

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PORSUK ÇAYI HAVZASI
YÖNETİM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİNDE
DPSİR YAKLAŞIMININ KULLANILMASI**

Hasan Cenk ÇETİN

Ekim, 2011

ZM R

PORSUK ÇAYI HAVZASI
YÖNETİM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİNDE
DİSPERSİYELERİN KULLANILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
Sanat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları
Anabilim Dalı

Hasan Cenk ÇETİN

Ekim, 2011

ZM R

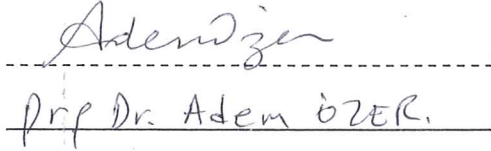
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

HASAN CENK ÇETİN, tarafından danışman PROF. DR. NİLGÜN HARMANCIOĞLU yönetiminde hazırlanan “PORSUK ÇAYI HAVZASI YÖNETİM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİNDE DPSİR YAKLAŞIMININ KULLANILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

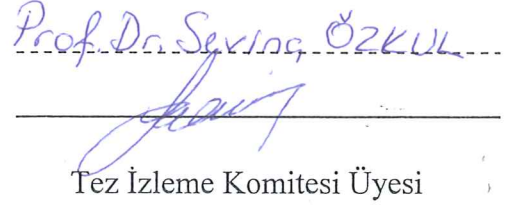


Prof. Dr. Nilgün HARMANCIOĞLU

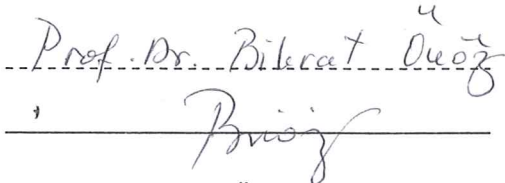
Danışman



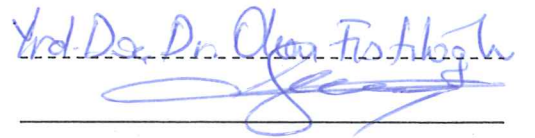
Tez İzleme Komitesi Üyesi



Tez İzleme Komitesi Üyesi



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında üstün öngörüsü ve bilgisiyle pek çok noktada beni yönlendiren ve eğitimime önemli katkılar sağlayan danışmanım sayın Prof. Dr. Nilgün HARMANCIOĞLU'na en içten duygularıyla teşekkür ediyorum. Özellikle çalışmamın bir bölümünde bana büyük destek veren, değerlendirmeleri ve katkılarıyla yardımcı olan tez izleme komitesi üyem sayın Prof. Dr. Sevinç ÖZKUL'a; tez çalışmamın içeriğinin şekillenmesinde büyük emeği olan ve her türlü bilgisini sakınmadan benimle paylaşan sevgili dostum Yrd. Doç. Dr. Barış YILMAZ'a; tez içeriği konusunda bilgisine ve tecrübesine başvurduğum ve sıkılmadan sorularıma cevap aldığım hocam sayın Dr. Ali GÜL'e ve çalışmalarım sırasında bana her zaman moral veren ve güven aşıl原因an hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Okan Fıstıkoğlu'na şükranlarımı sunuyorum. Çalışma kapsamında kullandığım verilerin temininde büyük yardımları olan DSİ Şanlıurfa Bölge Müdürü sayın Sait UMUCU'ya ve DSİ Eskişehir Bölge Müdürlüğü ilgili personeline sonsuz teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamı yaptığım doktora programına katılmamda bana desteklerini esirgemeyen ve her zaman yardımcı olan Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü öğretim üyeleri sayın Prof. Dr. Ahmet TUNCAN, sayın Prof. Dr. Mustafa TUNCAN, sayın Doç. Dr. Ömer ARIÖZ ve sayın Yrd. Dr. Altan ÇETİN'e minnet borçluyum. Ayrıca tez çalışmamda yazım ve dilbilgisi konularında yardımcı olan eşime de katkılarından dolayı çok teşekkür ediyorum.

Uzun eğitim hayatım boyunca ve bu tez çalışması kapsamında bana her zaman her konuda destek olan, sabır ve şefkat gösteren aile üyelerim annem, babam, eşim, ablam ve enişteme yaptıkları her şey için teşekkürlerimi sunuyorum.

Hasan Cenk ÇETİN

PORSUK ÇAYI HAVZASI
YÖNETİM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİNDE
DPSIR YAKLAŞIMININ KULLANILMASI

ÖZ

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla su kaynaklarının iyi ve etkin yönetilmesi, entegre havza yönetim sistemlerinde DPSIR yaklaşımı gibi yöntemlerin uygulanmasını gerektirmektedir. DPSIR yaklaşımı, sorunlu bir havza olan Porsuk Havzası üzerinde uygulanarak sürücü güçler (D), güçlerin sistem üzerinde oluşturduğu baskılar (P) ve sistemin baskı altındaki durumu (S) belirlenmiş, alternatif senaryolar oluşturularak sistemin etkileri (I) ve tepkileri (R) ortaya çıkarılmıştır. DPSIR yaklaşımından elde edilen sonuçlara göre gelecekte beklenen olası durumlarda havza, su kirliliği ve su miktarı (kıtlığı) açısından kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir. İrdeme sonucuna göre halihazırda Porsuk çayından içme, kullanma ve sulama suyu taleplerinin karşılanamaması durumu bulunmamakta ancak su kirliliği kriterleri açısından kabul edilebilir sınırların üzerinde olmaktadır. Geleceğe yönelik olarak oluşturulan üç farklı senaryonun sonuçları incelendiğinde, talep bölgelerinin talebin karşılanmama durumu bulunmakta; su kalitesi açısından, iyimser (optimistik) durum da dahil bütün senaryoların kirlilik sorununun çözümünde yetersiz kaldığı görülmektedir. Yetersiz kalan bu durumu düzeltmek amacıyla havzanın mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) durumuna ait olmak üzere alternatif yönetim senaryoları oluşturulmuş, senaryo üretiminde QUAL2K ve WEAP simülasyon modellerinden faydalanılmıştır. Alternatif senaryoların sonuçlarının değerlendirilmesinde ve uygun senaryonun seçiminde, sonuçların daha güvenilir olması ve subjektif kararlardan uzaklaşılması amacıyla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak bilimsel olarak seçilmesi tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; su miktarı probleminin büyük olduğu mevcut durumun süregeldiği kabul edilen (BAU) durumda A7 senaryosu, su miktarı probleminin daha az sıkıntılı olduğu kabul edilen iyimser (OPT) durumda A4 senaryosu seçimlerinin doğru olacağı yapılan Çok Kriterli Karar Verme yöntemi analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Porsuk Havzası, DPSIR, Entegre Havza Yönetimi, QUAL2K Modeli, WEAP Modeli, Su Kıtlığı, Su Kirliliği, Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Yöntemi.

THE USE OF THE DPSIR APPROACH IN DETERMINATION OF PORSUK RIVER BASIN MANAGEMENT STRATEGIES

ABSTRACT

Management of water resources in an effective and efficient way in respect of sustainable development goals requires the application of sound methods for integrated river basin management, like the DPSIR approach. DPSIR approach is applied to the case of the Porsuk which is a problematic river basin to identify driving forces (D), pressures (P) and state (S) and alternative scenarios are generated to reveal system's impacts (I) and responses (R). According to the results grasped from DPSIR approach river basin has investigated comprehensively from water pollution and water scarcity aspects at future probable situations. In respect of the results of that investigation, there is not a condition of non-meeting of drinking, using and irrigating water demands situation however from the point of water pollution criteria; it is above the acceptable limits. At the examination of three different scenarios results, there is the condition of non-meeting of demands at demand regions; from the water quality aspect, including the optimistic circumstance whole scenarios being insufficient at the solution of pollution problem. For putting the insufficient situation in order, alternative administration scenarios of basin generated as existed (BAU) and optimistic (OPT) scenarios, at the creation of scenarios being benefited from the simulation models of QUAL2K and WEAP. At the evaluation of the results of alternative scenarios and appropriate scenario selection, for more trustable solutions and avoiding from subjective decisions, Analytic Hierarchy Method from Multi-Criteria Decision-Making Method is scientifically preferred to be used. As to the results, A7 scenario, having major water quantity problem adopting the sustenance of the existed situation of (BAU) condition and A4 scenario, where water quantity problem adopted as less troubling of optimistic (OPT) situation; selection defined as appropriate by the analysis results of the Multi-Criteria Decision-Making Method.

Keywords: Porsuk River Basin, DPSIR, Integrated River Basin Management, QUAL2K Model, WEAP Model, Water Famine, Water Pollution, Multi-Criteria Decision Making Method, Analytic Hierarchy Process

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Problem Tanımı.....	4
1.3 Çalışmanın Amacı	5
1.4 Çalışmanın İçeriği	7
BÖLÜM İKİ – LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	9
2.1 Su Kaynakları Yönetiminde Sorunlar ve Yaklaşımlar	9
2.2 Entegre Havza Yönetimi ve DPSIR Yaklaşımının Türkiye’deki Durumu	13
2.3 DPSIR Yaklaşımının Entegre Havza Yönetiminde Uygulanmasına Yönelik Geçmiş Çalışmalar	15
2.4 Entegre Havza Yönteminde Çok Kriterli Karar Verme (MCDM).....	17
BÖLÜM ÜÇ – METODOLOJİ	19
3.1 Genel	19
3.2 Çalışmada Yararlanılan Modeller	30
3.2.1 WEAP	31
3.2.1.1 Model Yapısı.....	32
3.2.1.2 Model Algoritması	35
3.2.2 QUAL2K	37

3.2.2.1 Model Yapısı.....	38
3.2.2.2 Model Algoritması.....	39
3.2.2.3 Kalite Değişkenlerinin Reaksiyonları ve Diğer Değişkenlerle Etkileşimi.....	42
3.3 Yönetim Senaryolarının Oluşturulması.....	46
3.4 Çok Kriterli Karar Verme.....	48
3.4.1 Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP).....	51
BÖLÜM DÖRT – UYGULAMA.....	58
4.1 Porsuk Havzası.....	58
4.2 Porsuk Havzasında DPSIR Yaklaşımının Uygulanması.....	61
4.2.1 Sürücü Güçler (Driving Forces).....	61
4.2.2 Baskılar (Pressures).....	63
4.2.3 Durum (State).....	63
4.3 Porsuk Havzası Analizinde Yararlanılan Modellerin Uygulanması.....	65
4.3.1 Veriler.....	65
4.3.2 Porsuk Havzası'nda WEAP Modeli Uygulaması.....	66
4.3.3 Porsuk Havzası'nda QUAL2K Modeli Uygulaması.....	69
4.4 Porsuk Havzası'nda Yönetim Senaryolarının Oluşturulması.....	74
4.4.1 Senaryoların Etkileri.....	76
4.5 Porsuk Havzası'nda Alternatif Yönetim Senaryoları.....	82
4.5.1 Önlem Almamak (Senaryo A0).....	82
4.5.2 İçmesuyu Hatlarının Rehabilitasyonu (Senaryo A1).....	82
4.5.3 Sulama Sistemi Hatlarının Rehabilitasyonu (Senaryo A2).....	83
4.5.4 Sulama Yöntemlerinin Değişimi (Senaryo A3).....	83
4.5.5 Atıksu Deşarjlarının Kirliliğinin Azaltılması (Senaryo A4).....	84
4.5.6 Birleştirilmiş Yönetim Senaryoları.....	84
4.6 Alternatif Yönetim Senaryoları Sonuçları.....	86
4.6.1 Su Miktarı Açısından.....	86
4.6.2 Su Kalitesi Açısından.....	90

4.6.3 Ekonomik Değerlendirme.....	95
BÖLÜM BEŞ – DEğERLENDİRMELER.....	105
5.1 Genel	105
5.2 Analitik Hiyerarşı Yöntemiyle (AHY) Karar Verme	107
5.3 En Uygun Senaryo Seçimi	111
BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR	114
KAYNAKÇA	118

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Genel

Çevre bütünüünün bir parçası olan su kaynakları, hayatın devamı ve ekosistemin sürdürülebilirliği için en önemli yapıtaşlarından birisi olarak kabul edilmektedir. Hızla artan nüfus, büyüyen sanayi ve tarım sektörleri, tatlı su miktarının dağılımındaki düzensizlikler, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri gibi etmenler çevrenin ve özellikle de su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ciddi ölçüde tehdit etmektedir. 2025 yılında Dünya nüfusunun 8,5 milyar kişi olacağı, nüfusun % 83'ünün de gelişmekte olan ülkelerde yaşayacağı tahmin edilmektedir. Artan nüfusa bağlı olarak su tüketiminin artması ve bu durumun kaynaklardan yararlananlara eşit ve sürdürülebilir su tahsisini engellemesi beklenmektedir (UN, 2003). 20. yüzyıldaki dünya nüfusunun 19. yüzyıla oranla 3 kat artması, beraberinde su kaynakları kullanımını 6 kat artırması (Orhon vd., 2002), ekosistemdeki her canlı varlığın ihtiyacı ve hakkı olan kaliteli ve yeterli miktardaki suyun sağlanmasını ve sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır. Dünyadaki hemen hemen bütün doğal kaynaklar, özellikle de su kaynakları, çevresel, sosyal ve ekonomik kaynaklı sorunlarla karşı karşıya kalmakta; az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere ait havzalarda sorunlar daha fazlalaşmakta ve çeşitlenmektedir. Nüfus artışı, endüstrileşme, tarımsal faaliyetler, iklim değişikliği, kuraklık, kaynakların aşırı kullanımı vb. etkenler bu tür ülkelere ait havzalarda su kirliliği, su kıtlığı gibi sorunlarla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Bu durum, dünyada 1 milyarın üzerindeki insanın sağlıklı içme suyuna yeterli erişim sağlayamamasına ve yetersiz hijyen koşulları nedeniyle ortaya çıkan hastalıklarla karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır (UN, 2003). 2025 yılından itibaren 3 milyardan fazla insanın su kıtlığına maruz kalacağı tahmini, karşılaşılan sorunun büyüklüğünü, bireysel veya tek boyutlu çözümlerin etkili olamayacağını göstermektedir.

Suyun, hayatın sürdürülebilmesi için en önemli yaşamsal kaynak olması ve Dünyadaki sorunların büyük bir bölümünün su kıtlığından kaynaklanması, Birleşmiş Milletlerin (BM) çevre sorunlarının çözümünde *sürdürülebilir kalkınma* felsefesini

ana tema olarak ele alınmasını ve sorununun çözümünde su miktarı ve kalitesinin birlikte ele alınarak *ekosistem yaklaşımı* içerisinde de erlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Çevreyle ilgili konularda *sürdürülebilirlik*, en genel anlamda, toplumun günümüze ait hedef ve ihtiyaçları karşılarken, doğal çevreyi ve kaynakları bozmadan, gelecek nesillere ait talep ve hedefleri de gözetmesi olarak açıklanmaktadır (Harmancıoğlu, 2004). Dünyadaki tatlı su miktarı oranının, toplam su miktarının % 2.53'ü olması, dağlık bölgeler arasında düzensizlik göstermesi, yağışların iklim değişikliklerinden olumsuz yönde etkilenmesi ve kalitesinde görülen azalmalar Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerine ulaşmada etkin bir su yönetiminin gerekliliğini ortaya koymakta, *Entegre Havza Yönetimi (EHY)* gibi yaklaşımların uygulanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. EHY, tüm kesimlerin görüş, beklenti ve amaçlarını dengeleyecek şekilde, su sistemlerinin planlanmasını, organizasyonunu ve kontrolü için oluşturulacak seviyeleri içermektedir (Grigg, 1999). Bu seviyelerin gerçekleştirilmesinde ise güçlü ve güvenilir yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu yöntemlerden biri de halen Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılmakta olan ve Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi'nde (WFD) de önerilen *DPSIR*; *D (sürücü güçler)*, *P (baskılar)*, *S (sistem durumu)*, *I (etkiler)*, *R (tepkiler)* yaklaşımıdır. DPSIR, bir havza sistemi üzerine gelen sürücü güçlerin ve baskıların tanımlanmasını, bu etkiler altında sistem durumunun, baskıların yaratacağı sonuçların ve sistemin verdiği tepkilerin belirlenmesini içeren bir yaklaşımdır.

Avrupa, Asya ve Ortadoğu üçgeninde bulunan Türkiye, tatlı su kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Yıllık ortalama 643 mm. yağış görülür ve yağışın %55'i evapotranspirasyon yoluyla kaybolmaktadır. Her yıl ortalama 186 milyar m³ yağışta 26 akarsu havzasına karışmakta, 41 milyar m³ yeraltı suyunu oluşturmak üzere yeraltına sızmaktadır. Türkiye'de su kaynakları düzensiz olarak dağılmıştır, yıllık yüzeysel akışın yarısından fazlası 6 havza tarafından karılanmaktadır: Fırat, Dicle, Doğu ve Batı Karadeniz, Antalya, Batı Akdeniz (Turkey Country Report, 2003). Türkiye'deki havzaların bir bölümünde özellikle gelişmekte olan bölgelerde bulunan havzalarda, nüfus artışı (evsel tüketim), demografik yapı, endüstrileme (sanayi tüketimi), tarımsal faaliyetler (tarımsal tüketim), kaynak kullanımının artışı ve çiriltmesi, talep artışı, küresel ısınma,

çölle me gibi nedenlerle su kıtlı ı ve su kirlili i problemleriyle kar ıla ılmaktadır. Türkiye’de Batı ç Anadolu Bölgesinde bulunan Sakarya Havzası’nın alt havzası olan Porsuk Çayı Havzası da yukarıda tanımlanan sorunlara sahip havzalara örnek olabilecek niteliktedir. Havzada özellikle bazı bölgelerde, su kirlili i ve su kıtlı ı açısından acil önlem alınması durumuna gelinmiştir. Ancak bugüne kadar yapılan çalı malarda, su miktarı ve kalitesi birlikte ele alınmamı , bu iki unsura etki eden bütün etmenler birlikte de erlendirilmemi , mevcut sorunlara çözümler bulunamamı tır.

