak programa verilir. Simulasyon kayıtlarındaki düşük akımlarda ve az türbülanslı bölgelerde TAU için hesaplanan değerler incelenerek, silt ve kil için uygun TAUCD değerleri seçilir. Son olarak hidrolik açıdan iyi

örtüşen olaylar için erozyon katsayısı (M) ayarlanarak, gözlenen ve simule edilen değerler arasında, genel bir uyum sağlanır ve kalibrasyon sonlandırılır.

Kalibrasyonun hangi noktada sonlandırılacağı konusu da, modelin doğruluğunda önemli bir etkidir. Bu konu, eldeki verilerin miktarına ve güvenilirliğine, sistemin ve kullanılan modelin özelliklerine, zamana ve hatta ekonomik koşullara bağlı olarak değişebilir. Kalibrasyon çalışmalarında en önemli sınırlayıcı unsur uygun verilerin bulunamamasıdır. Kalibrasyonun niceliksel değerlendirilmesine yardımcı olacak çok az bilgi mevcuttur. Ancak HSPF gibi modellerin uygulanması sırasında edinilen tecrübelerden kalibrasyonla ilgili genel sınıflandırma çıkarılmıştır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Kalibrasyon sonuçlarının genel olarak sınıflandırılması

Bölüm	Kalibrasyon sonuçları (%)		
	Çok iyi	İyi	Vasat
Hidroloji / Hidrolik	< 10	10 – 15	15 – 25
Sediment	< 15	15 – 25	25 – 35
Su kalitesi	< 20	20 – 30	30 – 40

Çizelge 6.1’de verilen yüzdeler büyük bir çoğunlukla yıllık ve aylık değerlere uygulanır. Tek tek olaylar bazında incelendiğinde, genel kalibrasyon üzerindeki etkisi az olduğu halde, pek çok nedenden dolayı daha büyük sapmalar görülebilir.

Literatürde senelik veriler için ayrı kalibrasyon yapıldığı ve her sene için ayrı parametreler kullanılarak sistemin farklı durumlar için farklı şekilde ifade edildiği durumlar da vardır (Jacomino ve Fields 1997). Ancak bu tür bir uygulamaya bütün sistem için geçerli olamayacağından bu çalışmada böyle bir uygulamaya gerek duyulmamıştır.

6.5. Verifikasyon

Verifikasyon, kalibrasyon sonucunda elde edilen parametre ve başlangıç koşulları kullanılarak, değişik bir veri setiyle programın çalıştırılması ve böylelikle modelin doğruluğunun sınanması sürecidir.

Model verifikasyonu gerçek anlamda kalibrasyon sürecinin uzantısıdır. Burada amaç belli bir veri setiyle ayarlanmış olan modelin, değişik veriler için de geçerli olup olmadığının test edilerek, modelin doğrulanmasıdır. Bu aşamada genellikle uygulanan yaklaşım, belli bir veri setinin bir bölümünün kalibrasyon için kullanılması, daha sonra geri kalan verilerle modelin tekrar değerlendirilerek, verifikasyonunun yapılmasıdır. Bu tür veri-ayırma kalibrasyon/verifikasyon yaklaşımı en çok tavsiye edilen yöntemdir (Thomann 1982). Ancak, veri eksikliğinin bulunduğu zaten az olan verinin yarısının verifikasyon için ayrılmasının mümkün olamadığı durumlarda, tüm verilerin kalibrasyon için kullanılıp, gerçekçi bir kalibrasyon yapılması daha uygundur. Modelin genel güvenilirliği, farklı kullanıcılar tarafından, değişik havzalarda ve değişik veri setleriyle yapılan çalışmalarda elde edilen uygun sonuçlar çerçevesinde değerlendirilir.

Verifikasyon sonuçları, kantitatif ölçümlere dayandırılmalı, gözlenen veriler ve simulasyondan çıkan sonuçlar karşılaştırılarak rapor edilmelidir. Bu karşılaştırma, akım hacimleri, kirletici yükleri, hidrograflar ve kirletici hidrografları üzerinde yapılabilir. Noktasal korelasyonlar her zaman için geçerli olmayabilir. Yaygın kaynak kirliliğinde, kütle yüklerinin karşılaştırılması konsantrasyonların karşılaştırılmalarına göre daha gerçekçidir.

Bu çalışmada, 1990 ile 1993 yılları arasındaki veriler kalibrasyon için kullanılmış, son bir senelik veri de (1994) verifikasyona ayrılmıştır.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Orta Seydi Suyu Havzası'na uyarlanan HSPF modelinden iki tür sonuç elde edilmiştir. Bunlardan birincisi, baz simulasyon adı verilen ve simulasyon süresi içinde (1991-1994 su yılları) kalibrasyona tabi tutulan ve verifiye edilen simulasyon sonuçlarıdır. Bu simulasyon, sistemin bu dönem içinde geçerli olan meteorolojik koşullar, girdiler ve hesaplamalar ile kalibrasyonla bulunan parametrelerle elde edilen sonuçları içermektedir. Bir diğer değişle sistemin 1991-1994 su yılları arasındaki davranışdır. İkinci tür sonuçlar ise değişik senaryolar üretilerek gerçekleştirilen simulasyonlardan elde edilen sonuçlardır. Senaryo simulasyonlarında meteorolojik girdiler veya bazı parametreler senaryo içeriğine göre değiştirilir ve sistemin tepkisi baz simulasyonla karşılaştırılarak değerlendirilir.

7.1. Hidrolojik Simulasyon

Hidrolojik simulasyon daha önce de belirtildiği gibi 1991-1994 su yıllarını kapsayacak şekilde, bu dönemlere ait meteorolojik ve hidrolojik zaman serileri kullanılarak oluşturulmuştur. Model parametrelerinin çoğu 5. Bölümde anlatıldığı gibi hesaplanmış, kalibrasyon parametreleri için başlangıç değerleri saptanmıştır. HSPF modelinde parametrelerin ve zaman serilerinin modele verilmesi bir girdi dosyası ile gerçekleşmektedir. Bu girdi dosyası UCI (User's Control Input, Kullanıcı Kontrollü Giriş) dosyası olarak adlandırılmaktadır. Bu dosya üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde modüllerde gerçekleşen simulasyonun işlem sırası verilmekte, ikinci bölümde model parametreleri girilmekte, üçüncü bölümde ise, zaman serileri ve bu zaman serilerinin modüller arasında iletimi yer almaktadır. Hazırlanan UCI dosyası Ek-2'de verilmiştir. Daha sonra 1991-1993 su yılları arasındaki dönem için kalibrasyon gerçekleştirilmiş, bu kalibrasyonla elde edilen parametrelerle model 1994 su yılı için sınanmıştır.

7.1.1. Hidrolojik baz simulasyon

Hidrolojik baz simulasyon ile elde edilen sonuçlardan ilk olarak incelenmesi gereken havza bazında su dengesinin kurulmasıdır. Havzada gerçekleşen su girdilerini ve çıktılarını dengeleyen eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$YAĞIŞ + AKARSU GİRİŞİ = AKARSU ÇIKIŞI + TERLEME ve BUHARLAŞMA + DERİN AKİFERE SIZMA \quad (7-1)$$

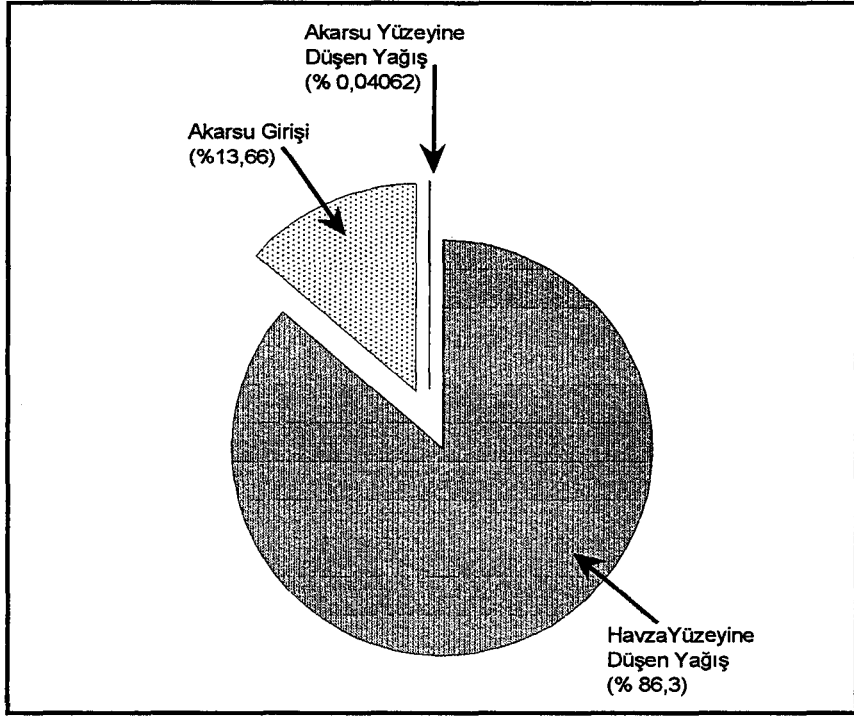
Burada *YAĞIŞ* karasal havzalar üzerine düşen yağış ve akarsu yüzeyine düşen yağış olarak iki bileşenden oluşmaktadır. Ancak ikinci bileşen diğerine göre çok düşüktür. Havzaya düşen yağış, yağış yüksekliğinin havza alanı ile çarpılmasından elde edilmektedir. Akarsu üzerine düşen yağış ise UCI dosyası ile programa girilmiş olan F Tabloları ile belirlenen akarsu yüzey alanının yağış yüksekliği ile çarpımından elde edilmektedir. Aynı şekilde *TERLEME* ve *BUHARLAŞMA* da havzalardan buharlaşma ve terleme ile akarsu yüzeyinden buharlaşma olarak iki bileşene sahiptir. *AKARSU GİRİŞİ* Çatören Köprüsünden giren suyu, *AKARSU ÇIKIŞI* da Buzluburun Tepesinden çıkan suyu temsil etmektedir. *AKARSU GİRİŞİ* ile ifade edilen değerden akarsu tabanından sızma kayıpları, sulama kanallarındaki buharlaşma kayıpları ve kayıtlara girmeyen su çekişleri çıkartılmıştır. Herhangi bir su kaynağından sulama için çekilen suyun bir bölümü, özellikle üstü açık su kanallarında yolda buharlaşma ile kaybolmaktadır. Aynı zamanda sulama yöntemine bağlı olarak buharlaşma kayıpları da gerçekleşmektedir. Seydi Suyu Havzası'nda buharlaşma ile çok su kaybına yol açan fiskiye ile yağmurlama sulama yapılmaktadır. Literatürde sulama kayıplarının %10 ile %40 arasında değiştiği belirtilmektedir (Linsley ve ark. 1992). Bu çalışmada sulama kayıpları %25 olarak alınmıştır. Akarsu tabanından, yer altı suyu tabakasının alçak olduğu yaz aylarında alt tabakalara su sızmaktadır. DSİ yetkilileriyle yapılan görüşmelerden elde edinilen bilgiler ışığında bu kayıpların akarsu debisine göre %25 mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir. *DERİN AKİFERE SIZMA* alt tabakalardan aktif olmayan akiferlere sızan suyu, bir diğer değişle sisteme geri dönemeyen suyu temsil etmektedir. Seydi Suyu

Havzası'nı da kapsayan Yukarı Sakarya yaylalarından alt tabakalara sızan suyun Akşehir havzasını beslediği bilinmektedir (Saraçoğlu 1990). Eşitlik (7-1)'in sol tarafındaki büyüklükler programa zaman serileri olarak girilmektedir. Sağ tarafındaki büyüklükler ise, model tarafından hesaplanmaktadır. Bir başka deyişle Eşitlik (7-1) veya su dengesi model girdileri ve çıktıları arasında bir denge kurulmasını içermektedir.

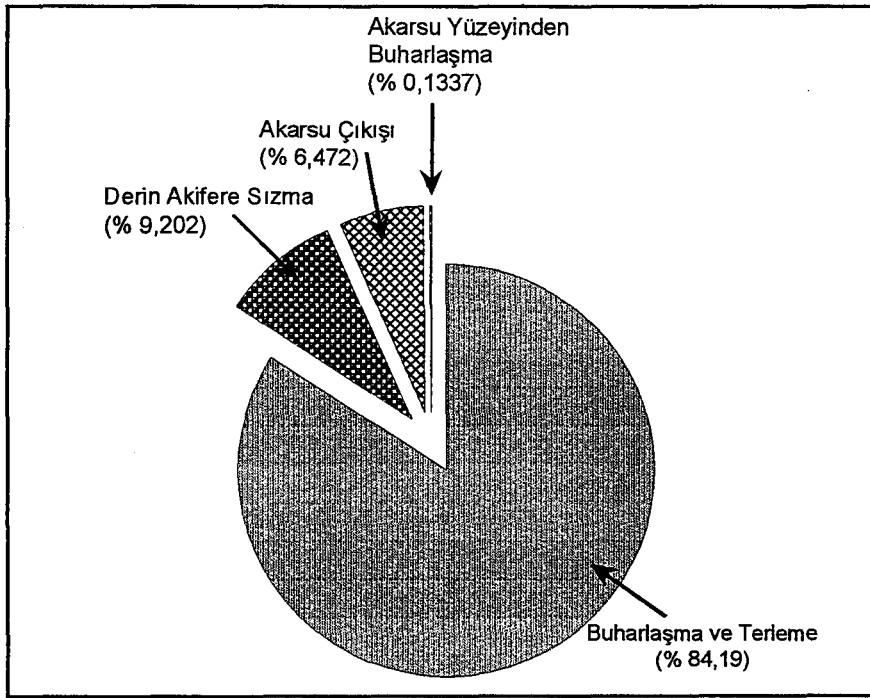
Baz simulasyon sonucunda model girdileri ve çıktıları arasında %98 mertebesinde uyum sağlanmıştır. Yıl bazında su dengesi sonuçları Çizelge 7.1, toplam simulasyon periyodu bazında model girdileri ve çıktılarının bileşenlere dağılımı da Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Su dengesinin bileşenleri

	1991	1992	1993	1994	Toplam
Girdiler (Mm³)					
Havzaya yağış	175,25	133,38	135,25	116,91	560,80
Akarsuya yağış	0,09	0,08	0,07	0,03	0,26
Akarsu girişi	22,44	27,25	26,30	12,79	88,78
Çıktılar (Mm³)					
Buharlaşma ve terleme	166,78	142,94	135,80	114,21	559,72
Derin akifere sızma	18,39	11,32	16,82	14,64	61,18
Akarsu çıkışı	12,59	11,70	13,62	5,12	43,03
Akarsudan buharlaşma	0,27	0,23	0,24	0,16	0,89



Şekil 7.1. Model girdilerinin dağılımı



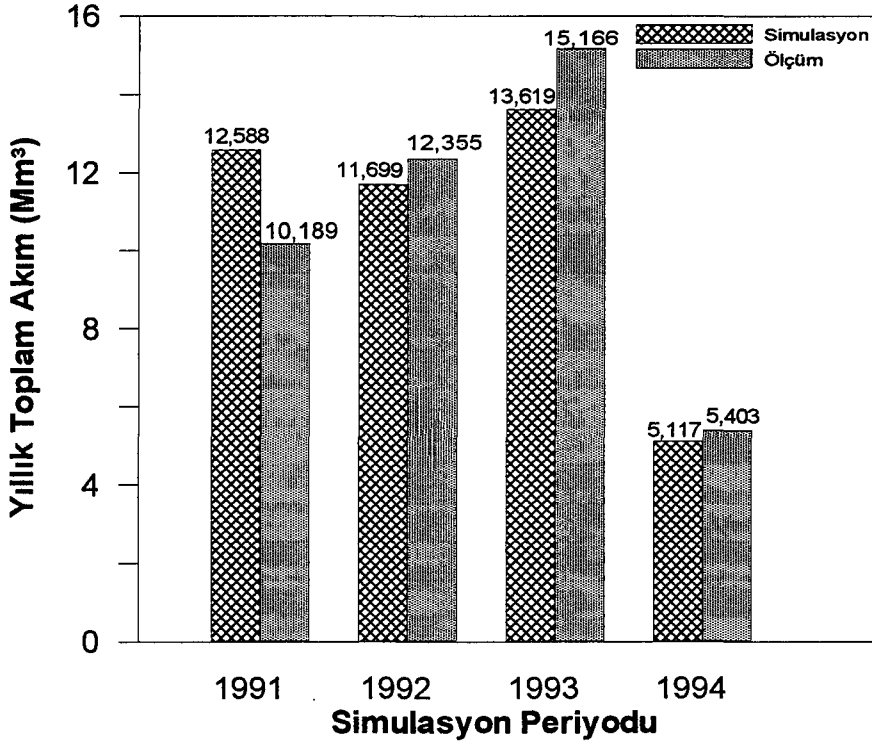
Şekil 7.2. Model çıktılarının dağılımı

Girdi ve çıktı grafiklerinden de görüleceği gibi, yağış ile buharlaşma ve terleme havza su dengesinde en önemli yeri kaplamaktadır ve büyük ölçüde birbirlerini dengelemektedirler. Hatta 1992 ve 1993 su yıllarında yağış buharlaşma ve terlemeden daha düşüktür. Bu iki yıldaki fazlalık sulama nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

Havzaya giren Seydi Suyu, %65 oranında suyunu kaybetmektedir. Bu suyun bir kısmı sulama için çekilmekte, geri kalanı yeraltına sızmaktadır. Akarsudaki bu su azalması bütün bir yıl aynı seviyede olmamaktadır. Kış aylarında havzanın yağışın bir bölümünü akarsuya iletmesi ile akarsu çıkışı girişinden fazla olmaktadır. Yaz aylarında bu durum tersine dönmektedir (Bkz. Şekil 4.4).