Tez çalı masında, Entegre Havza Yönetimi’nde yaygın bir yöntem olan DPSIR yönetiminde havzaya etki eden *sürücü güçlerin (D)* olu turdu u *baskılar (P)* altındaki sistemin *durumu (S)*, seçilen çevresel, ekonomik ve sosyal *indikatörlerle* belirlenmekte; baskıların havza üzerindeki *etkileri (I)* ve alınan *önlemlerin (R)* sonuçlarına göre havzanın durumu tanımlanmaktadır. Entegre Havza Yönetimi’nde, seçilen havza bir bütün olarak de erlendirilip çe itli durum ve alternatif yönetim senaryoları ı ında çözümler aranmakta, de erlendirmede farklı simülasyon modellerinden faydalanılmaktadır. Çe itli strateji ve senaryolara göre belirlenen su kalitesi ve su kıtlı ı sorunlarının çözümünde ise akarsu kalite (*QUAL2K*) modellerine ve su bütçesi (*WEAP*) modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. EHY uygulamalarında, alternatif senaryoların sonuçlarının de erlendirilmesinde ve uygun alternatif senaryonun seçiminde, sonuçların daha güvenilir olması ve subjektif kararlardan uzakla ılması amacıyla *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin* kullanılması tercih edilmektedir.

Sunulan çalı mada, üretilen alternatif yönetim senaryolarının sonuçlarının çevresel, ekonomik ve sosyal boyut içerisinde seçilen kriterlerle de erlendirilmesi ve en uygun alternatifin *Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerar i Yöntemi (AHY)* kullanılarak seçilmesi tasarlanmı tır.

1.2 Problem Tanımı

Sakarya Havzasının alt havzası olan Porsuk Havzası, Kütahya, Eski ehir ve Ankara illeri arasında bulunan, yaklaşık 11.188 km²'lik yüzölçümüne sahip bir havzadır. Eski ehir, Kütahya gibi önemli yerleşim yerleri bulunan havza alanında yaklaşık 1 milyona yakın nüfus bulunmaktadır. Havzadaki yüzey suları yaklaşık 460 km. uzunluğunda Porsuk Çayı ve kollarından oluşmaktadır; Porsuk Çayı, Murat Dağ eteklerinden doğup Eski ehir çıkışından sonra Sakarya Nehri'yle birleşmektedir. Porsuk Havzası'nda yaklaşık toplam 115.000 ha alanı kapsayan dört il, Eski ehir, Kütahya ve Altıntaş ovaları bulunmaktadır. Havzada, Eski ehir ve Kütahya gibi önemli yerleşim yerleri bulunmakta, bu yerleşim merkezlerinin nüfusu, tarımsal ve endüstriyel faaliyetleri havza üzerinde su kıtlığı ve su kirliliği açısından baskılar oluşturmakta, özellikle kurak yıllarda baskının şiddeti daha da artmaktadır.

Porsuk Havzası'nda yapılan sulama tarım faaliyetlerinin büyük bir bölümü Porsuk Çayı ve kollarından yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Tarımsal faaliyetler için sulama yapılması, özellikle sulamadan dönen suların kalitesinin düşmesine; bunun yanında düşük verimli sulama sistemleri ve yüksek oranlı kayıplar da, önemli miktarda su kullanımına neden olmaktadır. Gelecekte önlem alınmadığı takdirde tarımsal faaliyetlerdeki su taleplerinde kısıtlamalara gidilmesi kaçınılmazdır.

Havzada nüfus Eski ehir merkezlerinde yoğunlaşmaktadır. Ticaret, sanayi ve hizmet merkezlerinin il merkezlerinde olması, demografik yapının merkezlerde toplanmasına ve kırsal yöredeki nüfusta azalmaya neden olmaktadır. Özellikle kent merkezlerinde artan nüfus, beraberinde getirdiği tüketim artışıyla kaynak kullanımını arttırmakta, evsel atıkların artmasına neden olmaktadır. Ayrıca ülkemizde Eski ehiriçi su iletim kayıplarının %50 seviyelerinin üzerinde seyretmesi ve bu durumun da Kütahya ve Eski ehir illerinde de geçerli olması içmesuyu taleplerinin karşılanması için alternatif su kaynakları arayışına ve yeni yatırımlar yapmaya yönelmektedir. Eski ehir ili içme ve kullanma suyu ihtiyacının Porsuk Çayı'ndan, Kütahya ili içme ve kullanma suyu ihtiyacının ise Porsuk Çayı'na karışan Porsuk Kaynakları'ndan

kar ılanıyor olması, Porsuk Çayı'nın kalite ve kantite açısından hassasiyetini ve önemini artırmaktadır.

Önemli endüstri tesislerinin bulunduğu Eskişehir ve Kütahya organize sanayi bölgelerinde arıtma tesislerinin faaliyete geçmesi olumlu bir durum olmasına rağmen, bazı tesislerden kaynaklanan de arjlar Porsuk Çayı'nda önemli ölçekte kirliliğe etken olmaktadır (DS, 1999). Kütahya bölümü, Porsuk Baraj gölü ve Eskişehir bölümü olarak incelenen ve Murat Dağı'ndan Kütahya girişine kadar bir kalite sorunuyla amayan Porsuk Çayı, Kütahya bölümünde; sulamadan dönen sular ve tarımsal kirlenme, Kütahya kenti atık suları, mezbaha atıkları, şeker fabrikası, Tügsa, termik santraller ve seramik fabrikalarının atıkları ile kirlenmekte; şehir çıkışında çözünmüş oksijen (DO) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD) açısından III. sınıf derecesine ulaşmaktadır. Porsuk Baraj çıkışından sonra göreceli olarak kendini yenileyen Porsuk Çayı Eskişehir bölümünde; Tülomsa, şeker fabrikası, Hava kılmal, organize sanayi, kentsel atık ve tarımsal kirlilikle kirlenmekte, DO ve BOD açısından IV. Sınıf derecesinde Sakarya Nehri'ne karışmaktadır. Özetlemek gerekirse, ileriki yıllarda önlem alınmadıkça ve mevcut durumun süregelmesi halinde, su miktarı ve su kalitesi açısından havzanın zorluklarla karşılaşacağı öngörülmektedir.

1.3 Çalışmanın Amacı

Türkiye'nin GÜNDEM 21'e taraf olması ve Avrupa Birliğine girme çalışmaları nedeniyle Türkiye'de Entegre Havza Yönetimi'ne (EHY) örnek olabilecek projelere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, bu alandaki çalışmalar az sayıda ve çok yeni başlamış olup, henüz kurumsal anlamda kapsamlı bir uygulamaya dönüşmemiştir. Türkiye'de de *DPSIR Yaklaşımının Entegre Havza Yönetimine Uygulanmasına* yönelik ciddi anlamda bir çalışma bulunmamaktadır. Sadece Avrupa Birliği fonları tarafından desteklenen SMART, OPTIMA gibi uluslararası projelerde, akademik çalışma olarak yer almaktadır (Giupponi, Mysiak ve Crimi, 2006). Avrupa Çevre Ajansı (EEA), üyesi olan ülkelere havza yönetimi değerlendirilmelerinde DPSIR yaklaşımını kullanmalarını tavsiye etmektedir. Böylelikle birçok havzanın evrensel

bir de erlendirme sistemiyle irdelenmesi ve sorunlarına çözümler bulunması hedeflenmekte, yapılan tez çalı ması bu açıdan önem arz etmektedir.

Yapılan çalı mada, Türkiye’de bulunan ve özellikle çevresel sorunlara sahip olan Porsuk Havzası’nın DPSIR yakla ımı gibi yaygın bir yöntemle irdelenmesi, alternatif yönetim senaryoları üretilerek karar vericilere çözümler önerileri sunulması, çözüme ait kararlarda çevre, ekonomik ve sosyal boyut içerisinde seçilen kriterlerle de erlendirilmesinin sa lanması, en uygun alternatifin Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden *Analitik Hiyerar i Yöntemi (AHY)* kullanılarak bilimsel olarak seçilmesi ve Avrupa Birli i’ne girme hedefleri bulunan Türkiye’nin sorunlu bir havzasının Avrupa Çevre Ajansı’nın tavsiye etti i bir yöntemle de erlendirilerek iyi bir örnek sunulması tezin temel amaçlarını olu turmaktadır. Bir ba ka deyi le, Porsuk Havzası’nın sorunlarına DPSIR yakla ımıyla entegre bir çözümler bulmak hedeflenmektedir.

Tez çalı ması sırasında;

- a) Porsuk Havzası’nın mevcut hali demografik, ekonomik ve çevresel açıdan irdelenmekte, havzaya etki eden *sürücü güçleri (Driving force)* ve *baskıları (Pressure)* belirlenmekte,
- b) Havzanın baskılar kar ısındaki *durumu (State)*, havzanın kar ıla aca ı en olumsuz ko ulların olu tu u seçilen kurak bir yılda çevresel ve ekonomik göstergelerle (indikatörlerle) tanımlanmakta,
- c) Havzaya etki eden çevresel ve ekonomik *etkiler (Impact)*, su kalitesi (*QUAL2K*), su bütçesi (*WEAP*) simülasyon model programlarıyla de erlendirilerek referans senaryo sonuçları yorumlanmakta,
- d) Olu turulan referans senaryonun baz alınmasıyla farklı konuları ve soruları içeren durum ve alternatif yönetim senaryoları üretilerek elde edilen sonuçlar, çevresel ve ekonomik açıdan seçilen kriterlerle de erlendirilmekte,

- e) En uygun senaryonun *karar destek* sistemiyle seçilebilmesi için *Çok Kriterli Karar Verme* yöntemlerinden *Analitik Hiyerar i Yöntemi (AHY)*'yle bilimsel olarak seçilmekte,
- f) De erlendirme sonuçlarına göre karar vericilere ileride yapılacak çalı malara yönelik tavsiyeler ve öneriler sunulmaktadır.

1.4 Çalı manın çeri i

Çalı mada, “Entegre Havza Yönetiminde DPSIR Yaklaşımı” gibi güncel bir yöntem Porsuk Havzası'na uygulanmaktadır. Porsuk Çayı modellenmesi, su bütçesi modelinde “Membra-Kütahya-Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap” olmak üzere tek bölümde; su kirlili i modelinde “Membra-Kütahya-Porsuk Barajı” ve “Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap” olmak üzere iki bölümde, seçilen kurak yıl için uygulanmaktadır. Havzanın fiziksel, topo rafik, hidrolojik, hidrolik gibi özellikleri tanımlanmakta; noktasal ve yayılı çekim ve de arjlar, ihtiyaçlar, talepler vb. de erler sisteme dahil edilmekte; mevcut veriler 11'inde havza uygun ve mantıklı bir ekilde modellenerek sistemin halihazırdaki durumu olu turulmakta; hazırlanan bu baz duruma göre gelecekle ilgili kabuller yapılmaktadır. Olu turulan referans senaryonun baz alınmasıyla farklı konuları veya soruları içeren durum ve alternatif yönetim senaryoları üretilmektedir.

Havza su bütçesi de erlendirmeleri WEAP modelinden, su kalitesi de erlendirmeleri QUAL2K modelinden yararlanılarak olu turulmaktadır. Porsuk Çayı üzerinde bulunan akım gözlem istasyonlarının gözlenmi de erleriyle akım (debi) de erleri kalibre edilerek havzanın WEAP programında modellenmesi gerçekleştirilmektedir. QUAL2K programında model, olu turulan de arj girdi seti korunarak, incelenen ayların farklı yıllardaki ba langıç artları altında ayrı ayrı çalı tırılması ; model parametreleri tüm yıllar için gözlenmi ve modellenmi debi, BOD ve DO de erlerinde uyumu sa layacak ekilde kalibre edilmektedir.

Karar vericilere durum ve alternatif yönetim senaryoları olu turarak, sonuçlar çevresel ve ekonomik kriterler açısından karar destek sistemiyle incelenerek de erlendirilmektedir. Karar a amasının karar destek sistemiyle irdelenebilmesi için Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerar i Yöntemi (AHY)'nden yararlanılmaktadır.

Sunulan tez çalı ması altı (6) bölümden olu maktadır:

ikinci bölümde; Entegre Havza Yönetiminde DPSIR Yakla ımının Türkiye ve dünyadaki uygulamalarını inceleyen *literatür bölümü*,

üçüncü bölümde; yöntemin tanımları, özellikleri, kullanılan simülasyon modelleri, senaryo üretimi ve karar verme yöntemlerinin açıklandı ı *metodoloji bölümü*,

dördüncü bölümde; yöntemin uygulandı ı Porsuk Havzası'nın, havza modelleme çalı malarının ve senaryo üretiminin açıklandı ı *uygulama bölümü*,

be inci bölümde; alternatif yönetim senaryolarının sonuçlarının çevresel, ekonomik ve sosyal boyut içerisinde seçilen kriterlerle de erlendirildi i ve en uygun alternatif senaryonun Çok Kriterli Karar Verme yöntemiyle belirlendi i ve sonuçların karar destek sistemleriyle irdelendi i *sonuç bölümü* yer almaktadır.

Altıncı ve son bölümde ise çalı manın genel bir de erlendirilmesi ve gelecekte yapılacak çalı malarla ilgili önerilerin yer aldı ı *de erlendirme bölümü* sunulmaktadır.

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Su Kaynakları Yönetiminde Sorunlar ve Yaklaşımlar

Değişen dünya koşullarında önemi bir kat daha artan su kaynaklarının çevre etkilerine hassasiyeti ve artan talepler, su kaynakları yönetimini karmaşık ve çözümü zor olan bir problem haline dönüştürmektedir. Su kaynaklarının dağılımındaki düzensizlikler, hızlı nüfus artışı, su kalitesindeki kötüleşmeler, sel ve kuraklık olayları; olası su kaynaklı kriz risklerini artırmaktadır (Radif, 1999). Bu riskleri doğuran sorunları çözebilmek veya kabul edilebilir bir seviyeye indirebilmek için Birleşmiş Milletlerin (BM) öncülüğünde çok sayıda kurum, kuruluş ve ülke 1992 yılında Dublin’de yapılan “Çevre ve Su Uluslararası Konferansı”nda bir araya gelerek sorunun çözümüne yönelik bir yol haritasının belirlenmesi, acil eylem planlarının oluşturulması ve geleceğe yönelik projeksiyonların yapılması gerekliliğini belirlemişlerdir. Dublin konferansı (UN, 1992a), geçmişe ait su yönetimine ait bakış açısını tamamen değiştirmiştir. 1970’li yıllarda su kaynaklarının planlanmasında etkili olan mevcut su potansiyeli, suyun miktarı vb. kriterler, 1980’li yıllarda optimizasyon yaklaşımlarını da içine alarak devam etmiş, 1990’lı yılların sonlarında da tek maksatlı planlamalardan, çok amaçlı projelere geçiş yaşanmıştır (Harmancıoğlu vd., 2003).

Dublin konferansında ve sonrasında Rio de Janeiro’da yapılan Rio Dünya Zirvesi’nde (Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UN, 1992b)) su kaynaklı sorunların çözülebilmesi için bir *ekosistem yaklaşımı*’nın gerekli olduğu belirlenmiş ve alınan ilkeler ışığında konuya küresel bir yaklaşım getirilmiştir. Sonuçların yer aldığı Gündem 21 (Agenda 21) adlı deklarasyonla bir yol haritası oluşturulmuş, ülkelerin Sürdürülebilir Kalkınma felsefesi içinde çevre konularında *entegre yönetim* uygulaması gerekliliği vurgulanmıştır. Gündem 21’de belirtilen ve su kaynaklarında Sürdürülebilir Kalkınmayı sağlayabilmek için çevre ve kalkınma olgularını bir arada değerlendiren *Entegre Havza Yöntemi (EHY)*, olaylara havza ölçeğinde bakan, sürekli iyileşme ve gelişmeyi amaçlayan, suyun kalitesi ve

miktarını birlikte dikkate alan disiplinlerarası bir çözüm yaklaşımdır (Cobourn, 1999).

Rio Konferansı'ndan (Rio+5) 5 yıl sonra 1997 yılında New York'da Rio Konferansı'nda eksik kalan konuların gündeme getirildiği ve 5 yıllık süreçte gelinen noktanın değerlendirilmesinin yapıldığı bir toplantı yapılmıştır, tüm ülkelerin sürdürülebilir eylem planlarının oluşturulması kabul edilmiştir. Aynı yıl çok uluslu bir platform olan Dünya Su Konseyi tarafından Fas'ın Marakeş'te düzenlenen "1. Dünya Su Forumu" gerçekleştirilmiştir. Forumda, 21. yüzyılda su, yaşam ve çevre için uzun vadeli bir vizyon geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır, suyun ticari değere sahip bir emtia olarak değerlendirilmesine karşı uyarıda bulunulmuştur (WorldWater5, 2009). Kritik yaşam kaynaklarının küresel sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla gerektiğinde siyasi taahhütler gerçekleştirilmesi yolunda çalışan Dünya Su Konseyi, her üç yılda bir farklı bir ülkede Dünya Su Forumu düzenlemiştir. 2000 yılında Birleşmiş Milletler tarafından açıklanan 2015 yılına ait "Millenyum Kalkınma Hedefleri"nde açlığın engellenmesi, çocuk ölümlerinin azaltılması, bulaıcı hastalıkların önlenmesi, her kişiye yeterli miktarda temiz suyun verilmesi ve çocuklara ilköğretiminin sağlanması gibi çok önemli amaçlar açıklanmıştır (UN, 2000). Ayrıca 2000 yılında, Hollanda'nın Lahey kentinde gerçekleştirilen "2. Dünya Su Forumu"nda oluşturulan Bakanlar Deklarasyonuyla, su kaynaklı sorunların çözümü amaçlı çalışmaların düzenli olarak takip edilmesi ve Birleşmiş Milletlere (BM) tatlı su kaynaklarının periyodik olarak yeniden değerlendirilmesi için destekte bulunulması kabul edilmiştir (WorldWater5, 2009).

"Rio+10" olarak da adlandırılan "Birleşmiş Milletler Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi" 2002 yılında Güney Afrika'nın Johannesburg kentinde yapılmıştır. Rio Konferansı'ndan sonraki on yılın değerlendirilmesi, Gündem 21'in hedeflerini yerine getirme sürecinde yapılanlar ve karşılaşılan güçlükler ele alınmıştır (Johannesburg Summit, 2002). Zirve sonrası yayınlanan bildiriye ekonomik kalkınma, sosyal kalkınma ve çevrenin korunması; Sürdürülebilir Kalkınmanın 3 bileşeni olarak ifade edilmiştir (Algan ve Dündar, 2005). Mart 2003'te, Japonya'nın Kyoto ve Shiga şehirlerinde yapılan "3. Dünya Su Forumu" ve "Bakanlar

Konferansı” A ustos 2002’de Johannesburg’ta yapılan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi’nin su konusunda devamı niteli inde olmu tur. Forumda suyun Sürdürülebilir Kalkınmadaki önemini vurgulayan bir deklarasyonla birlikte, su ile ilgili 3000’den fazla yerel eylem planını içeren Eylemler Portföyü’nü yayınlamı tır (WorldWater5, 2009). Ayrıca yukarıda belirtilen zirve ve forumların devamı niteli inde 2003 yılında “G8’ler zirvesi”, 2004 yılında “12 ve 13. Birle mi Milletler Sürdürülebilirlik Kalkınma Komisyonu Oturumu” ve BM tarafından “2005–2015 Uluslararası On Yıllık Eylem Planı” toplantıları gerçekte tirilmi tir. Ulusal süreçte su ve sanitasyonun öncelikli olarak yer almasının gerekli oldu u ve özellikle de ulusal sürdürülebilir kalkınmanın ve yoksullu u azaltmanın stratejik yollarının bulunmasının öneminin vurgulandı ı “4. Dünya Su Forumu”, 2006 yılında Meksika’nın Meksiko ehrinde yapılmı tır (WorldWater5, 2009). “5. Dünya Su Forumu” öncesi 2008 yılında “G8’ler zirvesi”, “2008 Uluslararası Sanitasyon Yılı”, “16. Birle mi Milletler Sürdürülebilirlik Kalkınma Komisyonu Oturumu”, 2009 yılında “G77 Muscat Su Deklerasyonu” etkinlikleri gerçekte tirilmi tir. 2009 yılında Türkiye’de stanbul’da yapılan “5. Dünya Su Forumu” toplantılarında; suya eri imin acil olarak ele alınması gereken bir konu oldu u, politik iradenin uyumlu su payla ımı konusundaki önemi, barı için suyun adil payla ımı ve herkese kaliteli su verilmesi gereklili i vb. konular ele alınmı tır (WWF5, 2009).

Yapılan bu bir dizi toplantı ve çalı malar, çevre sorunlarını entegre bir yakla ım içinde çözüme iste ini belirlemi , çevresel politikalar üzerinde detaylı ve tutarlı de erlendirmeler yapabilen yakla ımların olu masına imkan sa lamı tır. Avrupa Birli i “Su Çerçeve Direktifi” (WFD) de, bu kapsamda su kalitesini iyile tirecek entegre yönetim uygulamalarının geli imini amaçlamakta (Rekolainen vd., 2003) ve çevreyle ilgili mevcut ve gelecekteki problemlere ili kin optimum çözüme ula mayı hedeflemektedir. Çözüm arayı larında birçok ki i ve kurulu larla çe itli yakla ımlar sunulmu tur. Rapport ve Friend tarafından önerilen “Stress-Response” yakla ımı bu çalı maların ba langıç noktasını olu turmu tur (Rekolainen vd., 2003). Ekonomik kalkınma örgütü (OECD), bu çalı maları baz alarak daha da geli tirilmi “Pressure-State-Response (PSR)” yakla ımını (OECD, 1994), Birle mi Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu ise “Driving force-State-Response (DSR)”

yaklaşımını (UN, 1997) önermiştir. 1999 yılında Avrupa Çevre Ajansı (EEA) ise bugün yaygın olarak Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde kullanımı tavsiye edilen “*Driving force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)*” yaklaşımını geliştirmiştir (EEA, 1999). Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından desteklenen DPSIR yaklaşımı özellikle sürdürülebilir kalkınma analizleri ve çevre durum raporlarının hazırlanmasına temel olmaktadır. Belirtilen analiz ve raporların düzenlenmesinde kirlilik belirleme algoritmaları, karar destek sistemleri ve dinamik simülasyon modellerinden faydalanılmaktadır (Rekolainen vd., 2003). Avrupa Birliği “Su Çerçeve Direktifi”, havzaların iyi bir ekolojik ve çevresel durumda bulunması için “havza yönetim planlarının” oluşturulmasını istemektedir (Mysiak, 2001). Bu nedenle Avrupa’daki belli başlı havzalarda sorunların çözümüne yönelik kapsamlı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Bu noktada; DPSIR yaklaşımı çevresel sistemi ilgilendiren birçok alanda uygulanabilmektedir. Avrupa Çevre Ajansı (EEA), özellikle bu yaklaşımı su kirliliği, su yönetimi, hava kirliliği, iklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğin azalması, deniz çevresi ve kıyı erozyonu, ozon tabakasının incilmesi, kaynak azalması, toksik maddelerin yayılımı, kentsel çevre problemleri ve atıklar baskınlık konularında çözüm için tavsiye etmektedir. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde havza yönetim problemlerinin çözümünde DPSIR yaklaşımı kullanımı tavsiye edilmektedir. Yaklaşım, bütün parametreleri çevresel ve ekonomik sürece entegre etmenin güçlü olduğu, yaklaşımın değerlendirme mekanizmasının sadece statik göstergelere dayanması, sistemin dinamiklerini göz önüne almaması, çevresel trendlerin sadece belirli zaman aralıklarında ölçülen göstergelerle analizi, çevresel problemlerin neden sonuç ilişkilerini iyi bir şekilde açıklayamaması (Rekolainen vd., 2003), yerel bilgi kaynaklarına ve tepkilerine yeterince önem vermemesi (Carr vd., 2007) yaklaşımın kullanımındaki zayıf yönleridir. Olumsuz yönleri nedeniyle Avrupa ülkelerinde özellikle Amerika Birleşik Devletlerindeki havza yönetimi çalışmalarında yöntemin kullanılması çok yaygınlaşmamıştır.

2.2 Entegre Havza Yönetimi ve DPSIR Yaklaşımının Türkiye'deki Durumu

Türkiye'de su yönetiminin iyileştirilmesi çabaları kapsamında “Su Kalite Yönetimi”, Çevre Kanunu'na bağlı olarak 1988 yılında yayınlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY) bulunan kapsamlı düzenlemelerle gelişmeye başlamıştır. Yönetmelikte, “*su kaynaklarının birer eko-sistem kabul edilerek mevcut kalitelerinin korunması*” ve “*ülke ihtiyaçlarına göre su kalitesinin geliştirilmesi*” olmak üzere iki temel yaklaşım benimsenmiştir. (UÇEP, 1997).

GAP (Güneydoğu Anadolu Projesi), Türkiye'deki Entegre Havza Yönetimi (EHY) açısından başarılı bir örnektir ancak EHY'nin ülkemizdeki uygulamaları çok azdır. Türkiye, Gündem 21'in ilkelerini kabul eden ülkelerden biri olmakla birlikte bu çerçevede, kalkınmanın çevre konularıyla bütünleştirilmesine yönelik somut girişimler öneren “Ulusal Çevre Eylem Planı (UÇEP)” Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından oluşturulmaya başlanmıştır. UÇEP, daha etkili bir çevre yönetiminin geliştirilmesi, bilgi ve duyarlılık düzeyinin artırılması ve daha etkin bir çevre yönetimi için gerekli yatırımların yapılması gibi bileşenleri içermektedir. Bütün bu gelişmelere rağmen, DPT tarafından oluşturulmaya başlanan Ulusal Çevre Eylem Planının sonuçları daha tam olarak görülememiştir.

Bunun yanı sıra, 1992 Maastricht Antlaşmasıyla Avrupa ülkelerinin katılımıyla oluşturulan ve Türkiye'nin de üyesi olma yönünde çabaları bulunan Avrupa Birliği'nde (AB), su kaynaklarının korunmasına ve yönetimine yönelik uluslararası düzenlemeleri içeren etkin çabalar uzun süredir yürütülmektedir. Bu çabalar kapsamında; Avrupa ülkelerinde su yönetimine bir çerçeve oluşturması amacıyla Avrupa Birliği tarafından 2000/60/EC sayılı “Su Çerçeve Direktifi” (WFD) mevzuatı oluşturulmuş, 22 Kasım 2000 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Direktifte, sucul ekosistemlerin korunarak geliştirilmesi, sürdürülebilir su kullanımının sağlanabilmesi, sel ve kuraklık etkilerinin önlenmesi amaçlanmıştır (EC, 2000). Amaçlara ulaşabilmek tüm yüzeysel ve yer altı sularının bütüncül olarak korunması ve entegre yönetim yaklaşımı içerisinde yönetilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Su Çerçeve Direktifinin uygulamada getirdiği en önemli yenilik su kaynaklarının

yönetiminin nehir havzası bazında uygulamasını yaygınla tırmaktır. Buna göre, su kaynakları idari ve politik sınırlara göre de il, do al co rafik ve hidrolojik esaslara göre belirlenerek nehir havza bölgelerine ayrılarak yönetilecektir (Akkaya vd., 2006). Böylelikle havza yönetimi uygulamalarında farklı bölgeler, iller ve ülkeler arasında i birli i ihtiyacı olu acaktır.

1999 Helsinki Zirvesi ile Avrupa Birli i üyeli ine süreci ba layan Türkiye, 2003 yılında güncelle tirilen “Avrupa Birli i Müktesabatının Üstlenilmesine li kin Program”da belirtilen yükümlülükler çerçevesinde kurumsal ve yasal düzenlemelerle, su mevzuatının AB su mevzuatına uyumlu hale getirme çalı malarını yürütmektedir. Bu kapsamda, “Su Çerçeve Direktifi”nin ilkeleri ve metodolojisinin Türkiye’de uygulanmasına yönelik çalı malar MATRA projesi kapsamında Hollanda Hükümeti tarafından desteklenmi tir (Grontmij, 2003). AB’ye katılım sürecinde çevre konusunda uyum çalı malarından sorumlu olan kurulu lar, Su Çerçeve Direktifi’nin adım adım nasıl uygulanaca ı ve havza yönetimi planlarının nasıl yapılaca ı konusunda kapsamlı bir pilot çalı ma gerçekle tirmemi lerdir (Dalkılıç ve Harmancıo lu, 2008); sadece Su Çerçeve Direktifi’nde belirtilen kapsamların dikkate alınmasıyla taslak bir “Büyük Menderes Havzası Entegre Yönetim Planı” hazırlanmaya çalı ılmı tır (Grontmij, 2003).

Avrupa Birli i Müktesebatı uyum çalı malarında Su Çerçeve Direktifi’ne uyumlu yasal düzenlemelerin 2013 yılı sonuna kadar yapılması ve Çerçeve Su Kanunun olu turulması planlanmaktadır. Bu yasal düzenlemeden sorumlu kurulu larda Su Çerçeve Direktifi’yle ilgili teknik çalı malar sürdürülmektedir. Çalı malar kapsamında T.C. Çevre ve Orman Bakanlı ı tarafından Havza Koruma Eylem Planları olu turması çalı maları ba latılmı tır. Bu do rultuda Çevre Yönetimi Genel Müdürlü ü, Türkiye’deki 25 akarsu havzası için Havza Koruma Eylem Planı hazırlanması çalı malarını yürütmektedir. Öncelik sıralaması yapılarak hazırlanan “Havza Koruma Eylem Planlarından” Gediz, Meriç-Ergene, Van Gölü ve Akarçay havzalarına ait 4 adet havza koruma eylem planı tamamlanmı tır. Burdur, Büyük Menderes, Ceyhan, Kızılırmak, Konya Kapalı, Kuzey Ege, Küçük Menderes, Marmara, Seyhan ve Susurluk Havzalarını içeren 11 adet havzanın koruma eylem

planı yapılması i i TUB TAK Marmara Ara tırma Merkezi tarafından üstlenilmi tir (TUB TAK, 2012). Bir bölümü bitme a amasına gelen di er havzalara ait havza koruma eylem planlarının yapımı Çevre Yönetimi Genel Müdürlü ü tarafından gerçekleştirilecektir.

2.3 DPSIR Yaklaşımının Entegre Havza Yönetiminde Uygulanmasına Yönelik Geçmiş Çalışmalar

Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerine ulaşılmasında su kaynaklarının iyi ve etkin yönetilme gereklili i DPSIR yaklaşımı gibi güçlü ve güvenilir yöntemlerin entegre havza yönetim sistemlerinde uygulanmasına yol açmaktadır. Dünyanın çe itli ülkelerinde yapılan zirve ve forumların en önemli sonucu çevre sorunlarının entegre yönetim anlayışıyla çözülmesi gereklili inin bütün payda lar tarafından kabul edilmesidir. Bu çerçevede yapılan çalışmalar neticesinde, özellikle AB tarafından oluşturulan “Su Çerçeve Direktifi”yle konuyla ilgili olarak yasal mevzuat oluşturulmu , üye ülkeleri ve Türkiye gibi üyelik uyum süreci yaayan ülkelerin bu sürece katılımları ve düzenlemelerini yapmaları zorunlu hale getirilmi tir. Avrupa Birli i Su Çerçeve Direktifinin (WFD) yasal zorunlulu u ve Avrupa Çevre Ajansının (EEA) tavsiyesiyle özellikle AB ülkelerinde ve ülkemizde, entegre havza yönetim stratejilerinin belirlenmesinde DPSIR yaklaşımının kullanılmasına yönelik örnekler yapılmı tir.

Avrupa Birli i komisyonu tarafından finanse edilen ve DPSIR yaklaşımına bir örnek oluşturulan EUROCAT (*European Catchment Changes and Their Impact on the Coast*) projesi kapsamında; Avrupa da kıyısı bulunan Yunanistan, İngiltere, İtalya, Bulgaristan, Almanya ve Polonya’ya ait proje alanı olarak seçilmi havzalarda entegre havza ve kıyı yönetimi uygulaması yapılmı tir (EUROCAT, 2000). Proje kapsamında İngiltere’de bulunan “Humber Havzası” örneğinde havzadan kaynaklanan nitrat ve kirletici maddelerin akımının kıyı deniz suyuna etkilerinin DPSIR yaklaşımıyla belirlenerek yönetim senaryoları üretilmesi gerçekleştirilmi tir (Cave vd., 2003). Entegre kıyı yönetimine ilişkin Batı Afrika Ivory kıyısındaki

“Ebrice Gölü” örneğinde evsel, endüstriyel ve tarımsal kaynaklı çevresel kirlenmenin etkilerinin DPSIR yaklaşımıyla incelenmesine çalışılmıştır (Schrenk vd., 2004).

Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi kapsamında hazırlanan ve Avrupa Birliği tarafından finanse edilen MULINO (*Multi-sectoral, Integrated and Operational Decision Support System for the Sustainable Use of Water Resources at the Catchment Scale*); projesinde, Avrupa'nın çeşitli ülkelerindeki tarım kaynaklı azot sorunu bulunan havzalar proje çalışma alanı olarak seçilmiştir (MULINO, 2004). Proje kapsamında oluşturulan karar destek sistemiyle, çözüme yönelik farklı kriterlerin dikkate alınmasıyla oluşturulan kararların irdelenmesi ve kararlar neticesinde projedeki su kaynaklarının sürdürülebilirliğin sağlanması amaçlanmıştır (Mysiak, Giupponi ve Rosato, 2005). WSM (*Developing Strategies for Regulating and Managing Water Resources and Demand in Water Deficient Regions*) adlı uluslararası proje kapsamında, İsrail, Yunanistan, İtalya, İspanya, Kıbrıs ve Portekiz ülkelerine ait havzaların sorunlarının çözümünde ve sürdürülebilirliğin sağlanabilmesinde entegre havza yönetimine (EHY) yönelik çalışmalar ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir (WSM, 2001).

Türkiye’de Su Çerçeve Direktifi temelli 2 adet ayrı uygulama Gediz Havzasında Dokuz Eylül Üniversitesi SUMER merkezi tarafından gerçekleştirilmiştir (Dalkılıç ve Harmancıoğlu, 2008). Bunlardan ilki Avrupa Birliği tarafından AB FP5 programınca desteklenen ve proje alanı olarak Akdeniz’e kıyısı bulunan Mısır, Ürdün, Lübnan, Tunus ve Türkiye’ye ait havzaların seçildiği SMART (*Sustainable Management of Scarce Resources in the Coastal Zone*) projesinde, proje alanlarındaki havzalarda entegre havza yönetimi ve DPSIR yaklaşımının uygulaması gerçekleştirilmiştir (SMART, 2005). Projenin temel amacı, kıyı bölgelerinde bulunan havzaların sorunlarının sürdürülebilir yönetim çerçevesinde ele alınması, çözüm için havzanın kalite, kantite açısından çok kriterli analiz yardımıyla değerlendirilmesi olarak ifade edilmektedir (Giupponi, Crimi ve Mysiak, 2006). SMART projesiyle ülkemizde Akdeniz’e kıyısı bulunan ve çeşitli sorunlarla karşı karşıya gelen Gediz havzası proje kriterlerine göre incelenerek değerlendirilmiştir (Harmancıoğlu, Fedra ve Barbaros, 2008), bu alan çalışması DPSIR yaklaşımının Entegre Havza Yönetimine

uygulanması açısından iyi bir örnek olmaktadır. İkinci uygulama Fas, Tunus, Ürdün, İsrail, Lübnan ve Türkiye'ye ait havzaların proje alanı olarak seçildiği ve Avrupa Birliği FP6 programınca desteklenen OPTIMA (*Optimisation for Sustainable Water Resources Management*) projesiyle (OPTIMA, 2006); Akdeniz'e kıyısı bulunan havzaların sorunlarının sürdürülebilir yönetim çerçevesinde ele alınması, su kaynakları yönetim kararlarının optimizasyon teknikleriyle de değerlendirilmesi amaçlanmıştır, Türkiye örneği olarak Gediz havzası incelenmiştir (Çetinkaya vd., 2007).