Şekil 7.3'de Seydi Suyu'nun Buzluburun Tepesinde havzadan çıktığı yerde, yıllık toplam akımların ölçüm ve simulasyon sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir. Bu karşılaştırma sonuçları değerlendirildiğinde, 1991 su yılında yıllık akımlardaki hata %-23,6; 1992 su yılında %5,3; 1993 su yılında % 10,2 ve 1994 su yılında % 5,3 dür. Toplam simulasyon hatası % 0,2 dir. 1991 su yılında aralık ve nisan aylarında çok kısa süreler içinde yüksek yağışlar kaydedilmiştir. Bu yağışlar beklenileceği üzere modelde yüksek havza akışları yaratmış, ancak ölçümlerde buna karşılık gelen yüksek akımlar görülmemiştir. Meteorolojik verilerin alındığı Eskişehir Meteoroloji istasyonu ile modellenen havza arasındaki uzaklık nedeniyle bu uyumsuzluğun ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Şekil 7.4'de verilen aylık toplam akımların simulasyon ve ölçüm sonuçlarına göre 1991, 1993 ve 1994 su yılları için daha iyi bir uyum gözlenmekle birlikte, 1992 su yılında bazı sapmalar ortaya çıkmaktadır. Aylık toplam akımlardaki ölçüm ile simulasyon sonuçları arasındaki korrelasyon katsayısı 0,57'dir ve %95 güvenilirlik sınırları içinde istatistiksel olarak anlamlıdır (p değeri (0,00003) < 0,05).



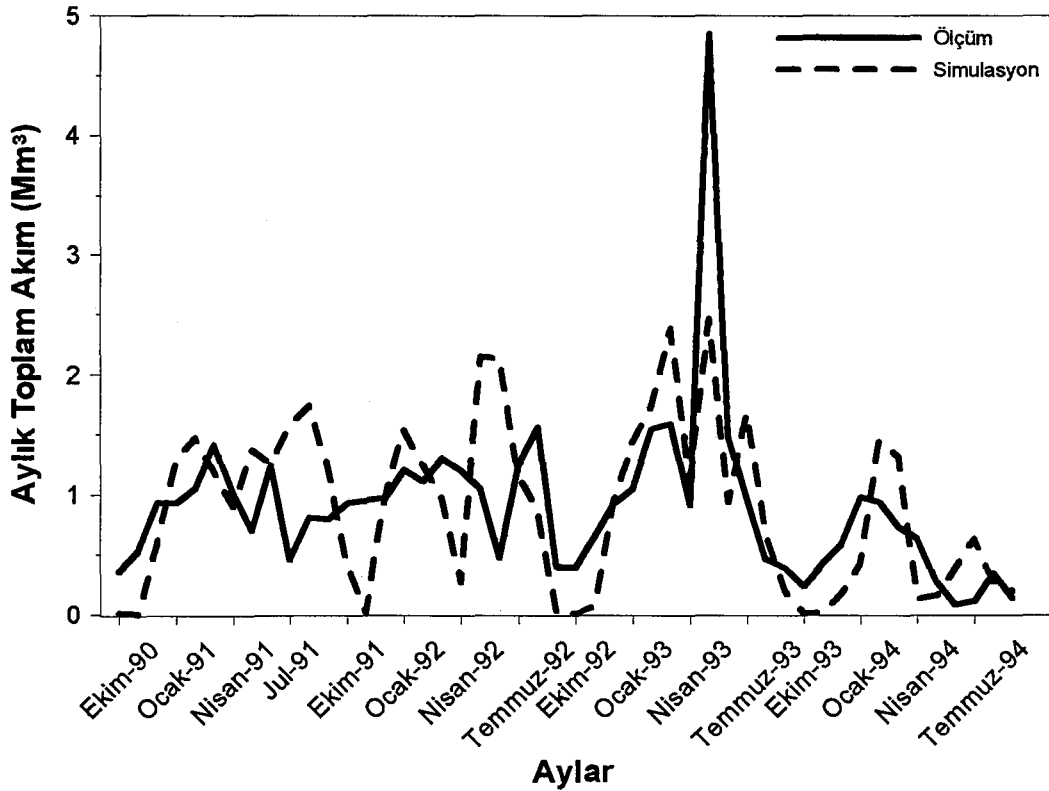
Şekil 7.3. Yıllık toplam akımların karşılaştırılması

Aylık toplam akımların sonuçlarına uygulanan t testi sonucunda p değeri 0,016 bulunmuştur. t testi iki veri grubunun ortalamalarının aynı olup olmadığını belirlemeye yarayan istatistiksel bir araçtır. t testi bir hipotez testi olup sıfır hipotezi (H_0) ortalamaların birbirine eşit olduğunu, alternatif hipotez (H_1) ise ortalamaların birbirinden farklı olduğunu kabul etmektedir. Her hipotez testinde olduğu gibi, bu testte de sonuçlar belli oranda bir hataya maruzdur ve bu hata oranı kullanıcı tarafından belirlenir. En çok kullanılan ve kabul gören hata oranı % 5'dir. %5'lik bir hata oranı test sonuçlarının %95 mertebesinde güvenilir olduğunu gösterir. Bu çalışmada kullanılan bütün istatistiksel testlerde aksi belirtilmedikçe %5'lik hata oranı kullanılmıştır. p değeri bir olasılıktır. Bir sonucun istatistiksel olarak anlamlı olması için seçilen hata oranının p değerinden büyük olması gerekmektedir. p değeri hata oranından ne kadar küçükse sonuçların güvenilirliği o kadar artmaktadır. Bir diğer değişle, H_0 hipotezinin kabul edilmesindeki hata azalmaktadır. Aylık toplam akımların t testinden geçirilmesiyle elde edilen $p = 0,016$ değeri akım ortalamalarının istatistiksel olarak birbirlerine eşit olduklarını göstermektedir. t testinin uygulanmasında

eşlenik çiftler yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde sadece genel ortalamalar dikkate alınmamakta, aynı zamanda aynı tarihe karşılık gelen ölçüm ve simulasyon sonuçları gibi birbirleri ile ilişkili değerler de karşılıklı olarak bire bir teste dahil edilmektedir.

Aylık toplam akımlar t testinin yanı sıra χ^2 (Chi square) testine tabi tutulmuştur. Bu test iki veri grubunun aynı dağılımdan gelip gelmediğini belirlemek için kullanılmaktadır ve t testi gibi bir hipotez testidir. χ^2 testi sonucunda p değeri 0,0056 olarak bulunmuştur ve bu değer istatistiksel olarak anlamlıdır.

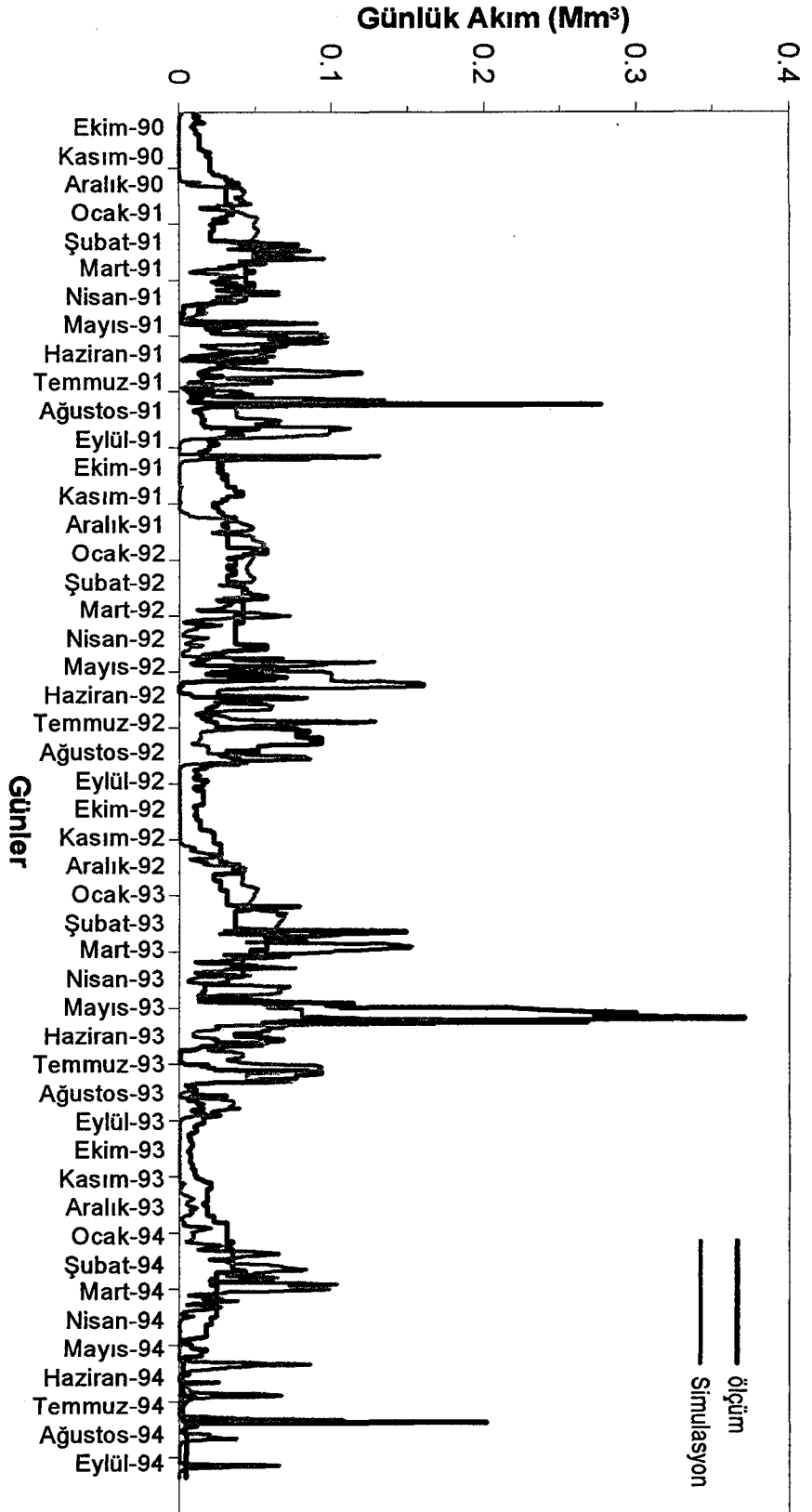
Bu üç istatistiksel analiz sonucunda (korrelasyon katsayısı, t testi ve χ^2 testi) aylık toplam akımlarda, model sonuçlarının ölçümlerle uyduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 7.4. Aylık toplam akımların karşılaştırılması

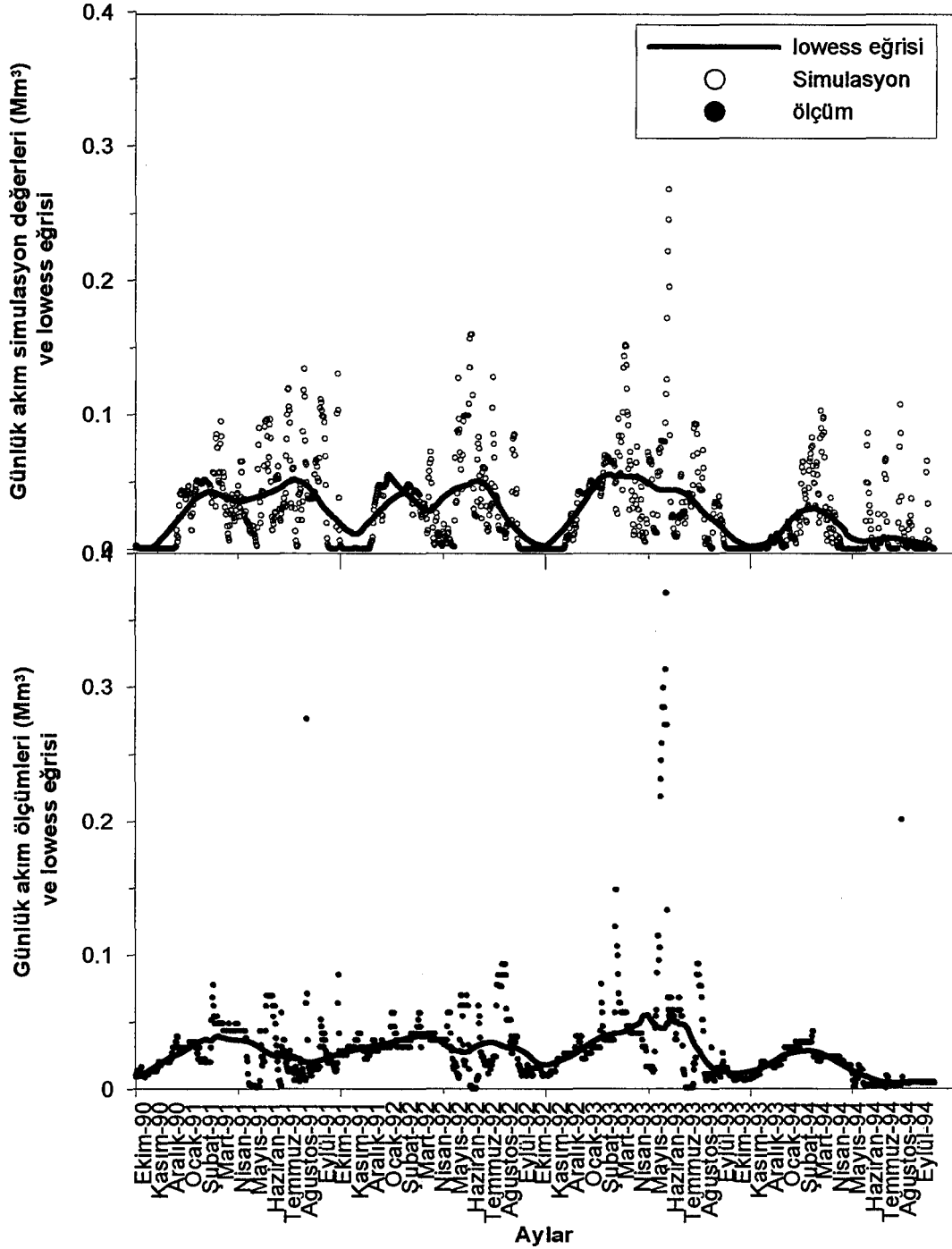
Günlük toplam akımlar Şekil 7.5’de verilmiştir. Günlük akımlardaki ölçümler ve model sonuçları arasındaki farklar yüksek çıkabilmektedir. Model ve ölçüm sonuçları arasındaki korelasyon katsayısı 0,34 olup, t testi sonucunda elde edilen p değeri 0,047 dir ve %95 güvenilirlikte anlamlıdır. Literatürde de eğer kalibrasyon parametreleri her yıl değiştirilmiyorsa, bu mertebede korelasyona sahip sonuçlar elde edilmektedir. Seydi Suyu Havzası Ege ve İç Anadolu bölgeleri arasında bir geçiş iklimine sahip olduğundan, havza üzerindeki yağış dağılımı zaman zaman farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılıklar yıllık toplamlarda fazla belirgin olmasa da aylık özellikle de günlük akımlarda bazı sapmalar görülebilmektedir. Aynı zamanda yapılan debi ölçümlerinde de hatalar olabileceği göz önünde bulundurulursa, elde edilen model sonuçlarının havzayı iyi bir şekilde temsil ettiği sonucuna varılabilir.

Çok fazla değere sahip zaman serilerinin birbirleriyle karşılaştırılmasında, eğilimleri ve mevsimsellikleri daha rahat görünür ve anlaşılır kılmak için bazı veri indirgeme (smoothing) yöntemleri kullanılabilir. Bunların en çok kullanılanlarından birisi LOWESS (LOcally WEighted Scatterplot Smoothing) yöntemidir (Cleveland 1979 ve Albek 1999). Bu yöntemde zaman serisindeki serinin karakterinin ortaya çıkmasını engelleyen düzensizliklerin ve aykırı değerlerin etkileri minimuma indirilerek zaman serisinin incelenen periyot içindeki davranışı daha rahat incelenebilir ve birden fazla zaman serisi birbiri ile karşılaştırılabilir. LOWESS tahmin yapmaya yarayan bir yöntem değildir. Bu çalışmada yalnızca zaman serilerini daha iyi anlaşılır hale getirmek için kullanılmıştır. Şekil 7.6’da ölçüm ve model sonuçlarına uygulanan LOWESS eğrileri görülmektedir. Şekil 7.7’de de her iki LOWESS eğrisinin birbiri ile karşılaştırılması verilmiştir. Mevsimsel farklılıkların ortaya çıkması için altı aylık bir pencere aralığının kullanıldığı bu eğrilerde özellikle kış aylarında model ve simulasyon sonuçları arasında çok iyi bir uyum ortaya çıkmaktadır. Yıl bazında en iyi uyumlar 1991, 1993 ve 1994 su yıllarında ortaya çıkmış 1992 su yılında ise model ve simulasyon sonuçları arasında bazı uyumsuzluklar oluşmuştur. Uyumsuzluklar en çok yaz başı ve yaz sonunda görülmektedir. Bu dönemler sulamaya geçişe ve sulama bitişine denk gelmektedir. Sulamaya geçiş sırasında ve sulama bitişinde akarsu üzerinde kontrol değişikliği ortaya çıkmaktadır.