Türkiye'de DPSIR yaklaşımının öneminin yeni anlamına gelmesi, uygulamasının disiplinlerarası çalışma kültürü, teknolojik, bilimsel ve finansal altyapı gerektirmesi, bütün parametreleri çevresel ve ekonomik sürece entegre etmenin güçlü bir uygulama sayısının kısıtlı olmasına neden olmaktadır. SMART ve OPTIMA gibi uluslararası projelerde Gediz Havzası örneğinin yer alması ülkemizde entegre havza yönetim stratejilerinin belirlenmesinde DPSIR yaklaşımının kullanılması açısından önemli bir gelişmedir. Ancak su yönetimi konusunda kurumsal ve yasal düzenlemelerin tam olarak yapılmaması, entegre yönetim için gerekli kurumlar arası işbirliğinin sağlanamaması ve Sürdürülebilir Kalkınmaya yönelik entegre havza yönetiminin nasıl yapılacağı konusunda belirsizlikler bulunması Türkiye'de DPSIR yaklaşımı gibi etkin yöntemlerin kullanımının sınırlı olmasına neden olmaktadır.

2.4 Entegre Havza Yönteminde Çok Kriterli Karar Verme (MCDM)

Belirtilen uluslararası projelerde ve diğer önemli çalışmalarda görüldüğü üzere; su kaynaklı sorunların çözümünde farklı kriterlerin göz önüne alınmasıyla oluşturulan kararların, karar destek sistemiyle irdelenmesi yolu izlenmektedir, bu sayede su kaynaklarının sürdürülebilirliği sağlanabilmektedir. En genel anlamda sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla oluşturulan karar verme; hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi için alternatif eylem planlarından birinin seçilmesi olarak tanımlanmaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). Uygun kararı vermek için birçok alanda çok farklı yöntemlerle oluşturulan matematiksel ve istatistiksel modeller vb.

tekniklerle karar verme mekanizmaları oluşturulmaktadır. Su kaynakları problemlerinin karmaşık, çok boyutlu olması ve farklı değişkenleri içermesi, sorunun entegre yaklaşım içerisinde çözümünde, farklı kriterlere göre değerlendirilme yapılmasını gerektirir. Karar sürecinde farklı niteliksel ve niceliksel kriterlerin bulunması, kriterlere göre modelleme ve analiz etme sürecine dayanan *Çok Kriterli Karar Verme (Multi Criteria Decision Method-MCDM)* yöntemlerini ortaya çıkarır (Kocamustafaoğulları, 2007). Havza bazlı entegre yönetim çalışmalarında alınan kararların en uygun çözüme olabilmesi için sorunları farklı yönlerden farklı kriterlere göre incelenmesi, karar mekanizmalarının Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden faydalanması önem arz etmektedir.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin (MCDM) ekonomi, endüstri üretim, mimarlık, finans, çevre vb. birçok alanda uygulamaları bulunmaktadır. Su kaynakları konularında uygulamalarına ait çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Su kaynakları ve havza yönetiminde; (Yılmaz, 2009), (Chen, Lien ve Tzeng, 2010), (Eder, Duckstein ve Nachtnebel, 1997), (Hajkowicz ve Higgins, 2008), (Pallottino, Sechi ve Zuddas, 2005), (Srdjevic, Medeiros ve Faria, 2004). (Zarghami Abrishamchi ve Ardakanian, 2008), (Maia ve Schumann, 2007); Gözlem istasyonu seçiminde; (Çetinkaya, 2007); Su temini; (Joubert, Stewart ve Eberhard, 2003); Sulama; (Raju ve Kumar, 1999), (Trajkovic, Avakumovic ve Opricovic, 1997).

Günümüzde, gerektiği gibi kontrol altında tutulamayan tarımsal, evsel ve endüstriyel deşarjlar birçok su havzasında kirlilik; iklim değişikliği ve kuraklık olayları da su kıtlığı sorunlarını oluşturmaktadır. AB'ye girme çalışmaları ve beraberinde getirdiği Su Çerçeve Direktifindeki yasal zorunluluklar, havza yönetim stratejilerinin belirlenmesinde DPSIR yaklaşımından faydalanılmasını gerektirmektedir. Havza bazında yapılan yönetim çalışmalarında sürdürülebilirliği sağlamak için alınan kararların Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri kullanılarak yapılması kararların doğruluğu ve etkinliği açısından önem arz etmektedir.

BÖLÜM ÜÇ METODOLOJİ

3.1 Genel

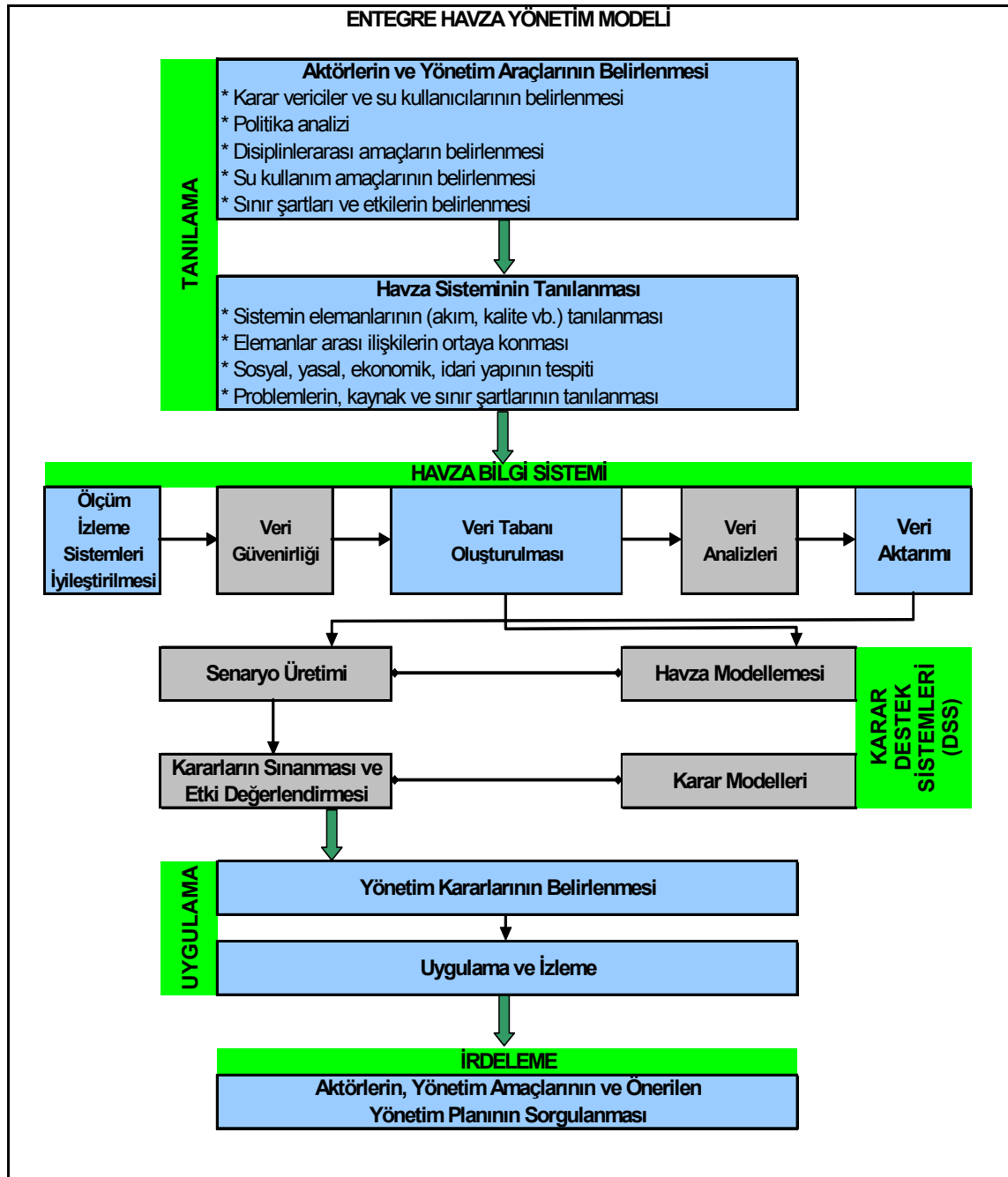
Dünyamızdaki yaşanan hızlı gelişim süreci su gibi doğal kaynakların talep ve kullanımlarını artırmakla birlikte, yönetimini zor ve karmaşık bir hale getirmektedir. Su kaynaklarına yapılan herhangi bir müdahalenin hava, toprak vb. doğal kaynakları da etkilemesi, su kaynakları yönetiminin çevre bütünlüğü içerisinde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Çevre, insanoğlunun geleceğinin en önemli yapıtaşı olarak kabul edilmekte, Sürdürülebilir Kalkınmada ekonomik büyümenin ve doğal kaynakların kullanımının dengesini oluşturmaktadır (Lourenço, 2001). Ancak, hızla artan nüfus, büyüyen sanayi ve tarım sektörleri, dünyadaki tatlı su miktarının dağılımındaki düzensizlikler, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri gibi etmenler çevrenin ve özellikle de su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ciddi ölçüde tehdit etmektedir. Söz konusu bu tehditler, bir yandan suya olan talebi artırırken, diğer yanda suyun kalitesinin bozulmasına yol açmakta, bu ise kullanılabilir su kaynaklarının kısıtlanması sonucunu doğurmaktadır. Bu durum, Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerine ulaşmada su kaynaklarının çevre bütünlüğü içerisinde değerlendirilmesi, su kaynakları yönetiminin havza bazında ve diğer kaynaklarla *entegre* bir biçimde gerçekleştirilmesi yaklaşımını ve etkin bir su yönetiminin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen Entegre Havza Yönetimi'nin (EHY) temel amacı, havzanın sadece su miktarıyla değil, tüm yönleri ve kaynakları ile tanınması ve böylelikle daha tutarlı yönetim kararların verilmesi olarak ifade edilmektedir (Harmancıoğlu vd., 2003).

Günümüzde su kaynaklarının azalışı, hidrolojik koşullardan kaynaklanmakla beraber su kaynaklarına olan ihtiyacın artması ve çeşitlenmesi olarak da ifade edilmektedir. Suyu olan ihtiyacın artması ve çeşitlenmesi, beraberinde suyun optimum bir şekilde tahsis edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmakta, entegre yönetim uygulamalarına yönelişi sağlamaktadır. Su kaynaklarıyla ilgili sorunlar geçmişte noktasal nitelikte kalmaktayken günümüzde sorunların alanda değişkenleri önem

kazanmaktadır (Harmancıoğlu vd., 2003). Bu noktada entegre yönetimin havza ölçeğinde oluşturulmasını sağlamakta, mevcut su kaynaklarının uzun vadeli korunarak sürdürülebilir kullanımlarını gerçekleştirmektedir (EC, 2000). Bir başka deyişle, entegre yönetim disiplinlerarası bir çözüm yaklaşımını ele alarak uzun vadeli sürdürülebilirliği hedefleyen, sürekli iyileşme ve gelişmeyi amaçlayan bir yönetim biçimidir. Bu kapsamda Aralık 2000 tarihinde yürürlüğe giren Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi de (WFD) Avrupa ülkelerinde havza bazında entegre yönetim kavramını yaygınlaştırmayı amaçlamaktadır. Entegre yönetimde su kaynaklarının miktarının yanında kalitesi, hava ve toprakla ilişkileri, diğer fiziksel faktörlerle etkileşimi incelenmekte; sosyal, ekonomik, idari ve yasal açıdan değerlendirilmesi yapılmaktadır. Havzayı bir bütün olarak ele alan Entegre Havza Yönetimi, 1) Tanılama, 2) Havza Bilgi Sistemi, 3) Karar Destek Sistemleri (DSS), 4) Uygulama ve 5) İrdeleme bölümlerinden (aşama) oluşmaktadır (Şekil 3.1). Her bir aşama tamamen birbirinden bağımsız olmamakla birlikte aşamalar arası ilişkiler bulunmaktadır.

Entegre Havza Yönetim Modelinde (Şekil 3.1), Aktörlerin ve Yönetim Amaçlarının Belirlenmesi ve Havza Sisteminin Tanılanması, modelin *Tanılama(1)* bölümünü oluşturmaktadır. *Aktörlerin ve Yönetim Amaçlarının Belirlenmesi(a)*, adımıyla havzanın yönetiminden sorumlu idari mekanizmanın oluşturulması, kaynaklardan faydalanan kullanıcıların ve idari mekanizmayı oluşturan kurum ve kuruluşların belirlenmesi gerçekleştirilmektedir. Böylelikle havzanın gelişim planlarının hazırlanması, yönetim amaçlarının tespiti ve yönetimle ilgili yasal mevzuatın incelenmesi yapılmakta, aktörler arasındaki koordinasyon sağlanmaktadır. Yönetim amaçlarının başlangıçta iyi bir şekilde tanımlanması uygulanacak çalışmanın başarısı ve tutarlılığı yönünden büyük önem arz etmektedir. Birçok çalışma bu eksikliklerden dolayı başarısızlıkla sonuçlanmaktadır (Van Zyl, 1995; Blackmore, 1995). *Havza Sisteminin Tanılanması(b)*, adımıyla Entegre Havza Yönetim Modeliyle; havza bir bütün olarak tanılanmakta, havzanın yağış, akım, kalite, arazi kullanımı vb. fiziksel özellikleri belirlenmekte ve sistem elemanları arasındaki etkileşimler ortaya konmaktadır. Sistemin tanılanmasıyla havzanın karşılaştığı problemlerin nedenlerinin ve sınır şartlarının tanımı, uygulanacak politika

ve alınacak yönetim kararlarında kullanılacak karar kriterlerinin ve ekosistem parametrelerinin belirlenmesi gerçekleşmektedir. Ayrıca havzadaki sosyal, idari, yasal ve ekonomik unsurların belirlenmesiyle, yaşanan sorunların yasal, idari ve teknik yönden incelemesi yapılmaktadır. *Tanımlama* aşamasının gerçekleştirilmesiyle, havzanın hidrolojik, çevresel, sosyal, ekonomik, yasal ve idari yönden *Durum Tespiti* yapılmaktadır (Harmancıoğlu vd., 2003).



Şekil 3.1 Entegre havza yönetim modeli

Entegre Havza Yönetim Modelinin ikinci aşaması olan *Havza Bilgi Sisteminin Oluşturulması(2)* sayesinde, havzayı izleme sistemlerinin oluşturulması, veri güvenilirliğinin araştırılması, veri tabanlarının teşkili, veri analizleri ve aktarımı gerçekleşmektedir. Doğru ve sağlıklı veri, entegre yönetimin uygulanması için büyük önem arz etmektedir. Elde edile verilerin sağlıklı bir şekilde ölçülüp standart bir şekilde depolanması, güvenilirlikleri ve yeni tür bilgilerin eklenmesi başarılı bir bilgi sisteminin oluşturulmasını sağlamaktadır.

Yönetim modelinin üçüncü bölümünde havzaya ait *Karar Destek Sistemlerinin Oluşturulması (DSS)(3)* hedeflenmektedir. Karar Destek Sistemleri, alternatif kararların oluşturulması, havza modellemesi, kararların sınanması-etki değerlendirmesi ve karar modelleri adımlarından oluşmaktadır. *Alternatif Kararların Oluşturulması (senaryo üretimi)(a)* adımıyla, seçilen havza için önceki aşamada belirlenen amaçlar, problemler ve sınır şartları göz önünde bulundurularak alternatif yönetim planlarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede, tüm paydaşların hedefleri doğrultusunda belirlenmiş seçenek yönetim planlarının olumlu ve olumsuz yönleri ortaya konulmaktadır. İkinci adım *Havza Modellemesi(b)* yardımıyla, bir önceki adımda belirlenen alternatif yönetim planlarının bilgisayar destekli simülasyon modeller yardımıyla analiz edilmesi hedeflenmektedir. Kullanılacak amaç doğrultusunda seçimi yapılan modeller esas olarak yönetim amaçlı olup, seçenek havza yönetim planlarının irdelenmesine olanak sağlamaktadır. *Kararların Sınanması ve Etki Değerlendirmesi(c)* adımıyla yapılan modelleme çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçların irdelenmesi, alternatif yönetim planlarının yönetim amaçları doğrultusunda etkilerinin belirlenmesidir. Bir başka deyişle, verilen kararlara göre havzanın davranışını model ve mevcut verilerle belirleme çalışmasıdır. Son adım olan *Karar Modelleri(d)* yardımıyla sınanmış ve etki değerlendirmesi yapılmış alternatif planlar arasından en sağlıklı ve en uygun olanının seçilmesi sağlanmakta, risk ve güvenilirlik analizlerinin yapılması gerçekleştirilmektedir.

Uygulama (4) oluşturulan karar ve politikaların karar vericiler tarafından uygulanma aşaması olarak tanımlanmaktadır. Yönetim kararlarının uygulanması

sırasında karşılaşılan teknik, yasal ve idari sorunlar ve bu sorunların çözümüne yönelik çalışmaların değerlendirilmesini kapsamaktadır.

İrdeleme (5), karar vericiler tarafından uygulanan karar ve politikaların sonuçlarının irdelenmesi, sorunların yasal, teknik ve idari açıdan değerlendirilip alınması gereken önlemlerin belirlenmesi ve gelecekle ilgili uygulamaların şekillendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu bölümün temel amacı değişen koşullar ve sınır şartları altında kendini yenileyebilen dinamik bir entegre yönetim anlayışı geliştirmektir (Harmancıoğlu vd., 2003).

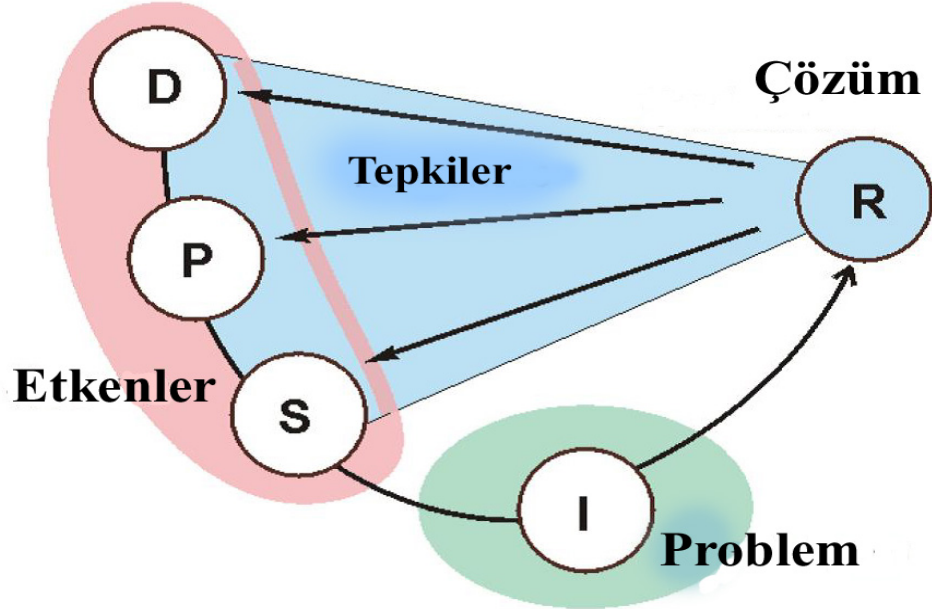
Entegre Havza Yönetimi (EHY), sürdürülebilir kalkınma hedefini taşıyan, ekonomik, sosyal, çevresel, yasal ve teknik açıdan pek çok faktörün dengeli bir biçimde değerlendirilmelerine olanak sağlayan bir yaklaşımdır (Dalkılıç ve Harmancıoğlu, 2008). Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerine ulaşabilmek için su kaynaklarının iyi ve etkin yönetilmesi, Entegre Havza Yönetim sistemlerinde DPSIR yaklaşımı gibi güçlü ve güvenilir yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. DPSIR, bir havza sistemi üzerine gelen etkilerin ve baskıların tanımlanmasını, bu etkiler altında sistemim durumunun, etkilerin yaratacağı sonuçların ve sistemin verdiği tepkilerin belirlenmesini içeren bir yaklaşımdır. Sürdürülebilir Kalkınmayı tam anlamıyla ölçebilen evrensel bir ölçü sistemi olmamasına karşın DPSIR yaklaşımı, çevresel problemlerin analizinde, neden-sonuç ilişkilerinin bulunmasında tercih edilmektedir (Langeweg, 1998). Bir başka ifadeyle DPSIR yaklaşımı, çevresel problemlerin nedenlerini, etkilerini ve tepkilerini anlamamıza yardım eden önemli bir yöntemdir (Lourenço, 2001). DPSIR yaklaşımı Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından çevresel politikalar üzerinde detaylı ve tutarlı değerlendirmeler yapabilmek için geliştirilmiştir.

DPSIR yaklaşımı özellikle sürdürülebilir kalkınma analizleri ve çevre durum raporlarının hazırlanmasına temel oluşturmaktadır. Son yıllarda çevresel kaynakları izleme ve değerlendirme işlemleri büyük oranda ilerleme kaydetmiştir. Her yıl devlete ait kurumlar, ulusal ve uluslararası çevre ajansları bu konularla ilgili raporlar yayınlamaktadır. Değerlendirme ve raporlar hazırlanırken çevrenin durumu,

insanlığın çevre üzerine olan etkileri, ekolojik, ekonomik, sosyal ve teknolojik vb. göstergelerle tanımlanmaktadır (Giupponi, 2002).

Avrupa Çevre Ajansı (EEA), DPSIR yaklaşımını çevresel sistemi ilgilendiren 10 (on) ana başlık altındaki konularda uygulamaktadır. Bu konulardan; hava kirliliği, iklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğin azalması, deniz çevresi&kıyı şeridi, ozon tabakasının incilmesi, kaynak azalımı, toksik maddelerin ayrışımı, kentsel çevre problemleri&atıklar, su kirliliği ve su yönetimi ile ilgili sorunlar Avrupa Birliği ülkelerinde DPSIR yaklaşımıyla çözülmektedir.

DPSIR “*Driving Force, Pressure, State, Impact ve Response*” kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. *DPSIR* kısaca, bir çevresel sistem üzerine nitelik ve nicelik yönünden etki eden *Sürücü güçler (D)*, güçlerin sistem üzerinde oluşturduğu *Baskılar (P)*, sistemin baskı altındaki *Durumu (S)*, baskıların sistem üzerindeki *Etkileri (I)*, alınan önlemler ve *Tepkiler (R)* olarak ifade edilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 DPSIR yaklaşımı

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, D,P ve S sistemin karşılaştığı sorunun nedenlerini oluşturmakta, I ise problemin kendisini ifade etmektedir. Problemin tanımlanmasından sonra karar vericiler tarafından soruna yönelik bir çözüm (R)

bulunmakta ve çözüme ait işlevler yerine getirilmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi DPSIR yaklaşımı sistemle ilgili sorunlarda karar vericilere ve politika yapanlara yardım etmekte, karar destek sistemlerinin bir parçası olmaktadır.

(D)-Sürücü güçler(Driving Forces); Çevresel sistemi etkileyen, kaynak ihtiyacına neden olan etmenleri ifade etmektedir. Bir başka deyişle, zirai ihtiyaçlar ve tüketim oranları, sanayileşme, teknoloji gelişimi, enerji ihtiyacı, nüfus artışı, kentleşme yoğunluğu, ulaştırma ve turizm ihtiyaçları, tüketim artışı gibi çevreyi doğrudan olumsuz etkileyen birimler *Sürücü güçler (D)* olarak tanımlanmaktadır. Sürücü güçler, bir çevresel sistem üzerinde farklı şekilde etkinlik gösterebilmektedir. Sistemin fiziksel, çevresel, topolojik, jeolojik, coğrafi, iklimsel, ekonomik, demografik vb. özellikleri sürücü güçlerin şiddetinin belirlenmesinde ana rol oynamaktadır. Bu özelliklerden dolayı çeşitli çevresel sistemler üzerine birbirinden farklı sürücü güçler etkimektedir.

(P)-Baskı (Pressure); Çevresel sistem üzerine etki eden sürücü güçlerin sistem üzerinde oluşturduğu stresler *Baskı (P)* olarak tanımlanmaktadır. Sisteme etki eden baskılar, kaynakların aşırı kullanımı, kirlilik emisyonu ve baskıların getirdiği maliyet olarak ifade edilmektedir. Nüfus ve tüketim artışı, sanayileşme, kentleşme vb. faktörler toprak, su, enerji kaynağı ve maden gibi kaynakların kullanımının artmasına, su kirliliği, hava kirliliği ve toprak kirliliğinin görülmesine neden olmaktadır.

(S)-Durum (State); Çevresel sistemin baskı altındaki vaziyeti sistemin *Durumu (S)* olarak ifade edilmektedir. Sistem fiziksel durum, kimyasal durum, biyolojik durum, ekosistem durumu olarak alt başlıklarda incelenmektedir. Fiziksel durum, sistemin hidrolojisi, bitki örtüsü ve kaynakların kullanılmasıyla ilgilidir. Hava kalitesi, su kalitesi ve toprak kalitesiyle sistemin kimyasal durumu belirlenmekte, sistemdeki tatlı su kaynakları, ormanlar ve deniz sularının durumları da sistemin ekosistem durumunu ifade etmektedir. Çevresel sistem üzerine DPSIR yaklaşımını uygularken sistemin durumunu belirlemede çeşitli göstergelerden (indikatörler) faydalanılmaktadır.

Göstergeler (Indicators); DPSIR yaklaşımıyla sistemin içinde bulunduğu durumu belirleyebilmek için ulusal, bölgesel ve yerel ölçeklerde sürdürülebilirlik göstergelerinin tanımlanması gerekmektedir. Sürdürülebilirlik göstergeleri yeterli sayıda veya çeşitte veri bulunmamasından dolayı bölgelere ve ülkelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Avrupa Ekonomik Kalkınma Örgütü (OECD), iyi bir göstergenin sistemin mevcut durumunu yeterli bir şekilde ifade edebilen, yönetim, toplum ve paydaşlar arasındaki iletişimi kolaylaştıran özellikte olması gerektiğini belirtmektedir (Bowen ve Riley, 2003). Sistemin durumunu tanımlamak için çok sayıda göstergenin bulunması ve farklı sistemler arasında kıyas yapmak isteği EEA, OECD, EUROSTAT, BM vb. kurumlarca ortak sürdürülebilir göstergeler belirlenmesine yol açmıştır. Kuruluşlar tarafından oluşturulan göstergeler çoğunlukla birbirlerine benzemesine rağmen aralarında az da olsa farklılıklar bulunmaktadır. Göstergeler DPSIR yaklaşımında; *baskı göstergeleri (pressure indicator)*, *durum göstergeleri (state indicator)*, *etki göstergeleri (impact indicator)* ve *tepkî göstergeleri (response indicator)* şeklinde kullanılabilir. Böylelikle sistemin baskıları, durumu, etkileri ve tepkileri DPSIR yaklaşımıyla tanımlanmaktadır.

Belirlenen ortak göstergelerin sayısı, sistemi iyi bir şekilde tanımlayabilme amacıyla oldukça fazla sayıda oluşturulmuştur. Gösterge sayısının fazla olmasına rağmen göstergeler; ekonomik, sosyal, çevresel ve kurumsal olarak, dört ana başlık altında toplanmaktadır. Ekonomik göstergelerle sistemin; ekonomik yapısı (büyüme, gayri safî hasıla (GSH), ticaret hacmi, finansal durum vb.); tüketim ve üretim seviyesi (enerji kullanımı, kaynak tüketimi, atık üretimi ve yönetimi); ulaştırma durumu belirlenmektedir. Sistemin sosyal yapısı da eşitlik (yoksulluk, cinsiyet eşitliği); sağlık (beslenme durumu, ölüm oranı, açlık seviyesi, sağlık hizmetleri dağılımı), eğitim (eğitim seviyesi, okuryazarlık oranı); barınma (yaşam koşulları); güvenlik (suç durumu); nüfus (nüfus değişimi) gibi göstergelerle tanımlanmaktadır. Çevresel durum; atmosfer (iklim değişikliği, ozon tabakası seviyesi, hava kalitesi); arazi (tarım ve orman seviyesi, çölleşme ve şehirleşme durumu); deniz ve kıyı (kıyı bölgesi durumu, balıkçılık seviyesi); tatlı su (su miktarı ve su kalitesi); biyolojik çeşitlilik (ekosistem, türlerin çeşitliliği) gibi alanlara ait göstergelerle ifade edilmektedir. Çevresel göstergelerin, çevresel problemlerle ilgili bilgi sağlayan,

politikacılara olayın ciddiyetini gösteren, politikaların uygulanmasını destekleyen, etkilerini izleyen ve halkın bilinçlendirilmesine yardımcı olan önemli görevleri vardır.

(I)-Etkiler (Impacts); DPSIR yaklaşımında sistem üzerindeki baskıların sistemin durumunda oluşturduğu olumsuz değişikliklere *etki (I)* denilmektedir. Baskılar sistem üzerinde çevresel (ekosistem ve sağlık üzerinde değişiklik) ve ekonomik etki (ekonomik yapı üzerindeki değişiklik) oluşturmaktadır.

(R)-Tepkiler (Responses); Çevresel sistem üzerindeki baskıların oluşturduğu etkiler sistemde olumsuz değişikliklerle neden olmaktadır. Bu sorunların çözümü ve sistemin istenilen düzeye getirilmesi için alınan önlemlere *tepki (R)* olarak ifade edilmektedir. Çözüm bulunurken çevresel, ekonomik ve sosyal kaygılar ön plana alınmakta, kaygılar ışığında hedefler belirlenmektedir. Kaygıların önem dereceleri değiştirilerek alternatif çözüm planları yaratılmaktadır. Sorunların çözümüne yönelik planlamalarda alınan önlemlerin çevresel hedeflere ulaşmada etkisi, maliyet miktarı, hangi önlemlerin en az maliyetle hedeflere ulaşabilmeyi sağladığı analizler yardımıyla belirlenmekte, karar vericilere alternatif politikaları değerlendirme şansı sağlanmaktadır.

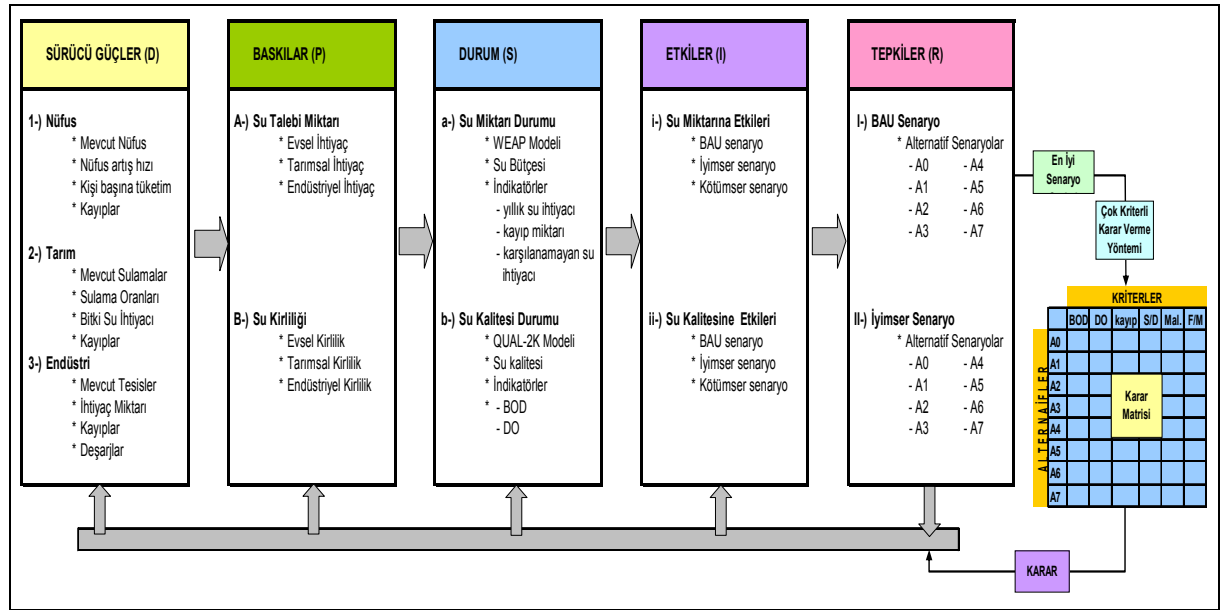
DPSIR yaklaşımının pek çok avantajının yanında zayıf yönleri de bulunmakta, yaklaşıma çeşitli eleştiriler de yapılmaktadır (Carr vd., 2007). Yaklaşımın tercih edilmesindeki en önemli etkenler, bu yaklaşımın sistemdeki elemanları birleştirmesi, sürücü güçleri ve bunların çevreye olan etkilerini göz önüne alması, biyofiziksel ve sosyal çevreyi bir araya getirmesi, çevresel problemlere yönelik politik tepkilerin (çözüm) gelişimini ve değerlendirilmesini kolaylaştırması, neden sonuç ilişkilerini göstermesidir. Karar verilen çözüm yollarının uygulanmasıyla, çevresel, sektörel ve makroekonomik politikalar üzerindeki belirsizlikler azalmaktadır. Buna karşın; P-S-R modelinde olduğu gibi verilerin sektörlerin ve yönetimin ilgi alanları doğrultusunda toplanması, veri elde etme güçlüğü, yaklaşımın kullanımının zor olması, bütün parametreleri çevresel ve ekonomik sürece entegre etmenin güçlüğü, yaklaşımın değerlendirme mekanizmasının sadece statik göstergelere dayanması,

sistemin dinamiklerini göz önüne almaması, çevresel trendlerin sadece belirli zaman aralıklarında ölçülen göstergelerle analizi, yaklaşımın kullanımındaki sakıncaları belirtmektedir (Rekolainen vd., 2003).

Entegre yönetim, toplumun her kesimini, birbirinden farklı disiplin ve kurumları, sosyal, ekonomik, yasal ve idari koşulları içeren karmaşık bir yaklaşımdır (Harmancıoğlu vd., 2003). Ancak tam olarak uygulanabildiğinde sorunlara en kapsamlı ve en iyi şekilde çözüm bulabilecek yönetim biçimidir. Türkiye'ye ait havzalarda yaşanan hızlı gelişim süreci ve beraberinde getirdiği doğal kaynaklara olan talep artışı özellikle su kaynaklarında sorunlara ve tahribatlara yol açmıştır. Türkiye'de bulunan sorunlu bir havzanın sorunlarının çözümüne yönelik yönetim stratejilerinin belirlenmesinde DPSIR yaklaşımı gibi Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından geliştirilen ve Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifinin (WFD) önerdiği bir yaklaşımın kullanılması, Avrupa Birliğine (AB) girmeyi hedefleyen Türkiye'nin AB Müktesabatına Uyum Programı çerçevesindeki çalışmalara örnek teşkil etmesi açısından önemlidir. Bu kapsamda çalışma alanı olarak seçilen, Batı İç Anadolu Bölgesinde bulunan Porsuk Çayı'ndan halihazırda içme, kullanma ve sulama suyu açısından faydalanılmakta ve taleplerin karşılanamaması gibi bir mevcut durum da bulunmamaktadır. Ancak, su kalitesinin mevcut durumu su kirliliği kriterleri açısından kabul edilebilir sınırların üzerindedir. Özellikle su kirliliği açısından sorunlu bir havza olan Porsuk Havzası üzerinde DPSIR yaklaşımı uygulanarak sürücü güçler (D), güçlerin sistem üzerinde oluşturduğu baskılar (P) ve sistemin baskı altındaki durumu (S) belirlenmiş, *QUAL2K* ve *WEAP* modelleri yardımıyla alternatif senaryolar oluşturularak sistemin etkileri (I) ve tepkileri (R) ortaya çıkarılmıştır. DPSIR yaklaşımından elde edilen sonuçlara göre gelecekte beklenen olası durumlarda Porsuk Havzası, su kirliliği ve su miktarı (kıtlığı) açısından kapsamlı bir şekilde irdelenmiş, alternatif yönetim senaryoları yardımıyla karar vericilere çözüm için yardımcı olması amaçlanmıştır.