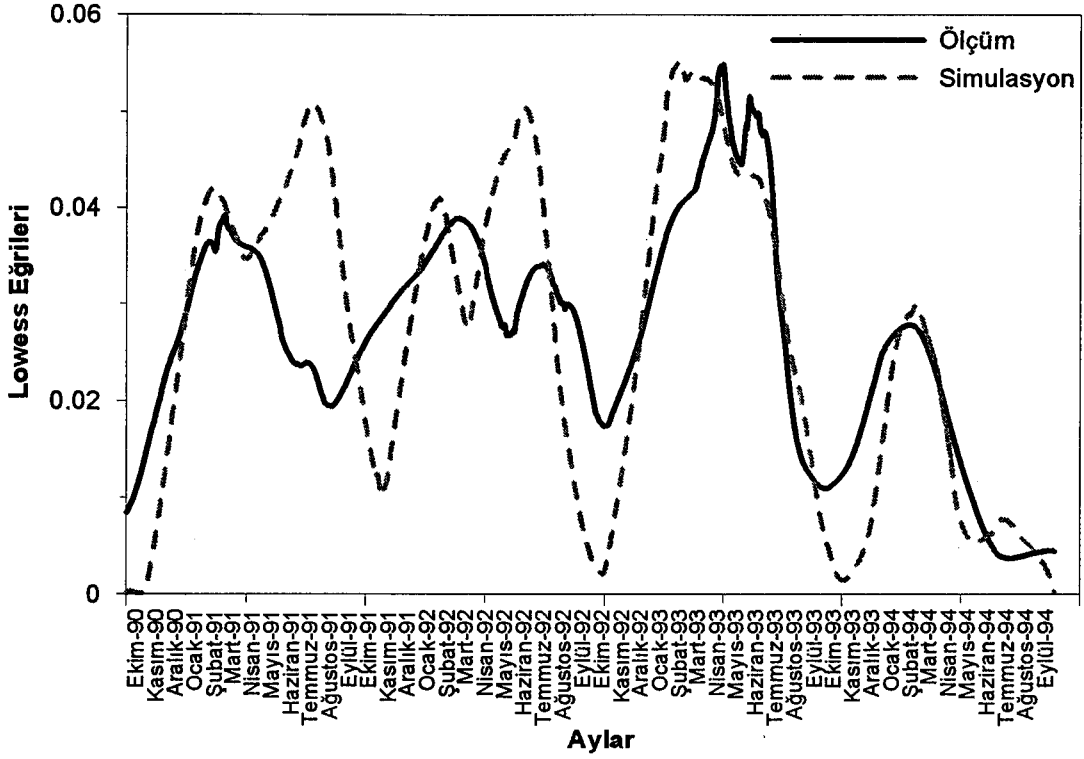


Şekil 7.5. Günlük akım ölçümleri ve model sonuçları

Sulama suyu verileri Devlet Su İşlerinden aylık toplamlar şeklinde elde edildiğinden, ve günlük sulama akımlarına aylık toplamların günlük toplamlara homojen bir şekilde yayılmasıyla geçildiğinden bu dönemlerde uyumsuzluklar olması kaçınılmazdır.



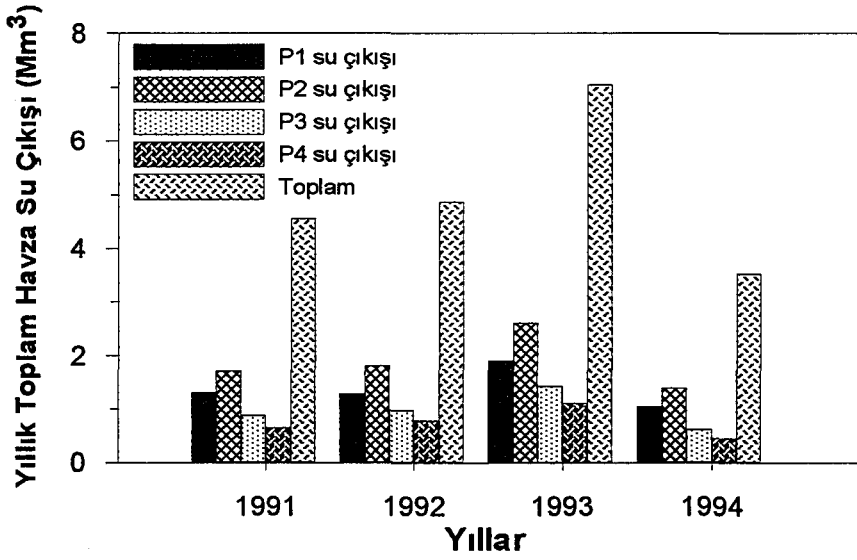
Şekil 7.6. Günlük akımların ölçüm ve simülasyon sonuçlarının LOWESS eğrileri



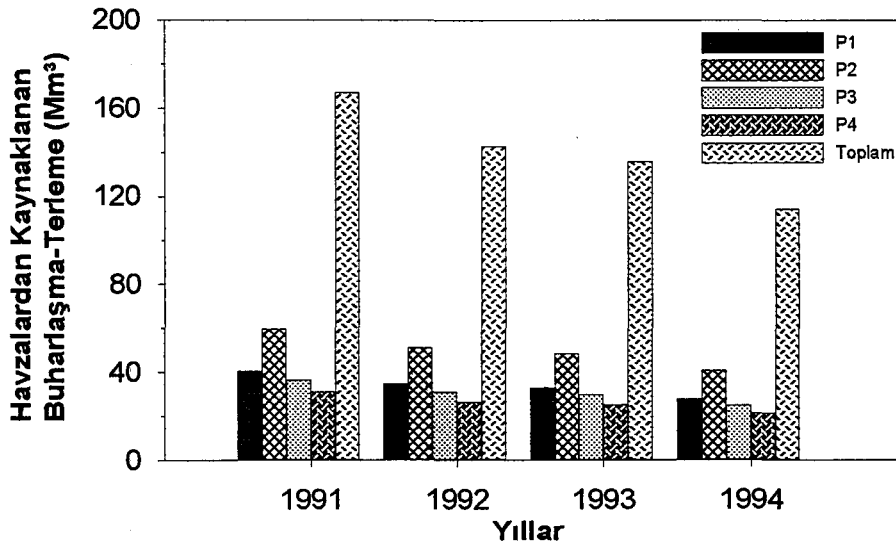
Şekil 7.7. Günlük akımlarda LOWESS eğrilerinin karşılaştırılması

Havzaya düşen yağışın akışa geçirdiği ve havzayı drene eden akarsuya gönderdiği akışı incelendiğinde, havzaların yüzey alanlarına orantılı bir şekilde su ürettiği ortaya çıkmaktadır. Şekil 7.8’de havzaların her birinin yıllık su çıktıları ve her yıl için toplam havza su çıktısı verilmektedir. En yüksek su çıktısı 1993 su yılında görülmektedir. Yıllık toplam yağışlar incelendiğinde simülasyon periyodu içinde en yüksek değer 1991 su yılında yaşandığı görülmektedir. Ancak hava sıcaklıklarının da yüksek olması nedeniyle Şekil 7.9’da görüldüğü gibi 1991 su yılına buharlaşma ve terleme kayıpları da yüksek olmuştur. Bu nedenle havza su çıktılarının en yüksek olduğu yıl 1993 su yılıdır. Yıllık havza ve alt havza bazında buharlaşmalarda simülasyon periyodu sonuna doğru bir azalma eğilimi gözlenmektedir. Yüzey alanının fazlalığı dolayısıyla 2 numaralı alt havza (P2) en yüksek buharlaşma ve terlemeye sahiptir. Havzanın karasal alanlarının su verimi (akarsu girdileri ve çıktıları göz önüne alınmadan) ortalama olarak $0,029 \text{ mm/km}^2 \cdot \text{yıl}$ dır. Havzanın evapotranspirasyon verimi $0,81 \text{ mm/km}^2 \cdot \text{yıl}$ dır.

Havza çıkışındaki akarsu debileri ele alındığında havza su verimi 0,06 mm/km².yıl dır. Havza üzerine düşen yağış verimi incelendiğinde ise, 0,815 mm/km².yıl bulunur. Yağış verimi ile buharlaşma ve terleme verimi yaklaşık olarak birbirlerine eşittir. Derin akiferlere sızma ile havzanın su kaybettiği de düşünülürse, havzanın dışardan su alımıyla su bütçesini sürdürebildiği ortaya çıkmaktadır. Seyitgazi ovası sulamasının havza dışında bulunan Çatören ve Kunduzlar barajlarından su bırakılarak başlatılması da bu nedenden dolayıdır.



Şekil 7.8. Yıllık toplam havza su çıkışları



Şekil 7.9. Havzalardan kaynaklanan yıllık toplam buharlaşma-terleme

7.1.2. İklim senaryoları

Günümüzde küresel ölçekte en önemli çevre sorunu sera etkisi nedeniyle ortaya çıkan iklim değişikliğidir. Literatürde iklim değişikliğinin 21.yüzyılın başlarından itibaren kendisini hissettireceğine dair bulgular mevcuttur (Yanshin 1991; Dingman 1994 ve Mays 1996). Küresel ısınmanın bir sonucu olan iklim değişikliğinin dünyanın değişik bölgelerinde değişik sonuçlara yol açacağı beklenmektedir. Isınmanın yol açacağı buharlaşma artışının atmosferdeki nemi arttırarak yağışları arttıracacağı da öngörüler arasında yer almaktadır. Ancak Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzasının giderek kuraklaşacağı ve özellikle Doğu Akdeniz'de ciddi su sorunları yaşanacağı çeşitli iklim modellerine dayandırılmış tahminlerde ortaya çıkmaktadır (Hayward 2001).

HSPF bir iklim modeli değildir. Ancak sıcaklıklardaki yükselişler veya yağışlardaki düşüşler gibi değişen iklim koşullarının etkileri modele girilebilir ve bazı model çıktılarının bu değişimlere verdikleri yanıtlar incelenebilir. Böylece, gelecekte havzanın su bütçesi tahmin edilerek kuraklaşmaya karşı alınacak önlemler önceden planlanabilir.

HSPF ile iklim değişikliğinin havza üzerindeki etkilerini araştırmak için iki yöntem kullanılabilir. İlk yöntem meteorolojik ve hidrolojik zaman serilerini geleceğe doğru uzatmaktır. Bu işlemi yaparken gelecekte gerçekleşmesi beklenen koşullar zaman serilerine yansıtılır. Bu bir açıdan sentetik zaman serisi üretme işlemidir. Ancak bu yöntem bu çalışmanın kapsamı dışındadır. İkinci yöntem ise, simulasyon periyodu içinde kullanılan zaman serilerini iklim değişikliğini yansıtacak şekilde değiştirmektir. Bu yöntem iklim değişikliğinin havzalara etkilerinin incelenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada da iklim değişikliğinin tahmini etkileri 1991-1994 simulasyon periyodu içindeki zaman serilerine yansıtılmıştır.

Doğu Akdeniz havzasındaki ülkelerin iklim değişikliğinden etkilenmesinin üç şekilde gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Bunlardan ilki sıcaklıkların yükselmesidir. Nitekim Türkiye'de son 20 yıl içinde yaz aylarındaki minimum sıcaklıkların yükseldiği tespit edilmiştir. Pek çok uzman tarafından kabul edilen bir öngörü sıcaklıkların 2025 yılına kadar ortalama 2; 2050 yılına kadar ise 3

derece artacağı yönündedir (Yanshin 1991). Sıcaklık yükselmeleri kendisini bütün bir yıl içinde homojen bir şekilde hissettirmeyecektir. Ancak bu dağılımın nasıl gerçekleşeceği tam olarak tahmin edilememektedir. İklim değişikliğinin ikinci etkisi yağışlar üzerinde olacaktır. Ancak bu konuda sıcaklık öngörülleri kadar kesin tahminler yapılamamaktadır. Türkiye özellikle son 20 yıl içerisinde batı bölgelerinde bir yağış azalması yaşamaktadır (Yarar 1997). Uzun süreli bir yağış azalmasının üzerine süper empoze olan dönemsel kuraklıklar da kendilerini giderek daha ağır bir şekilde hissettirmeye başlamıştır. 1999, 2000 ve 2001 yıllarındaki kuraklıklar bunun bir göstergesidir. İklim değişikliğinin üçüncü etkisinin kendisini değişen yağış şiddetlerinde hissettireceği tahmin edilmektedir. Uzun süren kuraklık dönemlerinden sonra şiddetli yağışların ortaya çıkacağı beklenmektedir.

Her üç etkinin de su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemesi kaçınılmazdır. Yağışın azalması herhangi bir amaç için kullanılacak olan suyun azalması demektir. Sıcaklığın artışı daha fazla buharlaşmayı beraberinde getireceğinden su kaynaklarına ek bir azalma getireceği bilinmektedir. Su akışlarının azalması bazı kirleticilerin su ortamlarında daha derişik bir şekilde bulunmasını beraberinde getirebilir. Bunun yanında şiddetli yağışlar yüzey akışlarını ve dolayısıyla akarsulara sediment taşınımını arttıracığından sediment ile ilgili su kirliliği sorunlarının artması beklenmektedir.

Geliştirilen iklim değişikliği senaryosuna göre, literatürdeki bilgiler ışığında sıcaklıkların önümüzdeki 50 yıl boyunca 3 derece artacağı öngörülerek, bu etkinin modellenen Seydi Suyu Orta Havzası'nın havza çıkışındaki akarsu debisine etkisi araştırılmıştır. Sıcaklık zaman serilerinde yapılan değişikliklerle 1991-1994 su yılları arasında bir simülasyon gerçekleştirilmiş ve Bölüm 7.1.1'de sonuçları verilen baz simülasyonla karşılaştırılmıştır. Baz simülasyonda 43,03 Mm³'lük dört yıllık toplam akım, % 21 azalarak 34,03 Mm³'e düşmüştür. Toprak neminde de bu sıcaklık artışı ile %4,5 düşüş gözlenmiştir. Diğer girdi ve parametrelerdeki olası değişiklikler hesaba katılmadan sadece sıcaklık artışına bağlı olarak debinin % 21 oranında azalması göz ardı edilemeyecek bir durumdur. Toprak neminin azalması da havzada ek bir sulama ihtiyacı doğuracak, su kaynaklarının üzerindeki baskı artacaktır. Gerek havza içi kullanımların, gerek

de havza dışı kullanımların bu azalmadan önemli ölçüde etkileneceği açıktır. Aynı zamanda bu senaryoda Yukarı Seydi Suyu Havzası'nda da sıcaklık artışları olacağı varsayımıyla, havza dışından gelen akarsuyun debisindeki olası düşüşler hesaba katılmamıştır.

7.1.3. Bitki örtüsünün su verimi üzerine etkisi

Bir havzadaki özellikle derin köklü bitkilerin oluşturduğu bitki örtüsü havza su verimi üzerine önemli bir etki yapmaktadır. Bitkiler önemli ölçüde evapotranspirasyonu arttırmakta ve havzayı drene eden akarsuların debisini düşürmektedir. Seydi Suyu Orta Havzası'nda bitki örtüsünün havza su verimini ne kadar etkileyeceğini görmek için iki senaryo üretilmiştir. Bunlardan ilki havzanın tümünün ormanlarla kaplı olması durumu, ikincisi ise havzanın tamamen çıplak olması durumudur. Bu iki senaryo modele uygulanarak baz simülasyonla karşılaştırma yapılmıştır.

Havzanın tümünün ormanlarla kaplı olduğu durumda simülasyon periyodu içindeki toplam akarsu debisi 43 Mm³'den %37 azalma ile 27 Mm³'e düşmüştür. Havzanın tamamen çıplak olduğu durumda ise, bu değer %40'lık bir artışla 72 Mm³'e ulaşmıştır. Buna göre, akarsu debisi açısından havza bitki örtüsünün ulaşabileceği maksimum ve minimum değerler arasındaki fark 45 Mm³'tür.

Bitki örtüsü yoğun havzalar kimyasal, fiziksel ve biyolojik açıdan kaliteli su üretmektedirler. Orman örtüsünden yoksun havzaların ürettiği su fazla olmakla birlikte bu suyun kalitesi düşüktür ve kullanım potansiyeli azdır. Bitki örtüsünün havza sediment verimine olan etkisi Bölüm 7.2.1'de verilmektedir.