Havzayı Şekil 3.3'de belirtilen şekilde DPSIR yaklaşımıyla irdelerken, havzada bulunan *şehirlere* mevcut nüfusu, nüfus artış hızları, kişi başına su tüketim miktarı ve kayıplar; *tarım alanlarının* mevcut sulamaları, sulama oranları, bitki su ihtiyaçları

ve kayıplar; *endüstri alanlarının* mevcut tesisler, tesis ihtiyaçları, kayıplar ve deşarjlar *sürücü güçler (D)* olarak belirlenmiştir. Nüfus, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler havza üzerinde kirlilik yönünden ve su miktarı açısından *baskılar (P)* oluşturmuş, çoğunlukla evsel, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucunda meydana gelmiştir.



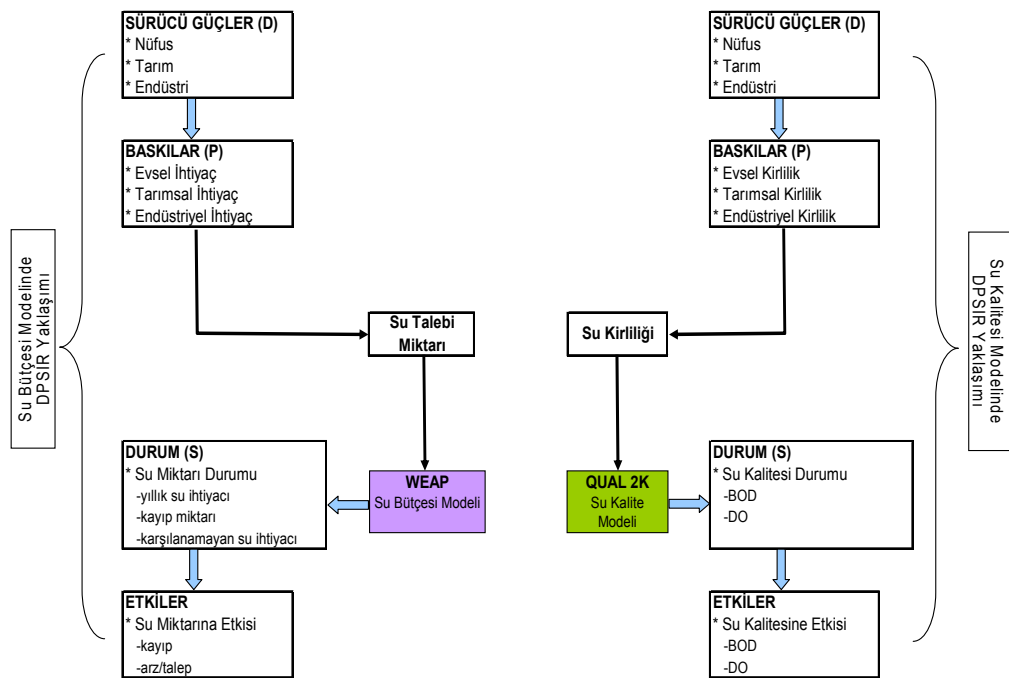
Şekil 3.3 Havzanın DPSIR yaklaşımıyla irdelenmesi

Baskıların havza üzerinde oluşturduğu su miktarı durumu ve su kalitesi durumu seçilen göstergelerle ifade edilmiştir. Oluşturulan havza simülasyon modelleriyle geleceğe ait yönetim ve alternatif senaryoların sonuçları *su miktarı durumu* ve *su kalitesi durumu* olarak belirlenmiş, oluşturulan alternatif senaryoların (A0, A1, A2, A3,...) sonuçları mevcut durumun sürmesi (BAU) ve mevcut durumun iyileşmesi (OPT) senaryoları ışığında su miktarı, su kalitesi ve ekonomik açıdan seçilen göstergelerle değerlendirilmiştir. Çalışmada su bütçesi modeli olarak WEAP, akarsu kalite modeli olarak QUAL2K modellerinden yararlanılmıştır. Her iki modelin kullanımının yaygınlığı, başarısı ve akademik çalışmalar için temin edilme kolaylığı tercih edilme nedeni olmuştur. Entegre yönetimlerde elde edilen alternatif çözümler arasından en uygun çözümün seçimi veya kararın alınması farklı kriterlerin birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmıştır. Literatürdeki *Çok Kriterli Karar Verme* yöntemleri olarak adlandırılan yöntemlerde elde edilen alternatif yönetim senaryo sonuçlarının çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan değerlendirilmesini sağlamıştır.

Değerlendirmelerde hem objektif ve hem de subjektif faktörlerin dikkate alınması gerekliliği ve karar vericilere bu bakış açılarıyla en uygun kararın verilmesine yardımcı olmak amacı alternatif senaryoların seçilmesinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi'nin (AHY) tercih edilmesini sağlamıştır.

3.2 Çalışmada Yararlanılan Modeller

Karar vericiler ve politikacılar su konularıyla ilgili kararlar alırken bunu destekleyen yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Entegre Havza Yönetimi'nde de, havza bir bütün olarak değerlendirilip çeşitli senaryolar ışığında çözümler aranmakta, değerlendirmede farklı modellerden faydalanılmaktadır. Günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerde, *entegre havza modelleri* olarak anılan ve havzada yer alan tüm elemanları, olayları ve etkileşimleri inceleyen havza simülasyon modelleri geliştirilmiştir (Harmancıoğlu ve Özkul, 1996). Çeşitli strateji ve senaryolara göre belirlenen su miktarı (bütçesi) ve su kirliliği problemlerinin çözümünde ise su bütçesi ve akarsu kalite modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. DPSIR yaklaşımıyla havzaların yönetim stratejilerinin belirlenmesinde farklı uygulama alanlarında bu modellerden faydalanılmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Modellerin DPSIR yaklaşımında uygulama alanları

Modelleme, bir ortamda gerçekleşen süreçleri daha iyi anlayabilmek, geleceğe ilişkin yönelik tahminler yapabilmek için kullanılan ve geniş anlamıyla gerçek olayların basitleştirilmiş bir şeklini ifade eden araçlardır (Göncü, 2001). Günümüzde modellemeler; zaman tasarrufu, ekonomikliği, değişiklik yapabilme kolaylığı, risk ve belirsizliğin modellenenebilmesi, büyük ve karmaşık sistemlerin varsayımlarla analiz edilme gibi imkanları nedeniyle tercih edilmektedir.

Su kalitesi modellerinin genel amacı; noktasal ve yayılı kaynaklardan alıcı ortamlara verilen kirliliklerin bu ortamlarda oluşturdukları kirletici konsantrasyonlarının konuma ve zamana göre değişiminin hesaplanması, su bütçesi modeli ise yağış akış ilişkisi, noktasal ve yayılı akım ve çekimler, talepler vb. konuma ve zamana göre değişiminin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Tez araştırması kapsamında aşağıda sıralanan WEAP ve QUAL2K modelleri ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

3.2.1. WEAP

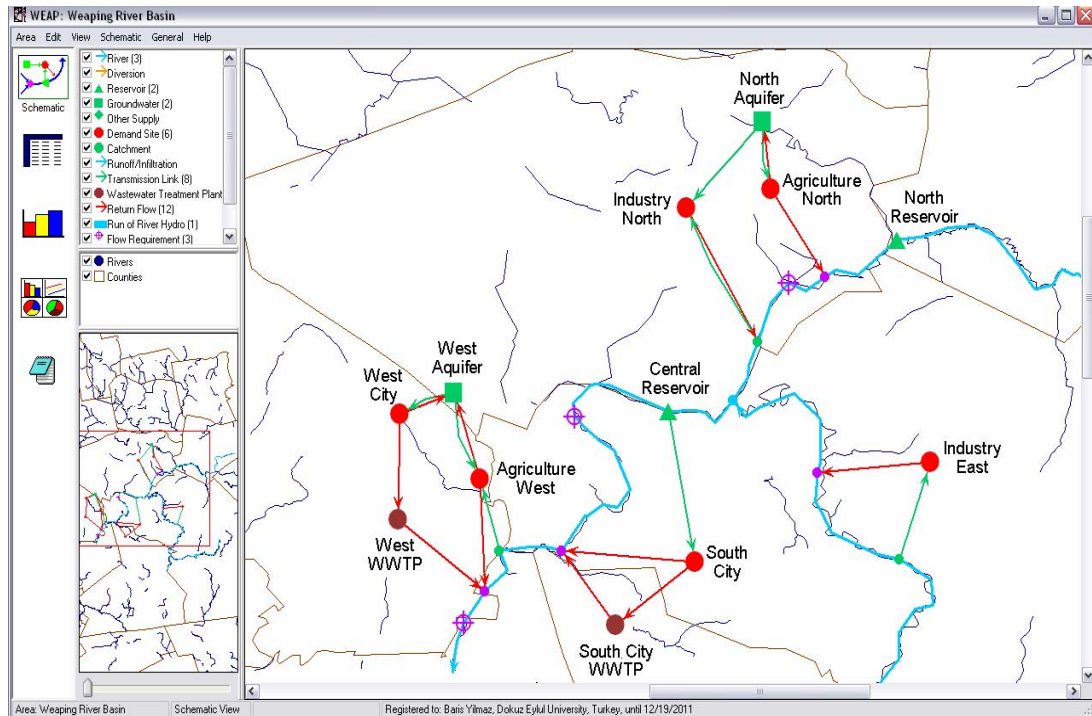
Farklı strateji ve senaryolara göre oluşturulan su bütçesi (miktarı), planlaması ve yönetimiyle ilgili çözümlerde kullanılan WEAP “*Water Evaluation and Planning System*” modeli Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan SEI “*Stockholm Environment Institute*” tarafından geliştirilmiştir. Model çeşitli senaryo ve politikalar ışığında sulama sistemlerini talep, arz (rezervuar, yeraltısuyu, akış), yeniden kullanım, kirlilik ve fiyatlandırma açısından değerlendirmektedir. Model; su planlaması ve politikaları oluşumunda kullanımı kolay ve etkili bir araçtır. Su kullanımı bütçesi felsefesine göre hareket eden WEAP modeli, yerel ve tarımsal sulama sistemlerinde, havzalarda veya karmaşık akarsu sistemlerinde talep analizleri, su korunumu, su hakları, önceliklerin oluşturulması, yeraltı ve yerüstü akışların simülasyonu, rezervuar kullanımı, kirlilik, ekosistem ihtiyaçlarının karşılanması ve fayda maliyet analizleri gibi birçok farklı konularda kullanılmaktadır (SEI, 2007).

WEAP modeli, diğer modellerde olduğu gibi birçok farklı basamaklardan oluşmaktadır. Öncelikle modelde sistemin mevcut durumunu ifade eden *mevcut*

durum (current accounts); mevcut su ihtiyacı, kirlilik yükleri, kaynakların durumunu ifade eden ve kalibrasyonda kullanılan bir bölüm bulunmaktadır. Mevcut veriler ışığında uygun ve mantıklı bir şekilde modellenerek sistemin halihazırdaki durumu oluşturulmakta, hazırlanan bu baz duruma (*referans senaryo*) göre gelecekle ilgili kabuller yapılmaktadır. Oluşturulan referans senaryonun baz alınmasıyla farklı konuları veya soruları içeren alternatif senaryolar üretilebilmektedir. Modellerin özellikle de WEAP modelinin en önemli avantajı çok sayıda ve farklı değişkenlere göre kolaylıkla alternatif senaryolar üretebilmesi ve karar vericilere yardımcı olmasıdır.

3.2.1.1 Model Yapısı

WEAP modeli, çalışma alanının coğrafi olarak ifade edildiği *şema (Schematic)* bölümü, kaynak (arz) ve talep bölgeleri verilerinin girildiği *veri (Data)* bölümü, sonuçların gözlemlerle kıyaslandığı *sonuçlar (Results)* bölümü, senaryoların sonuçlarının birlikte görüldüğü *görünümler (Overviews)* olmak üzere 4 (dört) ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 WEAP modelinin şematik gösterimi

WEAP modelinde bir su sistemini modellemeye başlamadan önce sistemin coğrafi, politik vb. sınırlarını belirlemek gerekmektedir. Sınırları belirlerken GIS tabanlı haritaları arka alan olarak kullanmak mümkün olmaktadır. Sistemin sınırlarını belirledikten sonra model üzerinde sistemin mevcut durumunu ifade edecek noktasal elemanlar konulacaktır. Bu noktasal elemanlar; talep bölgesi, yeraltı suyu akiferi, rezervuar veya akarsuyun özel bir bölümünde oluşmaktadır. Ayrıca doğal veya sonradan yapılmış kanal, boru hattı veya bağlantılar da model üzerinde gösterilmesi gerekmektedir.

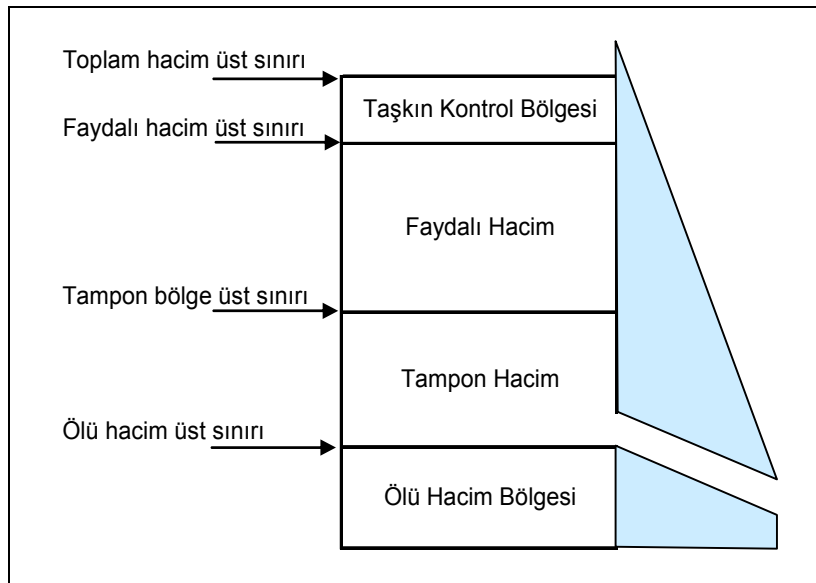
Modelde belirtilen *Talep ve Arz Bölgeleri (Demand Sites-Catchments)*, talebin arz kaynaklarından karşılanması ve sonuçlarının irdelenmeye çalışılması, modelin mevcut ve gelecekle ilgili alternatif senaryolara göre durumlarını değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir. Su ihtiyacı tanımlanırken; havzadaki tarımsal, endüstriyel, ve ekonomik faaliyetler ve yerleşim yerlerinin demografik özellikleri dikkatle ele alınmaktadır. Su ihtiyacı tarımsal faaliyetlerde ekilen ürün desenine, kullanılan sulama yöntemine, tesislerin modernliğine ve şebeke randımanına büyük ölçüde bağlıdır. Endüstriyel su ihtiyacı da sektörler arasında farklılıklar gösterebilmektedir. Özellikle bazı sektörlerin su ihtiyacı diğer sektörlere göre daha fazla olabilmektedir. Yerleşim yerlerinin demografik yapısı, gelişmişliği ve şehirleşme oranları su ihtiyacının değişimi açısından önem arz etmektedir. Şehirleşmenin ve gelişmişliğin arttığı yerleşim yerlerinde, daha fazla su kullanımına rastlanılmaktadır.

Modelde talepler belirlenirken endüstri, tarım, yerleşim yeri açısından ayrı ayrı ele alınarak mevcut durumdaki talepler belirlenmekte, bunlar hesaplanırken sistemin kayıpları, buharlaşma vb. hesaplanmayan kayıplar da göz önüne alınarak sistem doğru bir şekilde modellenmektedir. Sistemi doğru verilerle gerçeğe en yakın olarak modellemek üretilecek senaryolarında doğruya yakın olmasını sağlamaktadır.

Havzanın; tarımsal, endüstriyel ve şehirleşme faaliyetlerine göre belirlenen su ihtiyaçları, havzada bulunan akarsu ve kolları, yeraltı suyu kaynakları, doğal ve yapay rezervuarlar vb. vasıtasıyla karşılanmaya çalışılmaktadır. Modelde mevcut

talep merkezleri belirlendikten sonra taleplerin karşılanması için seçilen kaynaklardan talep merkezlerine *doğal veya yapay iletim hatları (Supply-Resources)* oluşturulmaktadır. Kaynakla talebi birleştiren *iletim hatları (linking demand and supply)* oluşturulması sırasında hattın fiziksel kapasitesi, kayıpları, kısıtları ve öncelik sıraları da model tarafından dikkate alınmaktadır.

Havzanın su ihtiyaçları, yerüstü kaynağı olarak akarsu ve kollarından sağlanmaktadır. Modelde akarsu ve kollarının debi değerleri mevcut akış istasyonlarındaki ölçülmüş değerlerle kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, akarsu üzerinde, baraj gölü gibi rezervuar depolama hacimleri bulunmakta ve su taleplerinin karşılanılmasında kullanılmaktadır. Modelde böyle durumlarda hazneye ait büyüklük değerlerine (hazne kapasitesi, başlangıç hacmi, hacim yükseklik eğrisi, baraj gölündeki net buharlaşma) ve işletmeye yönelik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Model; depolama haznelerini 4 bölüme ayırarak incelemektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 WEAP modelinde rezervuar depolama hacimleri

Ölü hacim bölgesi (inactive zone) haznenin rusubatla dolması beklenen bölümü; *tampon hacim (buffer zone)* ve *faydalı hacim (conservation zone)* bölümlerinin toplamı aktif hacmi bir başka ifadeyle kullanılacak toplam hacmi; *taşkın kontrol hacmi (flood control zone)* ise rezervuarın taşkın anındaki kontrol hacmini ifade

etmektedir. *Faydalı hacim (conservation zone)* bölümü, aktif hacimde bulunan su hacminin hiçbir kısıtlama olmadan kullanılabilen kısmını, *tampon hacim (buffer zone)* bölümü ise kısıtlamayla izin verilebilen su miktarını ifade etmektedir. Kısıtlama miktarı *tampon hacim kullanım katsayısıyla (buffer coefficient)* tanımlanmaktadır. Su taleplerinin kaynaklardan karşılanmasından sonra kullanılmayan sular veya kullanılan sular akışa geri verilmektedir. Modelde bu olay *dönen akışlar (return flows)* olarak ifade edilmektedir.

3.2.1.2. Model Algoritması

Her model, hidrolojik olayları benzeştirirken hidrolojide benimsenen bazı yöntem ve kabulleri esas almaktadır. Seçilen çözüm yönteminin detaylı olması, gerekli veri miktarını ve çeşitliliğini arttırmaktadır. Veri çeşitliliğindeki artış, sistemin çözümünü doğruya daha yakınlaştırırken, aynı zamanda veri elde etmedeki güçlük nedeniyle modelin havzaya uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Bayazıt, 1998).

WEAP modeli bir su bütçesi yönetim modeli olmakla birlikte; bazı kabullere göre çözüm bulmaktadır. Aşağıda modelin belli başlı kabulleri ve algoritması ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir;

- *Yıllık Su İhtiyacı (Annual Water Demand-AWD)*: Havza içerisinde su talebinde bulunan her bir faaliyetin, su kullanım miktarı hesaplanarak toplam yıllık su ihtiyacı bulunmaktadır.

$$\text{Yıllık Su İhtiyacı} = \Sigma (\text{Toplam her bir faaliyet} \times \text{Su kullanım miktarı}) \quad (3.1)$$

- *Aylık Su İhtiyacı (Monthly Water Demand-MWD)*: Yıllık su ihtiyacının aylık ihtiyaçlara göre ayrılmasıdır. Modelde, aylık ihtiyacı gösteren katsayılarla, yıllık ihtiyacın çarpılması aylık su ihtiyacını vermektedir.

$$\text{MWD} = \text{Aylık ihtiyaç katsayıları} \times \text{AWD} \quad (3.2)$$

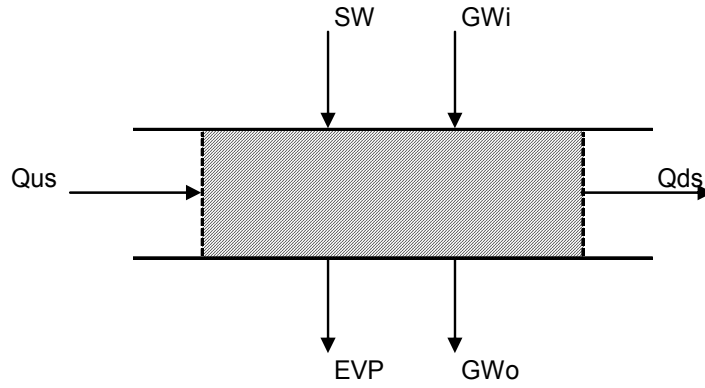
- *Aylık Talep Edilen Su İhtiyacı (Monthly Supply Requirement-MSR)*: Aylık su ihtiyacına, kayıplar, geri kullanım miktarları ve yönetim kaynaklı su artışlarının da ilavesiyle ihtiyaç duyulacak su miktarını içermektedir.

$$\text{MSR} = (\text{MWD} \times (1 - \text{Geri kullanım oranı}) \times (1 - \text{Talep yönetim katsayısı})) / (1 - \text{Kayıp oranı}) \quad (3.3)$$

Aylık talep edilen su ihtiyacı hesaplanırken, model sadece aylık su ihtiyacı miktarını göz önüne almamaktadır; ayrıca geri kullanılan su miktarları, su yönetimi ile tasarruf edilen su miktarları hesap edilerek; aylık kaynak ihtiyacı azaltılmakta veya sistemde bulunan kayıpların etkisiyle bu ihtiyaç artmaktadır.

WEAP modelinde (Şekil 3.7) akarsudaki çıkış akış miktarı (Q_{ds}), akarsudan gelen akış miktarına (Q_{us}), yüzeysel akışın (SW) ve yeraltısuyu akışının (GW_i) ilavesi, evaporasyon (EVP) ve yer altı suyu çekimlerinin (GW_o) çıkarımıyla bulunmaktadır:

$$Q_{ds} = Q_{us} + SW + GW_i - GW_o - EVP \quad (3.4)$$



Şekil 3.7 Akarsu akışı şematik gösterimi

3.2.2. *QUAL2K*

Ekonomik gelişmelere paralel olarak su kaynaklarında kalite ve kantite açısından sorunlarla karşılaşılması, su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından su kalitesinin iyileşmesine yönelik eylem planlarının hazırlanması gerekliliğini ortaya koymuş, beraberinde su kalite modellerinin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Literatürde; QUAL2K, QUAL2E, QUAL2E-UNCAS, WASP ve TELEMAC gibi iyi bilinen ve güvenilirlikleri kanıtlanmış genel amaçlı akarsu su kalitesi modelleri bulunmaktadır. Su kalitesi modellerinin gelişimi 1920'li yıllarda başlamıştır. 1925 yılında H.W Streeter ve E.B. Phelps tarafından akarsulardaki çözünmüş oksijen (DO) dengesi incelenmiş (Streeter ve Phelps, 1925), 1970'de TWDB (Texas Water Development Board) tarafından geliştirilen DOSAG-1 ve U.S.EPA (Amerika Çevre Koruma Ajansı) tarafından düzenlenen ilerlemiş sürümü DOSAG-3 programlarıyla akarsulardaki çözünmüş oksijen (DO) ihtiyacı simülasyonları yapılmıştır (Sowinski ve Neugebauer, 2007).

Aynı yıllarda Mash (1970), akarsularda çözünmüş oksijen (DO) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD) simülasyonlarını yapabilen QUAL-1 programını oluşturmuş, 1972 yılında Camp ve arkadaşları (1972) tarafından modele eklentiler yapılmıştır. Yaygın olarak kullanımı olan QUAL-1 modeli ileriki yıllarda QUAL 2E ve QUAL 2E-UNCAS olmak üzere iki yeni sürüm olarak geliştirilmiştir (Brown ve Barnwell, 1987). Diğer bir akarsu su kalite modeli olan WASP modeli 1983 yılında Di Toro (1983) tarafından oluşturulmuş ve 1993 yılında modelin geliştirilmiş bir sürümü hizmete girmiştir (Ambrose, Wool, Tiw ve Martin, 1993).

Bu noktada; U.S.EPA tarafından bedelsiz olarak kullanıma açılan ve bir önceki sürümün (QUAL2E) geliştirilmiş bir hali olan QUAL2K, nehir ve akarsu modellemesinde kullanılan tek boyutlu, deterministik bir su kalite modelidir (Chapra, Pelletier ve Tao, 2007). Model, akarsu kanalının dikeyde ve yatayda iyi bir şekilde karıştığını, sistemin akarsu ve kollarından oluştuğunu ve kararlı haldeki akım dengesine sahip olduğunu kabul etmekte, uniform olmayan kararlı akış, günlük ısı bütçesi ve sıcaklığı; kalite değişkenleri modelde günlük olarak simülasyon

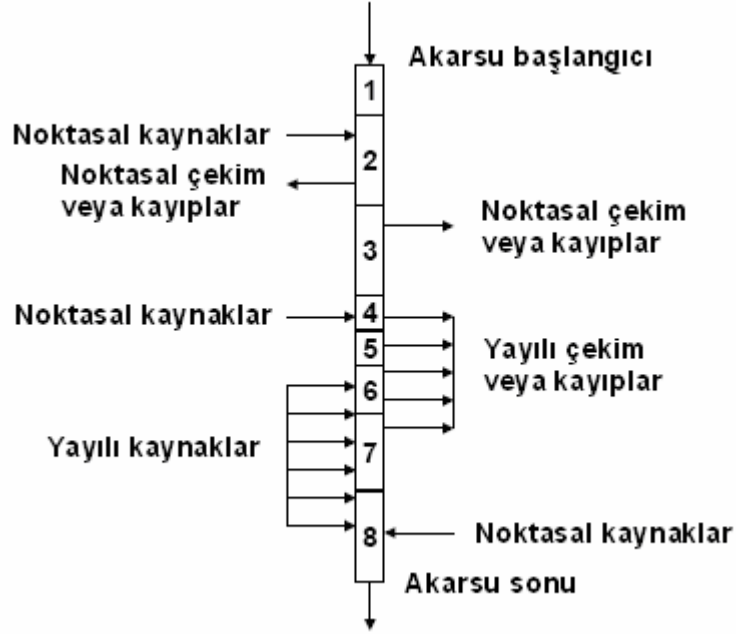
edilmektedir (Chapra ve Pelletier, 2003). Yaygın olarak kullanılan ve iyi bilinen genel amaçlı akarsu su kalite modeli olan QUAL2K ise dünyada; Çin’de Daling havzasında (WRDMAP, 2007), Mısır’da El Nasır-3 kanallarında (Hassanin, 2007), Almanya’nın Neckar ve Benin’in Oueme havzalarında (Rivertwin, 2006), Tayvan’ın Keelung nehri havzasında (Fan, Ko ve Wang, 2009) ve Nepal’in Bagmati nehri havzasında (Kannel vd., 2007) uygulanmıştır. QUAL2K’nın bir önceki sürümü QUAL2E modeli ülkemizde Seydi Suyu’nda (Göncü, 2001), Aşağı Seyhan Nehri’nde (Yüceer ve İnkayalı, 2004) ve Gediz Havzası’nda (SUMER, 2006) kullanılmıştır.

3.2.2.1 Model Yapısı

Doğada akarsu sistemleri çoğu kez ana bölüm ve ona bağlanan birçok yan kollardan oluşmaktadır. QUAL2K modelinde de akarsu sistemini iyi bir şekilde ifade edebilmek için ana ve yan kolları belirtmek gerekmektedir. Bu amaçla, modelde ilk adım olarak akarsu sistemi her biri benzer hidrolik özelliklere (eğim, taban genişliği vb.) sahip olan *akarsu parçalarına (reach)* ayrılmaktadır. Daha sonra her bir akarsu parçası ise *hesap elemanı (element)* adı verilen bir alt bölüme daha bölünmektedir. Hesap elemanları, akarsu parçasının eşit parçalara ayrılarak modelin hesaplamalarda kullandığı en temel birimi ifade etmektedir. Modelde akarsu sistemini kollarıyla beraber ifade eden ve akarsu parçalarından oluşan sisteme *segment* denilmektedir. Her sistem *başlangıç elemanı* ile başlar ve ilk akarsu parçasının ilk elemanını oluşturur, diğer elemanlar ise *standart eleman* olarak tanımlanır. *Sistemin son elemanı*, akarsu sisteminde tanımlanan en son elemandır ve sistemde sadece bir adet bulunmaktadır.

Girdi ve çekim elemanları, sisteme noktasal kirlilik yüklerinin ve sistemden çekimi yapılan debilerin tanımlanmasında kullanılır (Şekil 3.8). Her bir akarsu dilimi için tanımlanan hidrolik özellikler, reaksiyon hızı katsayıları, başlangıç koşulları ve debi artışı değerleri; o akarsu dilimi içindeki tüm hesap elemanları için aynı kabul edilmektedir. Bu nedenle; akarsuyun hidrolik özelliklerinin ve/veya kalitesinin

değiştigi düşünölen kesimleri, farklı akarsu dilimlerine ayırmak gerekmektedir (SUMER, 2006).

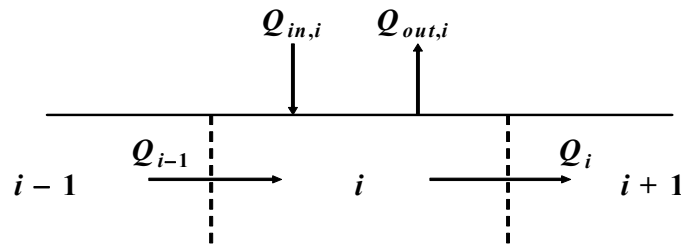


Şekil 3.8 Akarsu sisteminin model gösterimi

QUAL2K modeli ile DO (çözünmüş oksijen), BOD (biyokimyasal oksijen ihtiyacı), sıcaklık, klorofil-a cinsinden alg, organik azot, amonyak azotu, nitrit azotu, nitrat azotu, organik ve çözünmüş fosfor, koliformlar, fitoplankton, partikül organik madde, patojen, dip algleri vb. su kalitesi parametreleri modellenebilmektedir.

3.2.2.2 Model Algoritması

QUAL2K modelinde hesaplamalarda en temel birim *hesap elemanı (element)* olarak alınmıştır. Şekil 3.9'da akarsu parçasının kararlı durumdaki akım dengesi;



Şekil 3.9 Akarsu parçasındaki akım dengesi

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (3.5)$$

eşitliğiyle ifade edilmektedir.

Q_i = i elemanından (i+1) elemanına gelen akım [m^3/d]

Q_{i-1} = akış yukarıdaki (i-1) elemanından gelen akım [m^3/d]

$Q_{in,i}$ = noktasal veya noktasal olmayan kaynaklardan gelen toplam akım [m^3/d]

$Q_{out,i}$ = noktasal veya noktasal olmayan çekimlerden çıkan toplam akım [m^3/d]

Model, öncelikle her bir elemanın çıkan akım miktarlarını hesaplamakta, daha sonra da derinlik ve hız bileşenlerinin hesaplamasını gerçekleştirmektedir. Modelde hız ve derinlik bileşeni, *savaklar*, *Manning eşitliği* ve *hız eğrileri* olmak üzere 3 farklı şekilde hesap edilmektedir.

a) Savak Seçeneği

Savak yüksekliği değeri $H_h / H_w < 0,4$ olan keskin kenarlı savaklar için derinlik ve hız değerleri aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır (Finnemore ve Franzini, 2002).

$$H_h = \left(\frac{Q_i}{1,83B_i} \right)^{2/3} \quad H_i = H_w + H_h \quad A_{c,i} = B_i H_i \quad U_i = \frac{Q_i}{A_{c,i}} \quad (3.6)$$

Q_i = savağın memba kısmından gelen (çıkan) akım (m^3/s),

B_i = savak genişliği (m),

H_h = savak üzerindeki su yüksekliği (m),

H_w = savağın memba parçasının deniz seviyesinden yükseltisi,

H_d = i ve (i+1) akarsu parçaları yüzeylerinin deniz seviyesine göre konumları arasındaki fark (düşü).

b) Manning Eşitliği Seçeneği

QUAL2K modelinde akarsu sistemine ait savakların yükseklik değerinin girilmediği, sistemin pürüzlülük katsayısı (n) değerinin girildiği durumlarda, model kararlı akım için akım, hız ve su derinliği arasındaki ilişkiyi her bir akarsu parçasını trapez kanal olarak kabul ederek aşağıda belirtilen formüllerle tanımlamaktadır.

$$Q = \frac{S_0^{1/2} A_c^{5/3}}{n P^{2/3}} \quad A_c = [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H]H \quad P = B_0 + H\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H\sqrt{s_{s2}^2 + 1} \quad (3.7)$$

$$U = \frac{Q}{A_c}$$

Q = debi [m^3/s],

S_0 = taban eğimi [m/m]

n = Manning pürüzlülük katsayısı

A_c = kesit alan [m^2]

P = ıslak yüzey [m]

B_0 = taban genişliği [m]

s_{s1} ve s_{s2} = şev eğimleri [m/m]

H = akarsu parçasının derinliği [m]

c) Hız Eğrileri Seçeneği

Model, ortalama hız ve derinliğin akım (debi) ile bağlantısını üstel fonksiyonlarla tanımlanmaktadır.

$$U = aQ^b \quad H = \alpha Q^\beta \quad (3.8)$$

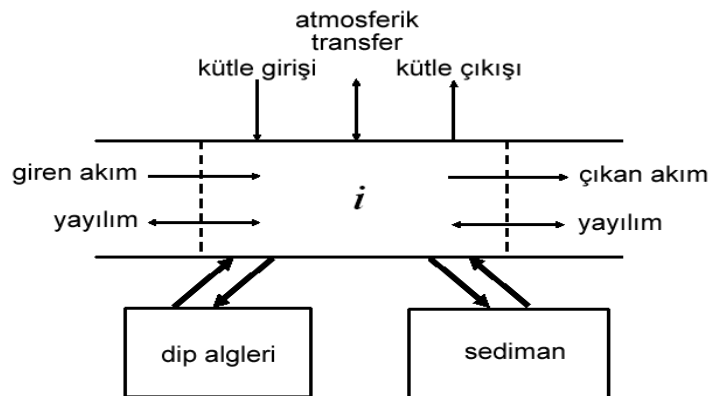
Formüllerdeki a, b, α ve β ampirik katsayılar olup, hız-akım (U-Q) ve seviye-akım (H-Q) anahtar eğrilerinden ayrı ayrı belirlenmektedir. En kesit alanı ve genişliği hız ve derinlik değerlerinin aşağıda belirtilen denklemlerde yerine konulmasıyla elde edilmektedir.

$$A_c = \frac{Q}{U} \quad B = \frac{A_c}{H} \quad (3.9)$$

3.2.2.3 Kalite Değişkenlerinin Reaksiyonları ve Diğer Değişkenlerle Etkileşimi

Değişen dünya koşulları yüzey ve yeraltı sularının yoğun bir şekilde kirlenmesine, noktasal ve yayılı kirlilik yükleriyle su kalitesinde ciddi düşümlere yol açmaktadır. Kirlilik sorununa çözüm bulma çalışmalarında, yararlanılan su kalitesi modellerinin doğru ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için akarsuyun veya kaynakların fiziksel olarak gerçekçi bir şekilde tanımlanması, noktasal ve yayılı kaynaklardan alıcı ortamlara verilen kirliliklerin konum, debi ve konsantrasyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Kullanılan çoğu su kalite modelleri, çeşitli yöntem ve kabullerle kirlenici konsantrasyonlarının konuma ve zamana göre değişimini, kalite değişkenlerinin reaksiyonlarını ve diğer değişkenlerle etkileşimini hesaplamaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılan QUAL2K modeli de yukarıda belirtilen kapsam ışığında oluşturulmuş bir modeldir.