7.2. Sediment Simülasyonu

7.2.1. Baz sediment simülasyonu

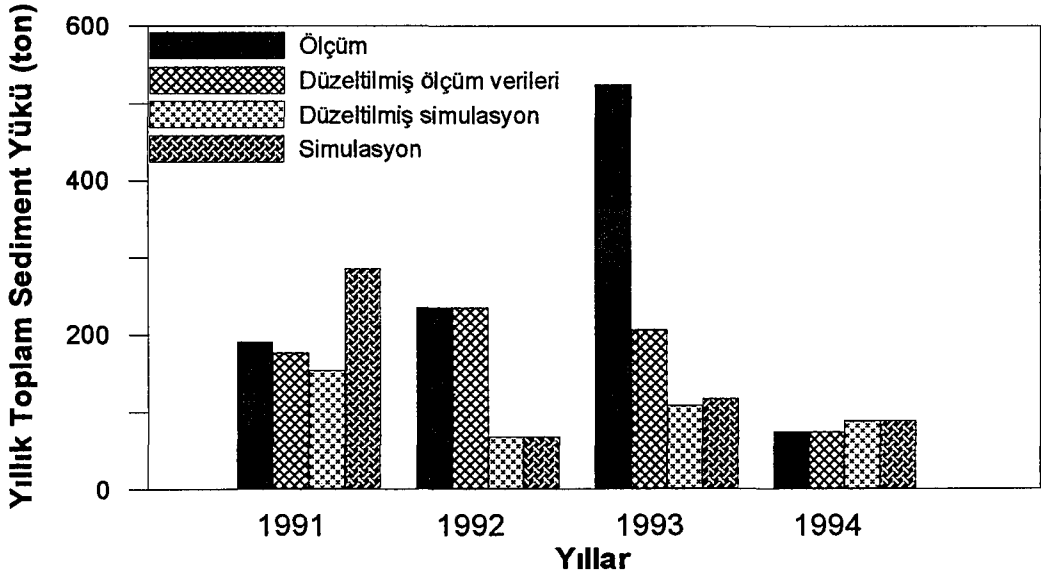
Baz sediment simülasyonu 6. Bölüm'de anlatılan ve havza verilerinden ve ölçümlerden yararlanarak hesaplanan parametrelerle ve kalibrasyon ve verifikasyon sonucu sayısal değerleri bulunmuş parametrelerle çalıştırılmıştır.

Sediment simulasyonu hidrolojik simülasyona göre zorluklar içermektedir. Öncelikle ölçüm için kullanılan değerler Bölüm 5’de belirtildiği gibi gerçek ölçümler olmayıp, hidrolojik koşulların benzer olduğu başka bir dönemde alınmış ölçümlerden regresyon yöntemiyle simülasyon periyoduna uyarlanmış değerlerdir. Zaten günlük sediment yükleri regresyon yöntemleriyle aylık ölçümlerden elde edildiği için, başka bir zamandan taşınmamış olsalar bile belli hatalar içermektedirler. Su kalitesi modellenmesinde model kalibrasyonu ve verifikasyonunda en sık rastlanan sorun bu veri eksikliği ve eksik verilerin regresyonlarla tamamlanmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda, sedimentin de aralarında bulunduğu pek çok su kalitesi bileşeninin akarsu içerisindeki davranışı oldukça kesin teorik ve deneysel bilgilerle desteklenirken, bir su havzasından akarsuya taşınım süreçleri pek çok bilinmeyen yön içermektedir. Erozyon modellenmesi teorik alt yapı eksikliği nedeniyle hala 1960’lı yıllarda ele alınan ve geliştirilen ampirik bağıntılarla yapılmaktadır (USLE, Wischmeier ve Smith 1965). Ampirik bağıntılar her havza için farklı parametre gruplarına gerek duymakta ortak değerler geliştirilememektedir. Bu nedenlerden dolayı sediment simülasyonundaki hatalar hidrolojik simülasyona göre daha büyük olmaktadır ve günlük sediment yüklerinin güvenilirliği düşük kalmaktadır. Şekil 7.10’da regresyonla simülasyon periyoduna taşınan yıllık toplam ölçüm değerleri ile model sonuçlarının karşılaştırılması verilmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen sediment simülasyonunda bazı çok aykırı değerler ortaya çıkmıştır. Bu değerler hem ölçümlerde hem de model sonuçlarında görülmektedir. Hamidiye istasyonu verilerine göre 1993 su yılında Mayıs ayında akarsu akımı birkaç günlük bir süre içerisinde çok yükselmiştir. Benzer bir yükselme havza girişindeki akarsu akımında görülmemektedir. Aynı şekilde bu birkaç gün içerisinde meteoroloji istasyonunda yüksek bir yağış kaydedilmemiştir. Hamidiye istasyonundaki bu akım artışının havza üzerindeki yerel ölçekli bir yağıştan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Sediment yükü şiddetli yağışlarla çok artabildiği için Mayıs 1993’te çok yüksek sediment yükleri ortaya çıkmıştır. Ancak meteorolojik verilerde böyle bir artış bulunmadığından bu artış model sonuçlarına yansımamıştır.

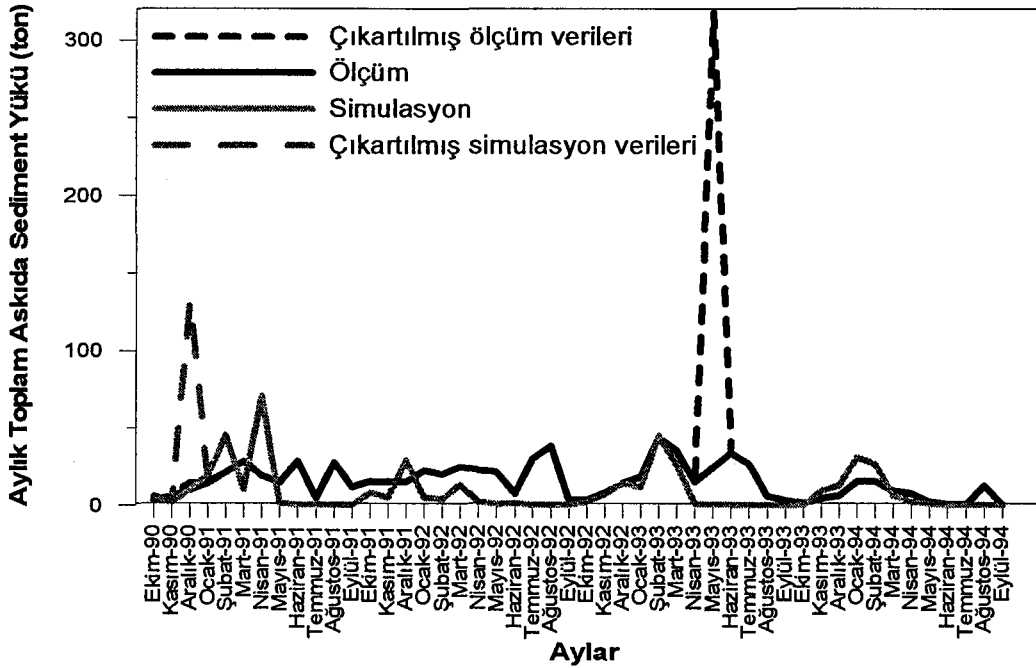
Model sonuçlarında da 1990 yılının Aralık ayında yüksek sediment yüklerine rastlanmıştır. Bu yükler 13 Aralık 1990 tarihinde Eskişehir Meteoroloji istasyonunca kaydedilen çok yüksek ve alışılmadık bir yağışın sonucudur. Yağışın yerel ölçekli olduğu sanılmaktadır, çünkü aynı dönemde akarsuda bu yağışa karşılık gelebilecek herhangi bir yüksek akım kaydedilmemiştir. 1990 yılının Aralık ayında da model ve ölçüm sonuçları arasında bir uyumsuzluk yaşanmaktadır.

Bu aşırı yağışların etkilerini havza akarsularında göstermemeleri ve kaydedilen aşırı akımların da oluşması için gerekli yağışların kaydedilmemiş olması nedeniyle bu değerlerin yanlış ölçümlerden veya yerel ölçekli yağışlardan kaynaklandıkları ve havzanın özelliklerini temsil etmediği düşünülerek, bu verilerin kullanılmadığı (düzeltilmiş) koşullar da incelenmiştir (Şekil 7.10). Yıllık toplam sediment yükleri verilirken gerçek yüklerin yanı sıra bu uyumsuzlukların hesaba katılmadığı değiştirilmiş yükler de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 1992 su yılı hariç diğer su yıllarında model sonuçları, ölçüm sonuçlarına yakın değerlerdedir. Daha önce de belirtildiği gibi 1992 su yılında hidrolojik simülasyonda bazı uyumsuzluklar söz konusu olduğundan bu durumun sediment simülasyonuna da yansıtıldığı düşünülmektedir.



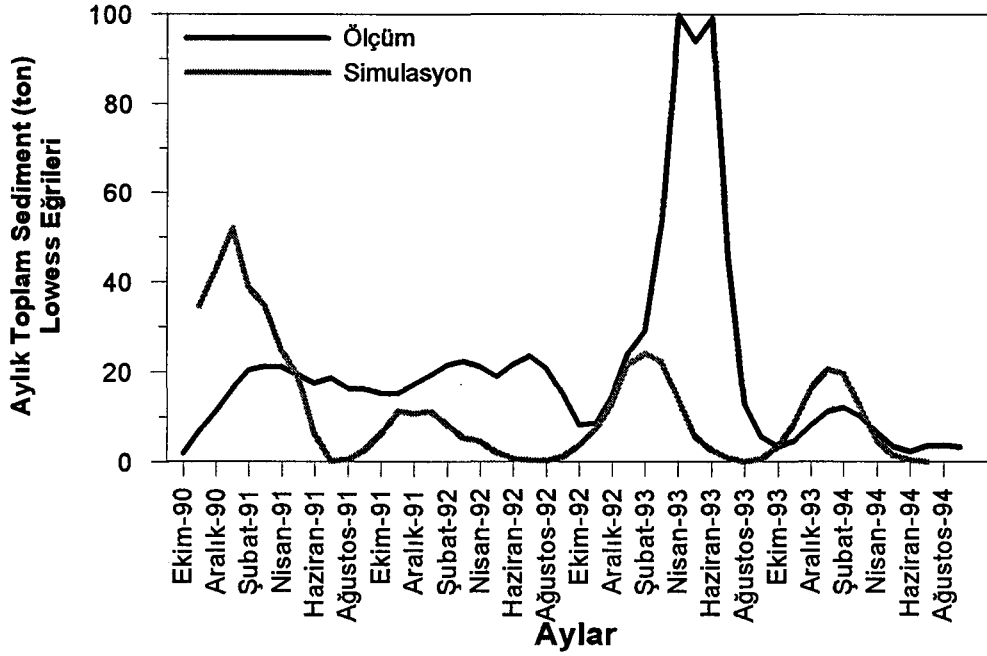
Şekil 7.10. Yıllık toplam sediment yüklerinin karşılaştırılması

Şekil 7.11’de aylık toplam sediment yüklerinin ölçüm ve simülasyon karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi model ve ölçüm sonuçları arasındaki uyumsuzluklar genellikle yaz aylarında ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni yaz aylarında akarsuya sediment taşıyan yüzeysel akışın hemen hemen ortadan kalkmasıdır. Havzanın önemli boyutlarda yüzeysel akıştan yoksun olduğu model sonuçlarının yanı sıra saha gözlemlerine de dayanmaktadır. Akarsuda hala ölçümlerde sediment görülmesinin nedeni ise regresyon hatalarından kaynaklanmaktadır. Yapılan regresyon analizleri sediment yüklerini yaz aylarında yüksek tahmin etmektedir.

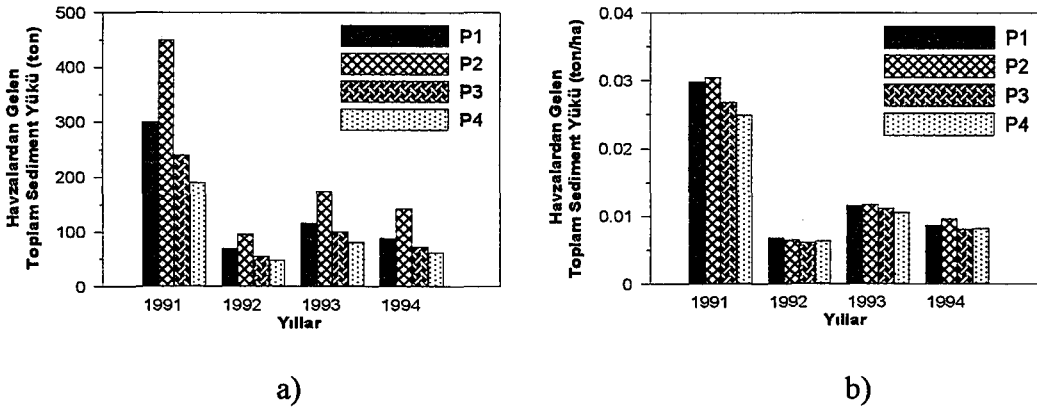


Şekil 7.11. Aylık toplam sediment yükleri

Model sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırılırken modelin hesapladığı silt ve kil yüklerinin toplamı kullanılmıştır. Akarsularda kum genel olarak taban yükü olarak, silt ve kil de askıda taşınmaktadır. 1999 su yılından itibaren Seydi Suyu’ndan alınan aylık örneklerde askıda katı madde yükü ölçülmüştür. Bu yüzden model sonuçlarından kum yükü çıkartıldıktan sonra ölçümlerle karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 7.12’de aylık yüklere uygulanan LOWESS eğrileri görülmektedir. Bu eğrilerde aykırı değerler çıkartılmamıştır.



Şekil 7.12. Aylık toplam yüklerde LOWESS eğrileri



Şekil 7.13. a) Alt havzalardan kaynaklanan toplam sediment yükleri
b) Alt havzalardan kaynaklanan alan başına sediment yükleri

Şekil 7.13 a)'da her bir alt havzadan kaynaklanan sediment yükleri verilmektedir. Yükler ilk yıl oldukça yüksek seyretmekte daha sonraki yıllar belli bir seviyeye inmektedir. İlk yıldaki yüksek yüklerin nedeni 1990 aralığındaki aşırı yağıştır. Alt havzalar arası farklar havza yüz ölçümleri ile orantılıdır. İkinci alt

havza en yüksek yükü getirmekte, bunu birinci, üçüncü ve dördüncü alt havzalar takip etmektedir.

Şekil 7.13 b)'de alt havza yüz ölçümlerinin oluşturduğu bu fark ortadan kaldırılmış birim alan başına düşen yük (ton/hektar) hesaplanmıştır. Burada havzalar arasında çıkan küçük farklar havza özelliklerinden kaynaklanmaktadır. İlk iki alt havza diğerlerine göre daha fazla sediment üretmektedir. Bunun nedeni bu alt havzaların daha eğimli olmasıdır. Farkın daha da açılmasını bu alt havzalardaki orman yüzdesinin yüksek olması engellemektedir.

7.2.2. Sediment Senaryoları

Bir havzadaki erozyonu en çok etkileyen faktörlerden biri havzanın insanlar tarafından kullanılmasıdır. Havzanın insan etkileriyle değiştirilmesi çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir. Havzadaki tarım etkinlikleri, bitki örtüsünün değiştirilmesi bunlar arasındadır. Bunların erozyonu nasıl etkilediği niceliksel olarak aşağıdaki senaryolarla irdelenmiştir.

7.2.2.1. Bitki örtüsünün erozyona etkisi

Erozyonla mücadelede akla gelen ilk önlem bir havzadaki bitki örtüsünü arttırmaktır. Bu gerçekten yola çıkılarak, bu çalışmada da bitki örtüsünün artışının havzanın sediment verimine etkisi araştırılmıştır. Seydi Suyu Orta Havzası'nda bitki örtüsü %25'lik bir yer kaplamaktadır. Gerçekleştirilen senaryoda bütün havzanın bitki örtüsü ile kaplandığı varsayılarak model girdisinde bu açıdan gerekli düzenlemeler yapılmıştır (COVER parametresi alabileceği maksimum değer olan 1,0'e yükseltilmiştir). Bu senaryo sonucunda akarsuyun taşıdığı sediment yükü % 31,3 oranında azalmıştır. Bu değer havzada bitki örtüsü ile erozyon kontrolü yapılmaya çalışıldığında erişilebilecek maksimum değerdir.

7.2.2.2. Toprağın işlenmesinin erozyona etkisi

Tarımsal havzalarda, toprağın sürülmesinin erozyon üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu etki konturlama ve teraslama tarımsal tekniklerinin ele alındığı bir senaryo oluşturularak Orta Seydi Suyu Havzasına uyarlanmıştır. Bu senaryoların karşılaştırıldığı baz simulasyonda herhangi bir erozyon önleyici tarımsal teknik kullanılmadığı durum modellenmiştir.

Konturlama yönteminde arazi eğime paralel yönde sürülmektedir. Bu şekilde bir uygulamanın modele aktarılması PERLND modülünün SEDMNT alt bölümündeki SMPF faktörünün uygun bir şekilde değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. SMPF faktörünün alabileceği sayısal değerler deneysel çalışmalar sonucunda arazi eğimine bağlı olarak bulunmuştur (Zison ve ark. 1977). Senaryoda SMPF faktörleri P1, P2 ve P3 alt havzaları için 0,5; P4 alt havzası için ise 0,6 olarak alınmıştır.

Teraslama yönteminde ise arazide basamaklar şeklinde ekim yapılır. Teraslama yönteminde SMPF faktörü basamak sayısına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$SMPF = \frac{f(E) * 0,2}{\sqrt{n}} \quad (7-1)$$

Burada; f(E), eğimin bir fonksiyonu

n, teras sayısı

0,2'de, teraslarda tutulmayıp akarsuya ulaşan sediment yüzdesidir.

Teras sayısı olarak 3 alındığında ve eğimlere göre SMPF faktörleri hesaplandığında P1, P2 ve P3 alt havzaları için SMPF faktörü 0,058; P4 alt havzası için de 0,069 olmaktadır. Konturlama ve teraslama senaryolarının sonuçları Çizelge 7.2'de sunulmuştur.

Çizelge 7.2. Konturlama ve teraslama senaryolarının sonuçları

	Baz simulasyon	Konturlama	Teraslama
Toplam Sediment yükü (ton)	558,63	540,97	435,62
Yüzde değişim		3,10	22,00

8. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışma başlıca üç bölümden oluşmuştur. Orta Seydi Suyu Havzası ve Seydi Suyu hakkında bilgi toplanması, bunu izleyen modelleme çalışması ve bu iki etkinlikle eş zamanlı yürütülen izleme çalışması. Her bir safhada bazı zorluklarla karşılaşmış ve bu zorluklara çözüm yolları aranmıştır.

Başlıca zorluklardan bir tanesi veri eksikliği ve mevcut olan veriye ulaşma zorluğudur. Orta Seydi Suyu Havzası ile ilgili meteorolojik ve hidrolojik veriler bazı eksikliklere karşın Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen genel amaçlı bir proje kapsamında temin edilmiştir. Model parametrelerinin hesaplanması için gerekli olan orman örtüsü, toprak yapısı gibi bazı bilgiler bu bilgileri toplamakla ve değerlendirmekle yükümlü kuruluşlardan sağlanmaya çalışılmıştır. Eksikler literatürde benzer havzalar için kullanılan değerlerden yola çıkılarak tamamlanmıştır. Burada Türkiye’de bu konuda başka çalışmaların olmaması bazı değerlerin Türkiye havzalarından elde edilmesini olanaksız kılmıştır. Bu açıdan bu çalışmanın Türkiye’de bundan sonra yapılacak çalışmalar için yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın önemli bir bölümünü hidrolojik çevrimin modellenmesi kapsamaktadır. Hidrolojik çevrim bütün bileşenleriyle meteorolojik ve hidrolojik zaman serilerinden yararlanılarak modellenmiştir. Hidrolojik çevrimin akarsu debileri ve buharlaşma gibi belli başlı çıktılarını havzada modelleme çalışmasıyla eş zamanlı sürdürülen izleme sonuçlarıyla kalibre edilmiş, sınanmış ve tatminkar sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçların güvenilirliği istatistiksel yöntemlerle desteklenmiştir. Literatürde (Donigian 1984), bu tür çalışmalarda benzer doğrulukta ve güvenilirlikte sonuçların elde edildiği görülmektedir.

Orta Seydi Suyu Havzası’nın modellenmesi çalışmasından elde edilen belli başlı sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- a) Orta Seydi Suyu Havzası geçirgen bir toprak yapısına sahip olduğundan havzayı drene eden akarsuya ulaşım daha çok toprak altı akımlarıyla gerçekleşme, yüzeysel akış ikinci planda bulunmaktadır. Bu özellik akarsuya kirleticilerin daha çok çözünmüş şekilde taşınmasını sağlamaktadır. Yine de

- izleme çalışmaları sırasında elde edilen çeşitli su kalitesi parametrelerinin analizinden ortaya çıktığı gibi, partikül şeklinde veya partiküllere adsorbe olmuş şekilde taşınan su kalitesi bileşenleri de önemli bir yer tutmaktadır (Albek ve ark. 2000). Aynı zamanda derin akiferlere sızma yoluyla da havzadan su kaybı olduğu saptanmıştır.
- b) Seydi Suyu Havzası Orta Anadolu ikliminin bir sonucu olarak düşük seviyelerde yağış almaktadır. Model sonucunda havzadaki yağış ve buharlaşmanın birbirine çok yakın olduğu anlaşılmıştır.
- c) Havzada tarımsal etkinliklerin önemli ölçüde sürdürülebilmesinde havzaya dışarıdan sulama suyu girişinin sağlanması gerekmektedir. Bu açıdan dışarıdan gelen su ile kirletici bileşenler de girmekte, havzada gerçekleşen süreçlerle bu kirleticilerin akarsudaki derişimleri artmaktadır. Bu çalışmada ele alınan sediment modellenmesi sonucunda havzanın akarsuya girişten daha fazla sediment verdiği belirlenmiştir.
- d) Havzada yoğun olmasa da bir erozyon söz konusudur. Yüzey akışlarının az olması erozyonu bir miktar yavaşlatmakta ancak topraktaki kum oranının yüksek olması erozyonu arttırdığından bu etkiye karşı gelmektedir.
- e) Havzada tarımsal üretim ve bitki örtüsü erozyon üzerinde etkisi olan faktörlerdir. Çalışmada bu faktörlerin etkileri incelenerek erozyonu önleme ve azaltma yönünde yapılabilecek yönetim çalışmalarına ışık tutulmuştur. Bu konuda varılabilecek sonuç, tarımsal uygulamalarda konturlama ve teraslama gibi bazı tekniklerin değiştirilmesiyle ve ağaçlandırma ve toprak yüzeyini sürekli bitki örtüsüyle koruma gibi bitki örtüsü modifikasyonlarıyla erozyon kontrolünde önemli aşamalar kaydedilebileceğidir.
- f) 21.yüzyılda dünyada beklenen iklim değişikliğinin kendini artan hava sıcaklıklarında hissettireceği tahminiyle yapılan iklim değişikliği senaryolarında 21. yüzyılın ilk yarısında beklenen 3 derecelik artışın havzanın su çıkışında %20'lik düşüslere neden olacağı saptanmıştır. Suyun çok önemli bir yere sahip olduğu bu yarı kurak bölgede geleceği yönelik tedbirlerin alınması çok önemli görülmektedir.
- g) Havzada bitki örtüsünün azaltılmasıyla su çıktısının artırılabilceği yapılan simülasyonlarla anlaşılmıştır. Ancak bunun su kalitesini olumsuz yönde

etkileyeceği de sediment simülasyonlarıyla saptanmış, su miktarı ile su kalitesi arasındaki dengenin iyi belirlenmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Türkiye’de 26 temel su havzası ve sayısız alt havza bulunmaktadır. Bütün bu havzalar ya kirlilik tehdidi altında bulunmakta, ya da beklenen iklim değişikliğinden etkilenme durumundadır. Modelleme çalışmaları ile bu havzalardaki bu sorunların niteliği ve niceliği saptanabilir ve su kaynaklarının korunmasına yönelik tedbirler alınabilir. Bu çalışmada kullanılan HSPF modelinin Türkiye’deki diğer havzalara uygulanabilmesi mümkündür. Ancak bazı havzalarda veri eksikliği kendini hissettirebilecek ve sağlıklı sonuçlar alınabilmesini engelleyebilecektir. HSPF modeli özellikle ABD’de havza yönetiminde kullanılan başlıca modeldir ve bağımsız çalışmalarla bu modelin uygulanabilmesi için veri tabanları oluşturulmaktadır. Türkiye’de de bu tür uygulamalar gerek HSPF’in kullanılabilmesi gerekse diğer çalışmaların sürdürülebilmesi için önem taşımaktadır. Havza yönetimi çalışmalarının standart bir prosedür içerisinde yürütülmesi hem bu çalışmaların daha verimli olmasını sağlayacak hem de ülke çapında kirlenme kontrolünü sağlam bir temele oturtacaktır. Bu kapsamda kurumlar arası işbirliği önem kazanmaktadır.

Havza yönetimi disiplinler arası bir çalışmadır. Türkiye’de bu konunun organizatör bir kuruluş tarafından ele alınması, yukarıda sözü edilen standart prosedür ve veri tabanlarının oluşturulması ve Devlet Meteoroloji İşleri, Devlet Su İşleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi ve bilimsel çalışmayı yürütecek olan Üniversiteler gibi ilgili kuruluşların bir araya getirilmesi ekonomik ve verimli bir yaygın kaynak kirliliği kontrolünün gerçekleştirilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

ALBEK, E., ALBEK, M., GENÇE, S., GÖNCÜ, S., *Seydi Suyu'nda Su Kalitesinin İzlenmesi ve Modellenmesi*, 1. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu (Ed: ÇAPAR, G.), ODTÜ, Ankara, Türkiye, 290-293, (2000).

ALBEK, E., *Seasonal and Long-term Trends in Sediment Transport of Turkish Streams*, Proceedings of the MEDCOAST 99 – EMECS 99 Joint Conference: Land-Ocean Interactions – Managing Coastal Ecosystems (Ed: ÖZHAN, E.), MEDCOAST, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, 49-60, (1999).

ALBEK, E., *Su Kirlenmesinde Yaygın Kaynakların İncelenmesi İçin Bilgisayar Modellerinin Kullanımı*, Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu II, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze, Türkiye, 1-10, (1997).

BICKNEL B.R., IMHOFF, J.C., KITTLE, J.L., DONIGIAN A.S., ve JOHANSON R.C., *Hydrological Simulation Program- Fortran User's Manual for Release 10*, Environmental Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA., EPA/600/R-93/174, (1993).

BINKLEY D. ve BROWN T.C., *Forest Practices as Nonpoint Sources of Pollution in North America*, Water Resources Bulletin American Water Resources Association, **29**, 729-740, (1993).

BOURAOUI F. ve WOLFE M.L., *Application of Hydrologic Models to Rangelands*, Journal of Hydrology, **121**, 173-191, (1990).

BROWN, L.C. ve BARNWELL, T.O., *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-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, (1987).

CHAPRA, S.C., *Surface Water Quality Modeling*, McGrawHill, Singapore, (1997).

CHEN Y.D., MCCUTCHEON S.C., RASMUSSEN T.C., NUTTER W. ve CARSEL R.F., *Integrating Water Quality Modelling with Ecological Risk Assessment for Nonpoint Source Pollution Control: A Conceptual Framework*, Water Science and Technology, **28**, 431-440, (1993).

CHEN, Y.D., CARSEL, R.F., MCCUTCHEON, S.C., and NUTTER, W.L., *Stream Temperature Simulation of Forested Riparian Areas: I. Watershed-scale model development*, J Environ Eng-ASCE, **124**, 304-315, (1998).

CHEN, Y.D., MCCUTCHEON, S.C., NORTON, D.J. and NUTTER, W.L., *Stream Temperature Simulation of Forested Riparian Areas: II. Model Application*, J Environ Eng-ASCE, **124**, 316-328, (1998).

CLEVELAND, W.S., *Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots*, J. Am. Stat. Assoc., 829-836, (1979).

CRAIG, R.F., *Soil Mechanics*, Fourth Edition, Van Nostrand Reinhold, England, (1987).

DINGMAN, S.L., *Physical Hydrology*, Prentice Hall Inc., New Jersey, (1994).

DONIGIAN, A.S., IMHOFF, J.C., BICKNELL, B.R. and KITTLE, J.L., *Application Guide for Hydrological Simulation Program-FORTRAN (HSPF)*, EPA, (1984).

DONIGIAN, A.S., ve CRAWFORD, N.H., *Modelling Nonpoint Pollution from the Land Surface*, Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia, EPA/600/3-76-083, (1976).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, *Kırka Yöresi Bor Kirliliği Araştırması Raporu*, İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara, (1983).

Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü, Eskişehir Orman İşletme Müdürlüğü, Seyitgazi Orman İşletme Şefliği, *Amenajman Planı*, (1993).

FERGUSON, R.I., *River Loads Underestimated by Rating Curves*, Water Resources Research, **22**, 74-76, (1986).

FOSTER, I., GURNEL, A., WEBB, B., *Sediment and Water Quality in River Catchments*, John Wiley and Sons, (1995).

GÖKTAY, B., *Sakarya Seydi Suyu Su Toplama Havzası*, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir, Türkiye, (1991).

HAAN, C.T., JOHNSON, H.P., BRAKENSIEK D.L., *Hydrologic Modelling of Small Watersheds*, American Society of Agricultural Engineers, (1982).

HATFIELD J.L., *Sustainable Agriculture: Impacts on Nonpoint Pollution*, Water Science and Technology, **28**, 415-424, (1993).

HAYWARD, K., *Water Reform at the UN.*, IWA Water 21, (2001).

<http://webserver.cr.usgs.gov/sediment/bias.frame.html>, *Bias Correction Retransformation Methods in Regression Models Used to Estimate Sediment Loads*, internet sayfası, (2000).

HUMENIK, F.J., SMOLEN, M.D. ve DRESSING, S.A., *Pollution from Nonpoint Sources*, Environ. Sci. Technol., **21**, 737-742, (1987).

JACOMINO, V.M.F., FIELDS, D.E., *A critical approach to the calibration of a watershed model*, J Am Water Resour As, **33**, 43-154, (1997).

LAROCHE, A.M., GALLICHAND, J., LAGACE, R., and PESANT, A., *Simulating Atrazine Transport With HSPF in An Agricultural Watershed*, J Environ Eng-ASCE, **122**, 622-630, (1996).

LIAO H-H. ve TIM U.S., *An Interactive Modeling Environment for Nonpoint Source Pollution Control*, Water Resources Bulletin American Water Resources Association, **33**, 591-603, (1997).

LINSLEY, R.K., FRANZINI, J.B., FREYBERG, D.L., TCHOBANOGLOUS, G., *Water-Resources Engineering*, McGraw Hill Inc., (1992).

LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A., ve PAULHUS, J.L.H., *Hydrology for Engineers*, McGraw-Hill Inc., (1988).

LUMB, A.M., McCAMMON R.B., KITTLE J.L., *Users Manual for an Expert System (HSPEXP) for Calibration of the Hydrologic Simulation Program-Fortran*, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 94-4168, Reston Virginia, (1994).

MALIK A.S., LARSON B.A. ve RIBAUDO M., *Economic Incentives for Agricultural Nonpoint Source Pollution Control*, Water Resources Bulletin American Water Resources Association, **30**, 471-480, (1994).

MAYS, L.W. (editor-in-chief), *Water Resources Handbook*, McGraw-Hill Comp. Inc., (1996).

MOORE, L.W., CHEW, C.Y., SMITH, R.H., SAHOO, S., *Modeling of Best Management Practices on North Reelfoot Creek, Tennessee*, Water Environment Research, **64**, 241-247, (1992).

NETUSIL N. R. ve BRADEN J.B., *Market and Bargaining Approaches to Nonpoint Source Pollution Abatement Problems*, Water Science and Technology, **28**, 35-45, (1993).

NOVOTNY, V., (Ed.), *Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management*, Technomic Pub. Co., Lancaster, (1995).

PRETI F. ve LUBELLO C., *The Distributed Modelling of Agricultural Nonpoint Pollution at Basin Scale: Experimental Research and Model Validation*, Water Science and Technology, **28**, 669-674, (1993).

RAZAVIAN D., *Hydrologic Responses of an Agricultural Watershed to Various Hydrologic and Management Conditions*, Water Resources Bulletin American Water Resources Association, **26**, 777-785, (1990).

ROBINSON A.R., *Sediment:Our Greatest Pollutant?*, Agricultural Engineering, 406-408, (1971).

SARAÇOĞLU, H., *Bitki Örtüsü Akarsular Göller*, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Türkiye, (1990).

SCHNOOR, J.L., *Environmental Modeling Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil*, John Wiley and Sons, USA, (1996).

SQUILLACE, P.J., ve THURMAN, E.M., *Herbicide transport in Rivers: Importance of Hydrology and Geochemistry in Nonpoint-source Contamination*, Environ. Sci. Technol., **26**, 538-545, (1992).

THOMANN, R.V., *Verification of Water Quality Models*, Journal of Environmental Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ASCE, **108**, No. EE5, (1982).

TSIHRINTZIS, V.A., FUENTES, H.R. and GADIPUDI, R.K., *GIS-Aided Modeling of Nonpoint Source Pollution Impacts on Surface and Ground Waters*, Water Resources Management, **11**, 207-218, (1997).

TSIHRINTZIS, V.A., FUENTES, H.R., GADIPUDI, R.K., *Modeling Prevention Alternatives for Nonpoint Source Pollution at a Wellfield in Florida*, Water Resour Bull, **32**, 317-331, (1996).

VIEUX B. ve NEEDHAM S., *Nonpoint-Pollution Model Sensitivity to Grid-Cell Size*, Journal of Water Resources Planning and Management, **119**, 141-157, (1993).

WILLIAMS, J.R., BERNDT, H.D., *Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrology*, TRANSACTIONS of the ASAE, 1100-1104, (1997).

WISCHMEIER, W.H., ve SMITH, D.D., *Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains*, Department of Agriculture, Agricultural Handbook No.282, (1965).

YANSHIN, A.L., *The Problem of Hotbed Effect*, Proceedings of the Black Sea Symposium Ecological Problems and Economic Prospects, The Black Sea Foundation, İstanbul, Türkiye, (1991).

YARAR, M., MAGNIN, G., *Türkiye'nin Önemli Kuş Alanları*, Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, Türkiye, (1997).

ZISON, S.W., HAVEN, K., and MILLS, W.B., *Water Quality Assessment: A Screening Methodology for Nondesignated 208 Areas*, EPA-600/6-77-023. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA., (1977).

EK-1 MODELDE KULLANILAN PARAMETRELER

<u>PARAMETRE</u>	<u>ACIKLAMA</u>	<u>BİRİM</u>	<u>BÖLÜM</u>	<u>ARALIK DEĞERİ</u>	<u>TİPİK DEĞER</u>
PERLND (ATEMP, SNOW, PWATER, SEDMNT) GİRİŞ VERİLERİ					
AFFIX	Kopan sediment deposunun toprak sıkışmasından dolayı günlük azalma oranı	/gün	SEDMNT	0,0-1,0	0,0
AGWETP	Eğer yeterli aktif yer altı suyu varsa bundan beslenen potansiyel evapotranspirasyon oranı	N/A	PWATER	0,0-1,0	0,0
AGWRC	Temel yer altı suyu geri çekilme hızı. Eğer KVARY sıfırsa ve yer altı suyuna akış yoksa bugünkü debi /dünkü debi	1/gün	PWATER	0,001-1,0	....
AGWS	Aktif yer altı suyu	inches	PWATER	0,0-2500	0,0
AIRTFG	ATEMP bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0,0-1,0	0,0
AIRTMP	Geçirgen arazi üzerindeki başlangıç hava sıcaklığı	Deg C	ATEMP	-50 - +60	15
BASETP	Eğer yeterli taban suyu varsa bundan beslenen potansiyel evapotranspirasyonun oranı	N/A	PWATER	0,0-1,0	0,0
CCFACT	Yoğunlaşma/konveksiyon erimesi için teorik erime eşitliğini saha koşullarına uyarlamakta kullanılan parametre. Bu parametre iklim koşullarının bir fonksiyonudur.	N/A	SNOW	0,0 - 2,0	1,0
CEPS	Tutulma ile depolanma	mm	PWATER	0,0-2500	0,0
CEPSC	Tutulma ile depolanma kapasitesi	mm	PWATER	0,0-250	0,0
CEPSCM(12)	Aylık tutulma ile depolanma kapasitesi. Bu parametre, örtü yoğunluğunun fonksiyonudur.	mm	PWATER	0,0-250	0,0
COVER	Yağmur erozyonundan korunan toprak yüzeyinin oranı (kar örtüsü modelde simule edildiğinden dahil değildir)	N/A	SEDMNT	0,0-1,0	0,0
COVERM(12)	Aylık erozyonla ilgili kaplama değerleri	N/A	SEDMNT	0,0-1,0	0,0
COVIND	Bütün geçirgen saha karla kaplandığında maksimum örtü (su olarak). Bu parametre topografya ve iklimin bir fonksiyonudur. Dağlık havzalarda maksimuma yakın değerler alır.	mm	SNOW	0,25 - ...	....
COVINX	Geçirgen toplam alanı örtmek için gereken örtü (su olarak)	mm	SNOW	0,25-....	0,25
CRVFG	Erozyonla ilgili kaplama değerleri aylık değişiyor mu?	N/A	SEDMNT	0-1	0,0
CSNOFG	Kar hesaba katılacak mı?	N/A	PWATER	0-1	0,0
DEEPFR	Derin (aktif olmayan) yer altı suyuna karışarak sistemden kaybolan yer altı suyu akışı oranı. Derin yer altı suyu tablosundan sızan yer altı suyu geri kazanımının oranıdır. Bu nedenle 1.0 değeri yüzeysel akışa herhangi bir yer altı suyu karışımını engellemektedir ve küçük havzalarda yer altı suyundan baz akış bileşeni olmadan kullanılır.	N/A	PWATER	0-1	0,0
DETS	Kopan sedimentin başlangıç deposu	ton/ha	SEDMNT	0,0-....	0,0

DULL	Albedonun tahmin edildiği, örtü yüzeyinin koyuluk (dulness) parametresi	N/A	SNOW	00-800	400
ELDAT	Sıcaklık ölçümü yapılan yer ile geçirgen sahanın arasındaki yükseklik farkı. Gözlenen hava sıcaklığının havzaya uyarlanması için kullanılır.	m	ATEMP	...-....	0,0
FOREST	Ormanla kaplı olup kışında transpirasyon yapmaya devam eden geçirgen sahanın oranı	N/A	PWATER	0,0-1,0	0,0
GWVS	Yer altı suyu eğimi indeksi; Beklenen aktif yer altı suyu giriş akımının ölçüsüdür.	mm	PWATER	0,0-2500	0,0
ICEFG	Kar örtüsündeki buz oluşumu modellenecek mi?	N/A	SNOW	0-1	0,0
IFWS	Ara akım depolanması	mm	PWATER	0,0-2500	0,0
INFEXP	Sızma eşitliğinin exponenti	N/A	PWATER	0,0-10,0	2,0
INFILD	Geçirgen saha üzerindeki maksimum ve ortalama infiltrasyon kapasitelerinin oranı	N/A	PWATER	1,0-2,0	2,0
INFILT	Toprağın infiltrasyon kapasitesinin indeksi. Bu parametre havzanın ortalama infiltrasyon hızı indeksidir ve toprak karekterinin fonksiyonudur.	mm/saat	PWATER	0,0025 - 2500	.....
INTFW	Ara akım eklenme parametresi. Bu parametre akışın ara akım bileşenini ifade eder ve genellikle akış zamanını değiştirir. INFIL ve LZSN parametreleriyle ilgilidir. Kalibrasyonla kontrol edilmelidir.	N/A	PWATER	1,0E-30-...	.....
INTFWM(12)	Aylık ara akım eklenme parametresi	N/A	PWATER	0-...	....
IRC	Ara akım geri çekilme parametresi. Akış olmadığı durumlarda bugünkü ara akım eklenme hızının dünküne oranıdır.	1/gün	PWATER	1,0E-30-1,0	....
IRCM(12)	Aylık ara akım geri çekilme hızı. Hidrograf ayırma tekniği ile grafiksel yöntemle veya deneme yoluyla tahmin edilebilir. IRC = Herhangi bir gündeki ara akım debisi / 24 saat önceki ara akım debisi.	/gün	PWATER	1,0E-30-1,0	....
IUNITS	Zaman verilerinin girdileri--1=İngilizce, 2=metrik	N/A	PERLND	1-2	1
JGER	Toprak matrisi aşınma eşitliğinin eksponenti (oluk erozyonu simulasyonu , vs.)	kompleks	SEDMNT	....	....
JRER	Toprağın kopma eşitliği eksponenti	N/A	SEDMNT	....	....
JSER	Kopan sedimentin yıkanma eşitliğinin eksponenti	kompleks	SEDMNT	....	....
KGER	Toprak matrisi aşınma eşitliği sabiti (oluk erozyonu simulasyonu , vs.)	kompleks	SEDMNT	0,0-...	0,0
KRER	Toprağın kopma eşitliği sabiti	N/A	SEDMNT	0,0-...	0,0
KSER	Kopan sedimentin yıkanma eşitliğinin sabiti	kompleks	SEDMNT	0,0-...	0,0
KVARY	Yer altı suyu geri çekilme akımının davranışını zamanla bozulmasını eksponansiyel olmamasını sağlayarak etkileyen parametre	1/mm	PWATER	0,0-...	0,0
LAT	Geçirgen sahanın enlemi	derece	SNOW	-90,0-90,0	40,0
LSID(5)	Geçirgen saha için belirleyici	N/A	PERLND	.....	.....
LSUR	Varsayılan yüzeysel akış düzleminin uzunluğu. Geçirgen ve geçirgen olmayan araziler için topoğrafya haritalarından bulunur. Bu değer geçirgen arazilerde toplam havza alanını drenaj kanalının uzunluğunun iki katına bölünmesi ile yaklaşık olarak bulunabilir.	m	PWATER	0,3-...	....

LZETP	Aşağı tabaka evapotranspirasyon parametresi; derin köklü bitkilerin yoğunluk indeksi. Orman yadaN/A	PWATER	0,0 - 1,0	0,0	
LZETPM(12)	Aylık aşağı tabaka evapotranspirasyon parametresi	N/A	PWATER	0,0 - 1,0	0,0
LZS	Aşağı tabaka deposu. Model kurak bir dönemde başlatılıyorsa nominal değer in altında değilse üstünde mm alınmalıdır.	N/A	PWATER	0,025-2500	0,025
LZSN	Aşağı tabaka nominal deposu. Bu parametre yağışın yıllık döngüsü ve evapotranspirasyon ile ilgilidir.	mm	PWATER	0,25-2500	....
MELEV	Geçirgen sahanın ortalama yüksekliği	m	SNOW	900 - 1100	
MGMELT	Yer sıcaklığı ile kar erimesinin maksimum hızı.	mm/gün	SNOW	0,0-25,0	0,25
MSTLFG	MSTLAY bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0,0
MWATER	Kar örtüsündeki maksimum su içeriği, su eşiti olarak derinlik başına su derinliği.	N/A	SNOW	0,01 – 0,05	0,03
NBLKS	Geçirgen sahanın bölündüğü blok sayısı	N/A	PERLND	1-1	1
NITRFG	NITR bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0,0
NSUR	Yüzeysel akış için Manning's n. değeri.	N/A	PWATER	0,001-1,0	0,1
NSURM(12)	Aylık Manning's n değeri	kompleks	PWATER	0,001-1,0	0,10
NVSI	Atmosferden kopan sediment deposuna sediment giriş hızı; negatif bir değer girilebilir (örneğin, insan kg/ha.gün aktivitesi veya rüzgar tarafından uzaklaşma simulasyonunda).	kg/ha.gün	SEDMNT	....-.....	0,0
NVSIM(12)	Aylık net dikey sediment girişi	kg/ha.gün	SEDMNT	....-....	0,0
OUNITS	Zaman serileri çıktılarındaki birimler--1=İngilizce, 2=metrik	N/A	PERLND	1-2	1
Pack-watr	Örtüdeki sıvı suyun miktarı	mm	SNOW	0,0-....	0,0
Pack-snow	Örtüdeki karın miktarı (su olarak)	mm	SNOW	0,0-....	0,0
Pack-ice	Örtüdeki buzun miktarı (su olarak)	mm	SNOW	0,0-....	0,0
PAKTMP	Örtünün donmuş kısımlarındaki ortalama sıcaklık	°C	SNOW	....-0,0	0,0
PESTFG	PEST bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0,0
PETMAX	Giriş zaman serilerinden elde edilen değerden aşağı düşürülen evapotranspirasyondan düşük olan hava sıcaklığı	°C	PWATER	....-....	4,5
PETMIN	Giriş zaman serilerinden bağımsız olarak altında evapotranspirasyonun sıfır olacağı sıcaklık	°C	PWATER	...-...	1,7
PFLAG(12)	Çıktı sevileri	N/A	PERLND	2-6	4
PHOSFG	PHOS bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0,0
PIVL	İkinci kademe çıktılar arasındaki boşluk sayısı	N/A	PERLND	1-1440	1
PSTFG	PSTEMP bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0,0
PUNIT(2)	İngilizce ve/veya metrik birimler için Fortran çıktı birimi, 0= bu sistem için ikisi de geçerli değil	N/A	PERLND	0-99	0,0

PQUALFG	PQUAL bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0,0
PWATFG	PWATER bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0,0
PWGFG	PWTGAS bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0,0
PYREND	Yılın son takvim ayı	N/A	PERLND	1-12	9
RDCSN	Soğuk, yeni karın suya göre yoğunluğu.	N/A	SNOW	0,1 - 0,2	0,15
RDENPF	Örtünün donmuş kısımlarının (kar+buz) suya göre yoğunluğu	N/A	SNOW	0,01-1,0	0,2
RTOPFG	Yüzeysel akış yeni metot yerine HSPX metoduna göre mi yönlendirilsin?	N/A	PWATER	0 - 1	0
SDOPFG	Sedimentin toprak yüzeyinden uzaklaşması yeni metot yerine ARM ve NPS modellerine göre mi modellensin?	N/A	SEDMNT	0-1	0
SEDFG	SEDMNT bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0
SHADE	Geçirgen sahanın gölgeli (ormanla kaplı) kısımlarının oranı.	N/A	SNOW	0,15-1,0	1,0
SKYCLR	Açık olan gökyüzünün oranı	N/A	SNOW	0,15-1,0	1,0
SLSUR	Tahmin edilen yüzeysel akışın eğimi. Topoğrafya haritalarından bulunabilir.	N/A	PWATER	,000001-10,	....
SMPF	Erozyon kontrolü uygulamalarıyla gerçekleştirilen erozyonun azaltılması simulasyonunda kullanılan "Erozyon önleme uygulaması faktörü"	N/A	SEDMNT	0,001-1,0	1,0
SNOEVP	Kar buharlaşma eşitliğini saha koşullarına uyarlamak için gerekli parametre.	N/A	SNOW	0,0-1,0	0,1
SNOWCF	Kaydedilen kar yağışı verilerinin zayıf kar toplama verimini düzeltmek için çarpıldığı faktör.	N/A	SNOW	1,0 - 100	....
SNOWFG	SNOW bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0
SURS	Yüzeysel akış depolanması	mm	PWATER	0,0-2500	0
TRACFG	TRACER bölümü aktif mi?	N/A	PERLND	0-1	0
TSNOW	Doğun koşullarda, altındaki sıcaklıklarda yağışın kar olarak düştüğü hava sıcaklığı	°C	SNOW	-1,0 - 5,0	0,0
UUNITS	UCI birimi--1=İngilizce, 2=Metrik	N/A	PERLND	1-2	1
UZFG	Üst bölge akışı yeni metot yerine HSPX ile mi hesaplanacak?	N/A	PWATER	0-1	0
UZS	Üst bölge depolanması. Bu parametre üst bölge için başlangıçtaki toprak nemliliği durumunu belirler. Model kurak bir dönemde başlatılıyorsa nominal değer in altında değilse üstünde alınmalıdır.	mm	PWATER	,025-2500	,025
UZSN	Üst bölge nominal depolanması. Bu parametre genellikle LZSN ve havza topografyası ile ilgilidir.	mm	PWATER	0,25-250,	....
UZSNM(12)	Aylık üst bölge depolanması	mm	PWATER	0,25-250,	....
VCSFG	Tutulma ile depolanma kapasitesi aylık değişiyor mu?	N/A	PWATER	0-1	0
VIFWFG	Ara akım akış parametresi aylık değişiyor mu?	N/A	PWATER	0-1	0
VIRCFG	Ara akım geri çekilme sabiti aylık değişiyor mu?	N/A	PWATER	0-1	0
VLEFG	Alt bölge Evapotranspirasyon parametresi aylık değişiyor mu?	N/A	PWATER	0-1	0

VNNFG	Manning's n aylık değişiyor mu?	N/A	PWATER	0-1	0
VSIVFG	Net dikey sediment giriş hızı aylık değişsin mi? 2 ise, kopan sediment deposuna, sadece önceki günün yağışsız geçtiği günlerde dikey sediment girişi eklenir.	N/A	SEDMNT	0-2	0
VUZFG	Üst bölge nominal depolanması aylık değişiyor mu?	N/A	PWATER	0-1	0
XLNMLT	Örtüdeki şu anki kalan buz depolanmasındaki muhtemel artış	mm	SNOW	0,0-...	0,0

RCHRES (HYDR, HTRCH, SEDTRN) GİRİŞ VERİLERİ

AIRTMP	RCHRES'deki başlangıç hava sıcaklığı	°C	HTRCH	-70,0-+65,	15,5
ADFG	ADCALC bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
AUX1FG	AUXIL altbölümü derinlik, basamak, yüzey alanı, ortalama derinlik ve yüzey genişliği hesaplamak ve bu parametreleri yazdırmak için çağrılacak mı?	N/A	HYDR	0-1	0
AUX2FG	Ortalama hız ve ortalama en kesit alan hesaplanıp yazdırılacak mı?	N/A	HYDR	0-1	0
AUX3FG	Kesme hızı ve yatak kesme stresi hesaplanacak mı?	N/A	HYDR	0-1	0
BEDDEP	Yatağın başlangıçtaki toplam derinliği	m	SEDTRN	0,0-...	0,0
BEDWID	HSPF'in üst genişlik, basamak vb. haricinde sediment depolandığını varsaydığı en-kesit genişliği	m	SEDTRN	0,3-...	...
BEDWRN	Aşıldığında (örneğin birikim nedeniyle) uyarı mesajı verilen yatak derinliği	m	SEDTRN	0,0003-....	30,5
CFSAEX	Güneş ışıması için düzeltme faktörü (RCHRES yüzeyinin ışıma maruz kalan yüzdesini içerir)	N/A	HTRCH	0,001-2,0	1,0
COLIND(5)	Çıkış için, çıkış akımı ihtiyacı bileşkesi F(VOL) başlangıç değerini hesaplamada kullanılacak kolon çifti	N/A	HYDR	4,0-8,0	4,0
CONSG	CONS bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
CONVFM(12)	Aylık F(VOL) ayarlama faktörü	N/A	HYDR	0,0-...	0,0
CFSAEX	Güneş ışıması için düzeltme faktörü (RCHRES yüzeyinin ışıma maruz kalan yüzdesini içerir)	N/A	HTRCH	0,001-2,0	1,0
D	Taşınan kum partiküllerinin efektif çapı	mm	SEDTRN	0,025-2500	...
D	Silt veya kil partiküllerinin efektif çapı	mm	SEDTRN	0,0-0,07	0,0
DB50	Yatak sedimentinin medyan çapı (işletim boyunca sabit kabul edilir)	mm	HYDR	0,0025-2500	0,25
DELTH	RCHRES'de yukarı nehirde aşağı nehire su yüksekliğindeki düşüş	m	SEDTRN	0,0-...	0,0
ELDAT	RCHRES ve ölçüm istasyonu arasındaki yükseklik farkı (RCHRES, istasyondan daha yüksek ise pozitif)	m	HTRCH	...-....	0,0
ELEV	Ortalama RCHRES yüksekliği	m	HTRCH	0,0-10000	0,0
EXPSND	Kum yükü güç fonksiyonu formülünün eksponenti	kompleks	SEDTRN	0,0-....	0,0
Frac-clay	Yatak malzemesindeki başlangıç (ağırlıkça) kil yüzdesi	N/A	SEDTRN	0,0-0,9999	0,0
Frac-sand	Yatak malzemesindeki başlangıç (ağırlıkça) kum yüzdesi	N/A	SEDTRN	0,0001-1,0	1,0

Frac-silt	Yatak malzemesindeki başlangıç (ağırlıkça) silt yüzdesi	N/A	SEDTRN	0,0-0,9999	0,0
FTABNO	Tablo parametresi	N/A	HYDR	1-999	....
FTBDSN	Tablo parametresi	N/A	HYDR	0-999	0
FUNCT(5)	Çıkış akımı ihtiyacı bileşenlerini kombine etmekte kullanılan fonksiyonu belirler 1 =MIN(F(VOL),G(T)); 2 = MAX(F(VOL),G(T)); 3 = SUM(F(VOL),G(T))	N/A	HYDR	1-3	1
GQUALFG	GQUAL bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
HTFG	HTRCH bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
HYDRFG	HYDR bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
IUNITS	Giriş verileri zaman serilerinin birimleri--1=İngilizce, 2=metrik	N/A	RCHRES	1-2	1
KCOND	Kondüksiyon-konveksiyon ısı transfer katsayısı	N/A	HTRCH	1,0-20,0	6,12
KEVAP	Buharlaştırma katsayısı	N/A	HTRCH	1,0-10,0	2,24
KS	Hidrolik rota için ağırlık faktörü	N/A	HYDR	0,0-0,99	0,0
KSAND	Kum yükü güç fonksiyonu formülü katsayısı	kompleks	SEDTRN	0,0-....	0,0
LEN	RCHRES uzunluğu	km	HYDR	....	0,016-...
LKFG	RCHRES'in göl mü (1) yada akarsu/nehir mi (0)olduğu	N/A	RCHRES	0-1	0
M	Sedimentin aşınabilirlik katsayısı	kg/m ² .d	SEDTRN	0,0-...	0,0
NEXITS	RCHRES'den çıkış sayısı	N/A	RCHRES	1-5	1
NUTFG	NUTRX bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
ODFVFG(5)	Çıkış akımı ihtiyacının F(VOL) bileşenlerini belirler-- 0 ise, çıkış akımı ihtiyacı hacme dayalı bileşen içermez; Eğer 0'dan büyük ise, F(VOL) bileşenini içeren RCHTAB'daki kolon numarasını ifade eder; Eğer 0'dan küçük ise, mutlak değer COLIND()'in bileşenini ifade eder.	N/A	HYDR	-5 - +8	0
ODGTFG(5)	Çıkış akımı ihtiyacının G(T) bileşenini belirler. - 0 ise, çıkış akımı ihtiyacı böyle bir bileşen içermez; N/A 0'dan büyük ise G(T) bileşenini içeren OUTDGT()element numarasını belirler.	N/A	HYDR	0-5	0
OUNITS	Çıkış zaman serilerinin birimleri--1=İngilizce, 2=metrik	N/A	RCHRES	1-2	1
OUTDGT(5)	RCHRES'den herbir çıkış için başlangıç çıkış akımı ihtiyacının G(T) bileşeni	m ³ /s	HYDR	0,0-...	0,0
OXFG	OXRX bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
PFLAG(10)	Yazdırma seviyesi	N/A	RCHRES	2-6	4
PHFG	PHCARB bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-3	0
PIVL	2 seviye yazdırma arasındaki aralık numaraları	N/A	RCHRES	1-1440	1
PLKFG	PLANK bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
POR	Yatak gözenekliliği (boşluk hacmi/toplam hacim)	N/A	SEDTRN	0,1-0,9	0,5

PUNIT(2)	İngilizce ve/veya metrik birimler için Fortran çıkış birimi, 0=Bu sistem için olmadığını gösterir.	N/A	RCHRES	0-99	0
PYREND	Yıl sonu takvim ayı	N/A	RCHRES	1-12	9
RCHID(5)	RCHRES için belirleyici parametre	N/A	RCHRES-.....	-----
RHO	Kum partiküllerinin yoğunluğu	g/cm ³	SEDTRN	1,0-4,0	2,65
RHO	Silt ve kil partiküllerinin yoğunluğu	g/cm ³	SEDTRN	2,0-4,0	2,65
SANDFG	Kum yükü simulasyonu metodu: 1 = Toffaleti metodu; 2 = Colby metodu; 3 = kullanıcı tarafından belirlenen üssel fonksiyon	N/A	SEDTRN	1-3	3
SEDFG	SEDTRN bölümü aktif mi?	N/A	RCHRES	0-1	0
SSED(3)	Askıda kum, silt ve kil başlangıç derişimi	mg/l	SEDTRN	0,0-...	0,0
STCOR	Basamak hesabı için RCHRES derinliğinin düzeltilmesi -- Derinlik + STCOR = Basamak	m	HYDR	...-.....	0,0
TAUCD	Birikim için kritik yatak kesme kuvveti	kg/m ²	SEDTRN	1,0E-10-...	1,0E10
TAUCS	Aşınma için kritik yatak kesme kuvveti	kg/m ²	SEDTRN	1,0E-10-...	1,0E10
UUNITS	UCI birimleri--1=İngilizce, 2=Metrik	N/A	RCHRES	1-2	1
VCONFIG	F(VOL) çıkış akımı ihtiyacı bileşenlerinin çarpıldığı faktör aylık değişiyor mu?	N/A	HYDR	0-1	0
VOL	RCHRES'deki suyun başlangıç hacmi	Mm ³	HYDR	0,0-...	0,0
W	Taşınan kum partiküllerinin durağan suda çökme hızı	mm/s	SEDTRN	0,5-12500	...
W	Durağan suda silt veya kil partiküllerinin çökme hızı	mm/s	SEDTRN	0,0-5,0	0,0

EK-2

PROGRAMIN ÇALIŞTIRILMASI İÇİN HAZIRLANAN UCI DOSYASI

RUN

GLOBAL

ORTA SEYDİ SUYU HAVZASI HİDROLOJİK VE SEDİMENT MODELİ
START 1990/10/ 1/ 0/ 0 END 1994/ 9/30/24/ 0
RUN INTERP OUTPUT LEVEL 3
RESUME 0 RUN 1

END GLOBAL

FILES

<FILE> <UN#>***<-----FILE NAME----->
WDM 21 C:\HSPF10\SEYDI.WDM
MESSU 22 SEYDI.ECH
51 C:\HSPF10\SEYDI.txt
INFO 23 HSPINF.DA
ERROR 24 HSPERR.DA
WARN 25 HSPWRN.DA
END FILES

OPN SEQUENCE

INGRP INDELT 01:00
PERLND 1
PERLND 2
RCHRES 1
RCHRES 2
PERLND 3
PERLND 4
RCHRES 3
GENER 1
PLTGEN 1

END INGRP

END OPN SEQUENCE

PERLND

ACTIVITY

<PLS > Active Sections (1=Active; 0=Inactive) ***
- # ATMP SNOW PWAT SED PST PWG PQAL MSTL PEST NITR PHOS TRAC ***
1 4 1 1 1 1

END ACTIVITY

PRINT-INFO

<PLS > Print-flags *** PIVL PYR
- # ATMP SNOW PWAT SED PST PWG PQAL MSTL PEST NITR PHOS TRAC ***
1 4 2 1 9

END PRINT-INFO

GEN-INFO

<PLS ><-----Name----->NBLKS Unit-systems Printer ***
- # User t-series Engr Metr ***
in out ***
1 P1 1 2 2 2 0 0
2 P2 1 2 2 2 0 0
3 P3 1 2 2 2 0 0
4 P4 1 2 2 2 0 0

END GEN-INFO

*** SECTION ATEMP ***

ATEMP-DAT

<PLS > El-diff Airtmp ***
- # (m) (DegC) ***
1 354. 5.4
2 298. 5.4
3 206. 5.4
4 138. 5.4

END ATEMP-DAT

*** Section SNOW ***

ICE-FLAG

<PLS > 0= Ice formation not simulated; 1= Simulated ***

- # ICEFG ***

1 4 1

END ICE-FLAG

SNOW-PARM1

<PLS > Snow input info: Part 1 ***

- # LAT MELEV SHADE SNOWCF COVIND ***

1 39. 1155. 0.1 1.2 0.5

2 39. 1099. 0.005 1.2 0.5

3 39. 1007. 0.0 1.2 0.5

4 39. 939. 0.0 1.2 0.5

END SNOW-PARM1

SNOW-PARM2

<PLS > Snow input info: Part 2 ***

- # RDCSN TSNOW SNOEVP CCFACT MWATER MGMELT ***

1 4 0.15 0. 0.1 1.0 0.03 0.25

END SNOW-PARM2

SNOW-INIT1

<PLS > Initial snow conditions: Part 1 ***

- # PACKSNOW PACKICE PACKWATER RDENPF DULL PAKTMP ***

1 4 0.0 0.0 0.0 0.2 400. 0.0

END SNOW-INIT1

SNOW-INIT2

<PLS > Initial snow conditions: Part 2 ***

- # COVINX XLNMLT SKYCLR ***

1 4 0.25 0.0 1.0

END SNOW-INIT2

*** Section PWATER ***

PWAT-PARM1

<PLS > PWATER variable monthly parameter value flags ***

- # CSNO RTOP UZFG VCS VUZ VNN VIFW VIRC VLE ***

1 4 1 1 1 1 1 1 1 1

END PWAT-PARM1

PWAT-PARM2

<PLS > *** PWATER input info: Part 2

- # ***FOREST LZSN INFILT LSUR SLSUR KVARY AGWRC

1 0.1 80.0 20.000 1219. 0.069 0.0 0.99

2 0.005 80.0 20.000 2040. 0.050 0.0 0.99

3 0.000 80.0 20.000 2314. 0.043 0.0 0.99

4 0.000 80.0 20.000 1961. 0.013 0.0 0.99

END PWAT-PARM2

PWAT-PARM3

<PLS > *** PWATER input info: Part 3

- # ***PETMAX PETMIN INFEXP INFILD DEEPFR BASETP AGWETP

1 4 4.5 1.7 2.0 2.0 0.35 0.30 0.25

END PWAT-PARM3

PWAT-PARM4

<PLS > PWATER input info: Part 4 ***

- # CEPSC UZSN NSUR INTFW IRC LZETP ***

1 1.00 15. 0.15 2.0 0.65 0.10

2 0.85 15. 0.15 2.0 0.65 0.10

3 0.60 15. 0.15 2.0 0.65 0.10

4 0.50 15. 0.15 2.0 0.65 0.10

END PWAT-PARM4

```

MON-INTERCEP
<PLS> Only required if VCSFG=1 in PWAT-PARM1 ***
# - # Interception storage capacity at start of each month ***
      JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ***
1     0.01 0.05 0.1 0.3 1.7 2.5 2.5 2.5 2.4 0.1 0.01 0.01
2     0.01 0.05 0.1 0.3 1.7 2.5 2.5 2.5 2.4 0.1 0.01 0.01
3     0.01 0.05 0.08 0.2 1.6 2.5 2.5 2.5 2.4 0.1 0.01 0.01
4     0.01 0.05 0.08 0.1 1.6 2.5 2.5 2.5 2.4 0.1 0.01 0.01
END MON-INTERCEP

MON-UZSN
<PLS> Only required if VUZFG=1 in PWAT-PARM1 ***
# - # Upper zone storage at start of each month ***
      JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ***
1     4 6.0 6.0 6.5 6.5 8.0 8.0 8.0 8.0 7.0 6.5 6.0 6.0
END MON-UZSN

MON-MANNING
<PLS > Only required if VNNFG=1 in PWAT-PARM1 ***
# - # Manning's n for overland flow at start of each month ***
      JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ***
1     0.30 0.30 0.30 0.30 0.27 0.25 0.25 0.25 0.25 0.25 0.35 0.33
2     0.30 0.30 0.30 0.30 0.27 0.25 0.25 0.25 0.25 0.25 0.35 0.33
3     0.30 0.30 0.30 0.30 0.27 0.25 0.25 0.25 0.25 0.25 0.35 0.33
4     0.30 0.30 0.30 0.30 0.27 0.25 0.25 0.25 0.25 0.25 0.35 0.33
END MON-MANNING

MON-INTERFLW
<PLS > Only required if VNNFG=1 in PWAT-PARM1 ***
# - # Interflow inflow parameter at start of each month ***
      JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ***
1     4 1.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 5.00 5.00 2.00 2.00 1.00 1.00
END MON-INTERFLW

MON-IRC
<PLS > Only required if VNNFG=1 in PWAT-PARM1 ***
# - # Interflow recession constant at start of each month ***
      JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ***
1     4 0.65 0.65 0.65 0.65 0.65 0.65 0.65 0.65 0.65 0.65 0.65
END MON-IRC

MON-LZETPARM
<PLS > Only required if VLEFG=1 in PWAT-PARM1 ***
# - # Lower zone ET parameter at start of each month ***
      JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ***
1     4 0.01 0.05 0.08 0.24 0.50 0.55 0.55 0.55 0.50 0.01 0.01 0.01
END MON-LZETPARM

PWAT-STATE1
<PLS > *** Initial conditions at start of simulation
# - # *** CEPS SURS UZS IFWS LZS AGWS GWVS
1     4 0.00 0.0 0.05 0.0 0.39 0.00 1.00
END PWAT-STATE1

*** Section SEDMNT ***

SED-PARM1
<PLS > ***
# - # CRV VSIV SDOP ***
1     4 1 0 0
END SED-PARM1

SED-PARM2
<PLS > ***
# - # SMPF KRER JRER AFFIX COVER NVSI ***
1     1.0 0.30 3.0 .030 0.0 0.0
2     1.0 0.30 3.0 .030 0.00 0.0
3     1.0 0.30 3.0 .030 0.0 0.0
4     1.0 0.30 3.0 .030 0.0 0.0
END SED-PARM2

```

SED-PARM3

```
<PLS > ***
# - #      KSER      JSER      KGER      JGER ***
1   4      0.9      0.70     1.2      0.67
END SED-PARM3
```

MON-COVER

```
<PLS > Monthly values for erosion-related land cover ***
# - #      JAN      FEB      MAR      APR      MAY      JUN      JUL      AUG      SEP      OCT      NOV      DEC ***
1       .40      .40      .40      .40      .60      .60      .60      .60      .60      .40      .40      .40
2       .02      .02      .02      .02      .35      .35      .35      .35      .35      .02      .02      .02
3       .00      .00      .00      .00      .33      .33      .33      .33      .33      .00      .00      .00
4       .00      .00      .00      .00      .33      .33      .33      .33      .33      .00      .00      .00
END MON-COVER
```

MON-NVSI

```
<PLS > Monthly net vertical sediment input ***
# - #      JAN      FEB      MAR      APR      MAY      JUN      JUL      AUG      SEP      OCT      NOV      DEC ***
1   4      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
END MON-NVSI
```

SED-STOR

```
<PLS > Detached sediment storage (tons/acre) *** ***
# - #
1   4      0.0
END SED-STOR
END PERLND
```

RCHRES

```
ACTIVITY
RCHRES Active Sections (1=Active, 0=Inactive) ***
# - #      HYFG      ADFG      CNFG      HTFG      SDFG      GQFG      OXFG      NUFG      PKFG      PHFG ***
1   3      1       1       0       1       1       0       0       0       0       0
END ACTIVITY
```

PRINT-INFO

```
RCHRES Print-flags ***
# - #      HYDR      ADCA      CONS      HEAT      SED      GQL      OXRX      NUTR      PLNK      PHCB      PIVL      PYR ***
1   3      3
END PRINT-INFO
```

GEN-INFO

```
RCHRES<-----Name----->Nexit Unit Systems Printer ***
# - #      User t-series Engr Metr LKFG ***
      in out
1   REACH 1      1   2   2   2   0   0   0
2   REACH 2      1   2   2   2   0   0   0
3   REACH 3      1   2   2   2   0   0   0
END GEN-INFO
```

*** Section HYDR ***

HYDR-PARM1

```
RCHRES Flags for HYDR section ***
# - #      VC A1 A2 A3 ODFVFG for each ODGTFG for each *** FUNCT for each
      FG FG FG FG possible exit possible exit *** possible exit
      1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 ***
1       0 1 1 1 4
2       0 1 1 1 4
3       0 1 1 1 4
END HYDR-PARM1
```

HYDR-PARM2

```
RCHRES ***
# - #      DSN      FTBN      LEN      DELTH      STCOR      KS      DB50 ***
1       00      1       5.8      24.      .5      0.103
2       00      2      14.6      33.      .5      0.103
3       00      3      19.4      33.      .5      0.103
END HYDR-PARM2
```

HYDR-INIT

RCHRES Initial conditions for HYDR section ***
 # - # VOL Initial value of COLIND *** Initial value of OUTDGT
 (ac-ft) for each possible exit *** for each possible exit
 EX1 EX2 EX3 EX4 EX5 *** EX1 EX2 EX3 EX4 EX5

1	0.002									
2	0.004									
3	0.005									

END HYDR-INIT

*** Section HTRCH ***

HEAT-PARM

RCHRES	ELEV	ELDAT	CFSAEX	KATRAD	KCOND	KEVAP ***
# - #						***
1	988.	187.	0.1			
2	959.	158.	0.1			
3	923.	122.	0.1			

END HEAT-PARM

HEAT-INIT

RCHRES	TW	AIRTMP ***
# - #		***
1 3	10.	5.4

END HEAT-INIT

*** Section SEDTRN ***

SANDFG

RCHRES	***
# - #	SNDFG ***
1	1
2	1
3	1

END SANDFG

SED-GENPARM

RCHRES	BEDWID	BEDWRN	POR ***
# - #			***
1 3	2.	0.5	0.476

END SED-GENPARM

SAND-PM

RCHRES	D	W	RHO	KSAND	EXPSND ***
# - #					***
1 3	.103	23.1	2.65		

END SAND-PM

SILT-CLAY-PM

RCHRES	D	W	RHO	TAUCD	TAUCS	M ***
# - #						***
1 3	.01818	.0799	2.6	.002	.002	.3

END SILT-CLAY-PM

SILT-CLAY-PM

RCHRES	D	W	RHO	TAUCD	TAUCS	M ***
# - #						***
1 3	.00152	.00311	2.6	.002	.002	.3

END SILT-CLAY-PM

SSED-INIT

RCHRES	Suspended sed concs (mg/l) ***		
# - #	Sand	Silt	Clay ***
1 3	0.3	3.6	0.03

END SSED-INIT

BED-INIT

RCHRES	BEDDEP	Initial bed composition ***		
# - #	(ft)	Sand	Silt	Clay ***
1 3	0.0001	0.069	0.924	0.007

END BED-INIT

END RCHRES

FTABLES

FTABLE 1

ROWS COLS ***

11 4

DEPTH (M)	AREA (HA)	VOLUME (Mm3)	DISCH *** (m3S) ***
0	0.00	0.0000	.0000
0.1	2.60	0.0017	.0309
0.2	3.35	0.0043	.1318
0.35	4.12	0.0092	.4245
0.5	4.70	0.0151	.8948
0.75	5.46	0.0262	2.0887
1	6.07	0.0389	3.8114
1.25	6.59	0.0528	6.0769
1.5	7.05	0.0677	8.8966
1.75	7.46	0.0836	12.2796
2	7.84	0.1004	16.2340

END FTABLE 1

FTABLE 2

ROWS COLS ***

11 4

DEPTH (M)	AREA (HA)	VOLUME (Mm3)	DISCH *** (M3S) ***
0	0.00	0.0000	0.0000
0.1	6.54	0.0042	0.0309
0.2	8.44	0.0108	0.1318
0.35	10.38	0.0233	0.4245
0.5	11.84	0.0379	0.8948
0.75	13.74	0.0660	2.0887
1	15.28	0.0979	3.8114
1.25	16.59	0.1329	6.0769
1.5	17.74	0.1705	8.8966
1.75	18.78	0.2106	12.2797
2	19.73	0.2528	16.2340

END FTABLE 2

FTABLE 3

ROWS COLS ***

11 4

DEPTH (M)	AREA (HA)	VOLUME (Mm3)	DISCH *** (M3S) ***
0	0.00	0.0000	0.0000
0.1	8.69	0.0056	0.0309
0.2	11.22	0.0144	0.1318
0.35	13.79	0.0309	0.4245
0.5	15.73	0.0504	0.8948
0.75	18.26	0.0878	2.0887
1	20.31	0.1301	3.8114
1.25	22.05	0.1765	6.0769
1.5	23.58	0.2266	8.8966
1.75	24.96	0.2798	12.2797
2	26.22	0.3360	16.2340

END FTABLE 3

END FTABLES

GENER

OPCODE

- # Op- ***
code ***

1 16

END OPCODE

END GENER

PLTGEN

PLOTINFO

- # FILE NPT NMN LABL PYR PIVL ***
1 51 1 24

END PLOTINFO

GEN-LABELS

- # <-----Title-----> *** <-----Y axis----->

1 SIMULATED SEDIMENT FROM REACH 3

END GEN-LABELS

SCALING

```

> # - #      YMIN      YMAX      IVLIN ***
1          0.      1500.      20.
END SCALING

```

CURV-DATA

```

      (first curve)
      <-Curve label--> Line Intg Col Tran ***
      # - #              type eqv code code ***
1          R3 SEDIMENT      5      1 SUM
END CURV-DATA

```

END PLTGEN

EXT SOURCES

```

<-Volume-> <Member> SsysSgap<--Mult-->Tran <-Target vols> <-Grp> <-Member-> ***
<Name> # <Name> # tem strg<-factor->strg <Name> # # <Name> # # ***
WDM 14 TEM3 METR AVER PERLND 1 4 EXTNL GATMP
WDM 21 TDEW METR AVER PERLND 1 4 EXTNL DTMPG
WDM 31 CLDN METR SAME PERLND 1 4 EXTNL CLOUD
WDM 61 POTE METR SAME PERLND 1 4 EXTNL PETINP
WDM 52 SOLR METR SAME PERLND 1 4 EXTNL SOLRAD
WDM 71 WIND METR 3.6AVER PERLND 1 4 EXTNL WINMOV
WDM 161 PREC METR SAME PERLND 1 4 EXTNL PREC
WDM 157 FLIX METR DIV RCHRES 1 EXTNL IVOL
WDM 81 PREC METR SAME RCHRES 1 3 EXTNL PREC
WDM 61 POTE METR SAME RCHRES 1 3 EXTNL POTEV
WDM 14 TEM3 METR AVER RCHRES 1 3 EXTNL GATMP
WDM 21 TDEW METR AVER RCHRES 1 3 EXTNL DEWTMP
WDM 31 CLDN METR SAME RCHRES 1 3 EXTNL CLOUD
WDM 71 WIND METR 3.6AVER RCHRES 1 3 EXTNL WIND
WDM 52 SOLR METR SAME RCHRES 1 3 EXTNL SOLRAD
WDM 97 ISED METR DIV RCHRES 1 INFLOW ISED
END EXT SOURCES

```

NETWORK

```

<-Volume-> <-Grp> <-Member-><--Mult-->Tran <-Target vols> <-Grp> <-Member-> ***
<Name> # <Name> # #<-factor->strg <Name> # # <Name> # # ***
PERLND 1 PWATER PERO 0.0085 RCHRES 1 INFLOW IVOL 1
PERLND 1 PWATER PERO .09194 RCHRES 2 INFLOW IVOL 1
PERLND 1 SEDMNT SOSED 297.5 RCHRES 1 INFLOW ISED 1
PERLND 1 SEDMNT SOSED 467.5 RCHRES 1 INFLOW ISED 2
PERLND 1 SEDMNT SOSED 85.0 RCHRES 1 INFLOW ISED 3
PERLND 1 SEDMNT SOSED 3217.9 RCHRES 2 INFLOW ISED 1
PERLND 1 SEDMNT SOSED 5056.7 RCHRES 2 INFLOW ISED 2
PERLND 1 SEDMNT SOSED 919.4 RCHRES 2 INFLOW ISED 3
PERLND 2 PWATER PERO 0.0096 RCHRES 1 INFLOW IVOL 1
PERLND 2 PWATER PERO 0.1383 RCHRES 2 INFLOW IVOL 1
PERLND 2 SEDMNT SOSED 4840.5 RCHRES 1 INFLOW ISED 1
PERLND 2 SEDMNT SOSED 7606.5 RCHRES 1 INFLOW ISED 2
PERLND 2 SEDMNT SOSED 1383.0 RCHRES 1 INFLOW ISED 3
PERLND 2 SEDMNT SOSED 336.0 RCHRES 2 INFLOW ISED 1
PERLND 2 SEDMNT SOSED 528.0 RCHRES 2 INFLOW ISED 2
PERLND 2 SEDMNT SOSED 96.0 RCHRES 2 INFLOW ISED 3
PERLND 3 PWATER PERO 0.08978 RCHRES 3 INFLOW IVOL 1
PERLND 3 SEDMNT SOSED 3142.3 RCHRES 3 INFLOW ISED 1
PERLND 3 SEDMNT SOSED 4937.9 RCHRES 3 INFLOW ISED 2
PERLND 3 SEDMNT SOSED 897.8 RCHRES 3 INFLOW ISED 3
PERLND 4 PWATER PERO 0.07609 RCHRES 3 INFLOW IVOL 1
PERLND 4 SEDMNT SOSED 2663.15 RCHRES 3 INFLOW ISED 1
PERLND 4 SEDMNT SOSED 4184.95 RCHRES 3 INFLOW ISED 2
PERLND 4 SEDMNT SOSED 760.9 RCHRES 3 INFLOW ISED 3
RCHRES 1 HYDR ROVOL RCHRES 2 EXTNL IVOL 1
RCHRES 2 HYDR ROVOL RCHRES 3 EXTNL IVOL 1
RCHRES 3 SEDTRN ROSED 2 GENER 1 INPUT ONE 1
RCHRES 3 SEDTRN ROSED 3 GENER 1 INPUT TWO 1
RCHRES 3 HYDR ROVOL PLTGEN 1 INPUT MEAN 1

```

END NETWORK

END RUN

EK-3

GÜNEŞ İŞIMASI HESAPLARINDA KULLANILAN DENKLEMLER

NET KISA-DALGA GÜNEŞ İŞIMASI

Güneş ışınımının, yeryüzüne ulaşan net miktarı saatlik olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$H_{sn} = H_o a_t (1 - R_s) (1 - 0,65 C_L^2) \quad (1)$$

(i) (ii) (iii) (iv)

Burada; H_{sn} , net kısa dalga güneş ışınması akısı, cal/cm²-saat
 H_o , atmosfere ulaşan ışınma akısının miktarı, cal/cm²-saat
 a_t , atmosferik iletim terimi
 R_s , albedo veya yansımaya katsayısı
 C_L , bulutluluk

(1) no'lu eşitlikte, (i) extraterrestrial güneş ışınması, (ii) dağılan ve absorplanan ışınma, (iii) yansımaya ve (iv) bulutluluk'tur.

Dünya dışından gelen ışınma

Belli bir zaman diliminde atmosferin dış katmanlarına çarpan kısa dalga güneş ışınması akısı şu şekilde ifade edilmektedir (Brown [35]):

$$H_o = \frac{H_{sc}}{r^2} \left\{ \sin \frac{\pi \Phi}{180} \sin \delta (t_e - t_b) + \frac{12}{\pi} \cos \frac{\pi \Phi}{180} \cos \delta \left[\sin \left(\frac{\pi t_e}{12} \right) - \sin \left(\frac{\pi t_b}{12} \right) \right] \right\} \Gamma \quad (2)$$

Burada; H_{sc} , güneş sabiti = 120 cal/cm²-saat
 r , dünya yörüngesinin normalize edilmiş yarıçapı
 Φ , bölgenin enlemi, derece
 δ , güneşin eğimi, derece
 t_b, t_e , güneşin doğuşu ve batışı arasında belli bir zaman aralığında sırasıyla başlangıç ve bitiş saat açıları
 Γ , ışınma akısına günlük maruz kalma için düzeltme faktörü

Bu parametrelere ait formüller aşağıda verilmiştir:

a) Dünya-Güneş göreceli uzaklığı

$$r = 1,0 + 0,017 \cos \left[\frac{2\pi}{365} (186 - Dy) \right] \quad (3)$$

Burada; Dy, bir yıldaki gün sayısı (1 ocaktan başlayarak)

b) Eğim

$$\delta = \frac{23,45}{180} \pi \cos \left[\frac{2\pi}{365} (173 - Dy) \right] \quad (4)$$

c) Saat açıları

$$t_b = ST_b - \Delta t_s + ET - 12 \quad (5)$$

ve

$$t_e = ST_e - \Delta t_s + ET - 12 \quad (6)$$

Burada; ST_b ve ST_e seçilen zaman aralığının başlangıç ve bitişindeki standart zamanları'dır.

ET, Gerçek güneş zamanı ve yıllık ortalamalar üzerinden hesaplanan değerler arasındaki saat farkını ifade eden, yılın her günü, Dy, için verilen zaman ifadesi

$$ET = 0,000121 - 0,12319 \sin \left[\frac{2\pi}{365} (Dy - 1) - 0,0714 \right] \quad (7)$$

Δt_s , Standart ve yerel zaman arasındaki saatlik fark

$$\Delta t_s = \frac{\varepsilon}{15} (L_{sm} - L_{lm}) \quad (8)$$

Burada; ε , batı boylamı için -1

ε , doğu boylamı için +1

L_{sm} , standart meridyen boylamı, derece

L_{lm} , Yerel meridyenin boylamı, derece

d) Günlük maruz kalma

$$STr = 12 - \frac{12}{\pi} \arccos \left[\tan \left(\frac{\pi \Phi}{180} \right) \tan \delta \right] + \Delta t_s \quad (9)$$

ve

$$STs = 24 - STr + 2\Delta t_s \quad (10)$$

Burada; STr ve STs güneş doğuşu ve batışı standart zamanlarıdır.

Işıma saçılımı ve absorpsiyon

Atmosferik aktarım terimi, a_t , şu şekilde verilmektedir (Brown [35]):

$$a_t = \frac{a^n + 0.5(1 - a' - d)}{1 - 0.5R_s(1 - a' + d)} \quad (11)$$

Burada; $a^n = \exp \left\{ - [0.465 + 0.0408 P_{wc}] [0.179 + 0.421 \exp(-0.721 \theta_{am})] \theta_{am} \right\}$ (12)

$$\theta_{am} = \frac{\exp(-Z / 2531)}{\sin \alpha + 0.15 \left(\frac{180\alpha}{\pi} + 3.885 \right) - 1.253} \quad (13)$$

Burada; Z = bölgenin yüksekliği,
 m ve α = radyan cinsinden güneşin durumunu göstermektedir.

$$\alpha = \arcsin \left[\sin \frac{\pi \Phi}{180} \sin \delta + \cos \frac{\pi \Phi}{180} \cos \delta \cos \frac{\pi t}{12} \right] \quad (14)$$

Burada, t , Eşitlik (5) ve (6) da gösterildiği gibi saat açısı,

Eşitlik (12)'deki P_{wc} ise, aşağıdaki eşitlikle verilen atmosferdeki yağış oluşturabilecek ortalama günlük su içeriği'dir.

$$P_{wc} = 0.00614 \exp(0.0489 T_d) \quad (15)$$

T_d , aşağıdaki eşitlikten elde edilen çığ noktası sıcaklığıdır, ($^{\circ}F$).

$$T_d = \ln [(e_a + 0.0837) / 0.1001] / 0.03 \quad (16)$$

Burada; e_a = havanın su buhar basıncıdır.

Ortalama atmosfer katsayısı, a' , Eşitlik (12)'ye benzer şekilde ifade edilir:

$$a^n = \exp \left\{ - [0.465 + 0.0408 P_{wc}] [0.129 + 0.171 \exp(-0.880 \theta_{am})] \theta_{am} \right\} \quad (17)$$

Bulutluluk

Güneş ışınması akısının azalma etkisi verilmiştir:

$$C_s = 1,0 - 0,65 C_L^2 \quad (18)$$

Burada; C_L gökyüzünün kaplı olduğu ondalık kesir.

Bu eşitliğin $C_L = 1,0$ gibi aşırı durumlar dışında güvenilir sonuçlar verdiği (Brown [35]) tarafından rapor edilmiştir.

Yansıma

Yansıma katsayısı, R_s ; güneş durumunun, α , bir fonksiyonu olarak ampirik bir formülle yaklaşık olarak hesaplanabilir (Brown [35])

$$R_s = A \alpha^B$$

α , derece

A ve B ise bulutluluğun, C_L , fonksiyonu'dur.

A ve B için verilen değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. R_s hesabı için ampirik katsayılar

Bulutluluk C_L	0		0,1- 0,5		0,6 - 0,9		1,0	
	Açık		Dağılmış		Kırık		Kapalı	
Katsayılar	A	B	A	B	A	B	A	B
	1,18	-0,77	2,20	-0,97	0,95	-0,75	0,35	-0,45

EK-4 LOWESS YÖNTEMİ

LOWESS x 'e bağlı y değerlerinden oluşan bir ilişkinin grafiksel olarak daha iyi görünmesi için uygulanan bir yöntemdir. LOWESS yönteminde (Cleveland [33]), x eksenini boyunca değişik genişlikte pencereler kullanılarak, her x noktası için pencere sınırları dahilinde yerel bir regresyon uygulanır. Bu regresyon için aşağıdaki fonksiyon optimize edilir.

$$\sum_{k=1}^n W_k(x_i) (y_k - \beta_0 - \beta_1 x_k - \dots - \beta_d x_k^d)^2 \quad (1)$$

Bu fonksiyondaki W , pencere içinde kullanılan bir ağırlık fonksiyonu β , regresyon eğrisinin parametreleri'dir.

W için genel olarak trikübik bir fonksiyon kullanılmaktadır.

$$W(x) = \begin{cases} (1 - |x|^3)^3 & |x| < 1 \\ 0 & |x| \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Regresyon sonucunda elde edilen y değerleri ile gerçek y değerleri arasındaki farklar (kalıntılar) hesaplanır. Bu kalıntıların (e_k), ortancası (s) hesaplandıktan sonra aşağıdaki eşitlikle verilen ağırlıklar δ_k bulunur.

$$\delta_k = B(e_k / 6s) \quad (3)$$

Burada, B genel olarak aşağıdaki gibi alınan bir fonksiyon'dur.

$$B(x) = \begin{cases} (1 - x^2)^2 & |x| < 1 \\ 0 & |x| \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

δ_k ağırlıkları kullanılarak ikinci bir regresyondan sonra söz konusu olan x noktasındaki y değeri LOWESS eğrisi değeridir.

İşlem, x eksenini boyunca her x noktası için tekrarlanır. Pencere genişliği yıllık, mevsimlik veya tüm periyodu kapsayacak şekilde alınabilir. Pencere genişliği elde edilen LOWESS eğrisinin düzgünlüğünü belirler.