İletkenlik, inorganik askıda katılar, çözülmüş oksijen, yavaş reaksiyonlu CBOD, hızlı reaksiyonlu CBOD, çözülmüş organik azot, amonyak azotu, nitrat azotu, çözülmüş organik fosfor, inorganik fosfor, fitoplankton, detritus (partikül organik madde), patojen, alkalinite, toplam inorganik karbon, dip algleri, dip algi azotu gibi model değişkenleri bulunan QUAL2K modeli, dip alglerine ait değişkenler hariç bütün değişkenlere ait hesaplamaları genel bir *kütle korunumu* denklemiyle çözmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Kütle korunumu

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (3.10)$$

W_i = (i) parçasına dışarıdan yüklenen değişkene ait yük [g/gün veya mg/gün]

S_i : Reaksiyonlar ve kütle transferi mekanizmaları ile değişkene ait kaynak ve kayıplar (g/m³/gün veya mg/m³/gün)

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} c_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} c_{nps,i,j} \quad (3.11)$$

$c_{ps,i,j}$ = i elemanı için j noktasal kaynak konsantrasyonu [mg/L veya µg/L]

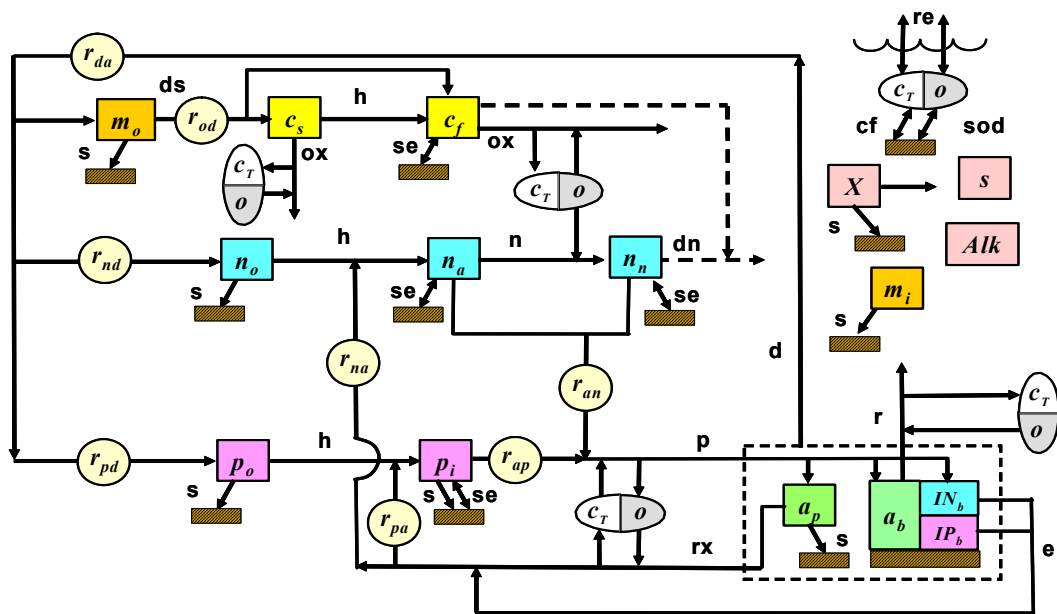
$c_{nps,i,j}$ = i elemanı için j noktasal olmayan kaynak konsantrasyonu [mg/L veya µg/L]

Yapılan modelleme çalışmalarında akarsuyun kirlilik seviyesini belirlemede değişken olarak *çözünmüş oksijen (DO)* ve *biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD)* ele alınmıştır. Bu iki değişken çoğu su kalitesi çalışmalarında birlikte değerlendirilmiş, evsel ve endüstriyel atıksuların hangi seviyede kirlilik taşıdığını belirlemede önemli bir ölçü olarak kullanılmıştır. Bilindiği üzere canlı organizmalar yaşamları için oksijene (O₂) ihtiyaç duyarlar. Mikroorganizmalarda, yaşama ve üreme için gereken enerjiyi oksijenden yararlanarak üretirler. En basit anlamda çözünmüş oksijen, su içerisinde çözünmüş halde bulunan oksijen konsantrasyonunu [mg/l] ifade etmektedir.

Özellikle yaz aylarında, yüzeysel sulardaki DO konsantrasyonu kritiktir çünkü çözünmüş oksijen, kirletici maddelerin doğal sularda kendi kendine arıtılmasında ve aerobik arıtma proseslerinden; evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında çok önemli bir faktördür (Samsunlu, 1999). Bir başka deyişle, suda canlı yaşayabilmesi ve suyun kendi kendini organizmalarla temizleyebilmesi için çözünmüş oksijene ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu noktada; su kaynaklarının kirlenme derecelerinin belirlenmesine, atıksuların kirlenme potansiyelinin saptanmasına yardımcı olan biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD), sularda bulunan organik maddelerin mikroorganizmalarca ayrıştırılması için gerekli oksijen miktarını belirten önemli bir parametredir (Samsunlu, 1999). BOD, aerobik şartlarda bakterilerin, evsel ve endüstriyel kirlilik kaynaklı organik maddeleri parçalayarak stabilize etmesi için sarf ettiği oksijen [mg/l] miktarıdır. Kullanılan oksijen miktarının fazlalığı sudaki organik madde miktarının fazla olduğunu, bir başka deyişle, suyun kirli olduğunu ifade etmektedir.

QUAL2K modeli çalışmada seçilen BOD ve DO parametrelerini kinetik ve kütle transferi prosesleriyle simülasyon edebilmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Model kinetiği ve kütle transferi prosesleri (Chapra vd., 2007).

Modelde kinetik prosesler; (ds) çözülme, (h) hidroliz, (x) oksidasyon, (n) nitrifikasyon, (dn) denitrifikasyon, (p) fotosentez, (d) ölüm, (r) solunum olarak kütle transferi prosesleri; (re) yeniden havalandırma, (s) çökeltme, (sod) sediman oksijen ihtiyacı, (cf) sediman inorganik karbon akısı olarak tanımlanmaktadır.

QUAL2K modelinde *çözünmüş oksijen (DO)*, yavaş ve hızlı reaksiyona giren *karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı (CBOD)*, aşağıda belirtilen denklemlerle hesaplanmaktadır.

i) Çözünmüş Oksijen (o)

Çözünmüş oksijen miktarı bitki fotosenteziyle artmakta CBOD oksidasyonu, nitrifikasyon ve bitki solunumuyla azalmaktadır.

$$S_o = r_{oa} \text{PhytoPhoto} + r_{oa} \text{BotAlgPhoto} - r_{oc} \text{FastCOxid} - r_{on} \text{NH4Nitr} - r_{oa} \text{PhytoResp} - r_{oa} \text{BotAlgResp} + \text{OxReaer} \quad (3.12)$$

ii) Yavaş Reaksiyona Giren CBOD (cs)

Yavaş reaksiyona giren CBOD detritus ayrışmasıyla artmakta hidroliz ve oksidasyonla azalmaktadır.

$$S_{cs} = \text{DetrDiss} - \text{SlowCHydr} \quad (3.13)$$

$$\text{SlowCHydr} = k_{hc}(T)c_s \quad (3.14)$$

$k_{hc}(T)$: sıcaklığa bağlı CBOD hidroliz oranı [/d]

iii) Hızlı Reaksiyona Giren CBOD (cf)

Hızlı reaksiyona giren CBOD detritus ayrışmasıyla ve yavaş reaksiyona giren CBOD hidrolizi ile artmakta, denitrifikasyon ve oksidasyonla azalmaktadır.

$$S_{cf} = \text{SlowCHydr} - \text{FastCOxid} - r_{ondn} \text{Denitr} \quad (3.15)$$

$$\text{FastCOxid} = F_{oxc} k_{dc}(T)c_f \quad (3.16)$$

$k_{dc}(T)$: sıcaklığa bağlı CBOD oksidasyon oranı [/d]

3.3 Yönetim Senaryolarının Oluşturulması

Entegre Havza Yönetim Modeli uygulamalarında, karar destek sistemleri için havza modellemesinin gerçekleştirilmesi aşamasından sonra, alternatif kararlar için senaryo oluşturulmaktadır. Senaryo, en basit anlamda havzanın gelecekte olması öngörülen durumunu ifade etmektedir. Su kaynakları yönetiminde havzanın mevcut durumun belirlenmesinden sonra farklı durumları ifade eden senaryolar oluşturulmakta ve sürdürülebilirlik göstergeleriyle kıyaslamaları yapılmaktadır. Bunlar genellikle;

- mevcut durumun değişmeden aynen devam ettiği *mevcut durum (BAU) senaryo*,
- mevcut durumun göstergelerinin iyileştiği *iyimser durum-optimistik (OPT) senaryo*,
- mevcut durumun göstergelerinin kötüleştiği *kötümser durum-pesimistik (PES) senaryo*

olarak ifade edilmektedir.

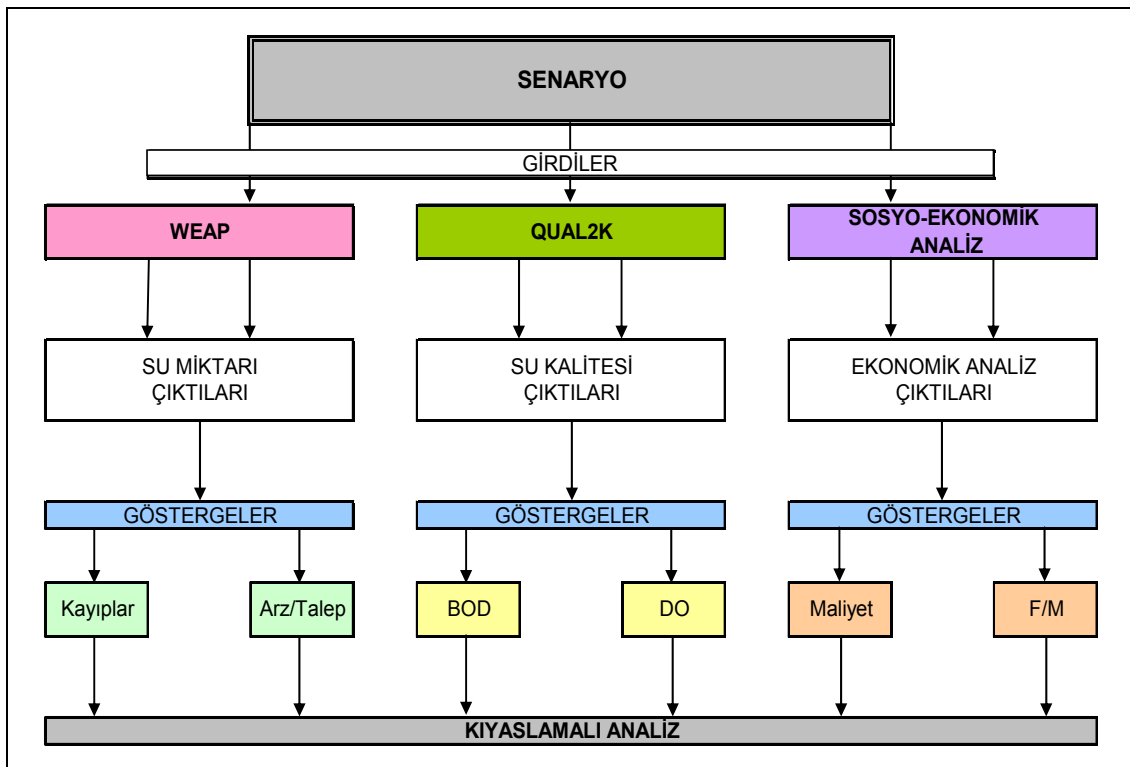
Mevcut durum (BAU) senaryo'da, havzanın gelecekteki durumunun mevcut eğilimler (trendler) ışığında gerçekleşeceği, bir başka deyişle, nüfus artış hızları, su kullanım miktarları, sulama oranları, kayıplar, artan ve çeşitlenen içme ve kullanma suyu talepleri, yeni talep bölgeleri vb. özelliklerin mevcut durumun gelecekte de aynen devam edeceği kabulüyle değerlerinin belirlenmesidir.

İyimser durum(OPT) senaryo'da, havzada alınacak önlemlerin veya uygulanacak politikaların olumlu sonuçları neticesinde havzanın gelecekteki durumunda iyileşmeler olacağı, göstergelerin daha iyi değerler göstereceği kabul edilmektedir.

Kötümser durum-pesimistik (PES) senaryo, artan ve çeşitlenen içme ve kullanma suyu talepleri, nüfus artış hızları, kayıplar vb. havza özelliklerinin mevcut eğilim (trend) değerlerinden olumsuz yönde farklı olacağı, uygulanan politika ve önlemlerin

yetersiz kalacağı kabul edilmekte, havzanın durumunun kötüleşeceği ifade edilmektedir.

Su kaynakları yönetim kararlarının verilmesinde sürdürülebilirliğin sağlanması, oluşturulan yönetim senaryolarının her birisi için sürdürülebilirlik göstergelerinin belirlenmesi ve göstergelerin birbirleriyle kıyaslanarak en sağlıklı ve en verimli senaryonun seçilmesi uygun bir yaklaşım olmaktadır (Harmancıoğlu, 2004). Bu kapsamda Şekil 3.12’de belirtildiği üzere oluşturulan her bir senaryonun sonuçları su miktarı, su kalitesi ve ekonomik açıdan değerlendirilmektedir. Ekonomik açıdan değerlendirmede her bir senaryonun getirdiği, parasal fayda ve zarar seçilen göstergelerle belirlenmektedir. Böylelikle, en uygun senaryonun veya seçeneğin seçilmesinde kalite ve miktar değerlendirilmelerinin yanında, ekonomik açıdan da olayın boyutu incelenmekte, karar vericilere alınan önlemlerin ekonomik getirisi ve kaybı kapsamlı şekilde açıklanmaktadır. Bu kapsamda, alınan kararların başarısı ve uygulanabilirliği açısından çevresel veya teknik boyutun yanında ekonomik boyutun da dikkate alınması büyük önem arz etmektedir.



Şekil 3.12 Senaryo oluşum mekanizması

3.4 Çok Kriterli Karar Verme

Su kaynaklarının nitelik ve nicelik yönünden modellendiği, farklı gelişim senaryolarının ışığında seçilen çevresel ve ekonomik göstergelerle havzanın yönetim stratejilerinin DPSIR yaklaşımıyla belirlendiği bu çalışmada, en uygun senaryonun veya çözümün seçilmesi için karar verilmesi gerekmektedir.

En genel anlamda karar verme, hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi için alternatif eylem planlarından birinin seçilmesi olarak tanımlanmaktadır (Kuruüzüm A. ve Atsan N., 2001). Uygun kararı vermek için birçok alanda çok farklı yöntemlerle karar verme mekanizmaları oluşturulmuştur. Niceliksel verilerin kullanımıyla oluşturulan matematiksel ve istatistiksel modeller vb. teknikler karar vericilere yardımcı olmaktadır. Ancak karar verme sürecinde her zaman niceliksel verilerin bulunmayışı, sözel ve sembolik verilerinde kullanılması gerekliliği karar vericilerin karar vermesini zorlaştırmaktadır (Markland R., 1989).

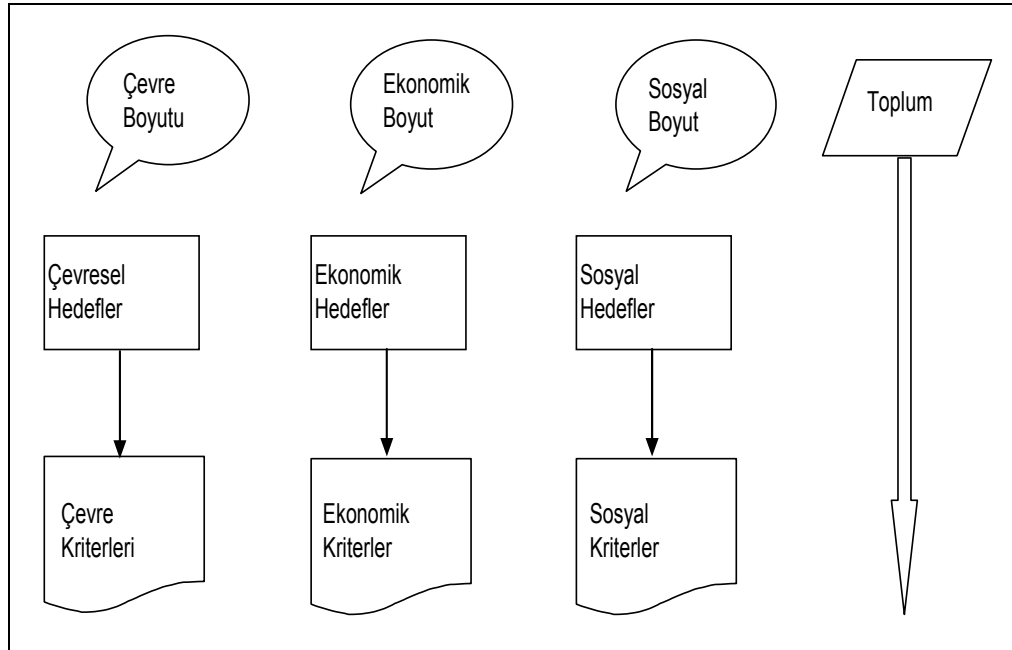
Çeşitli kaynaklardan gelen farklı ve çeşitli bilgilerin yeterli bir şekilde değerlendirilememesi, karar sürecinde farklı niteliksel ve niceliksel kriterlerin bulunması, kriterlere göre modelleme ve analiz etme sürecine dayanan *Çok Kriterli Karar Verme* yöntemlerini ortaya çıkarmıştır (Kocamustafaoğulları, 2007).

Bir başka deyişle Çok Kriterli Karar Verme, sonlu sayıda seçeneğin seçilme, sıralanma, sınıflandırma, öncelik sırasına konulma veya elenme amacıyla genellikle ağırlık değerleri verilmiş, birbirleri ile çelişen ve aynı ölçü birimini kullanmayan, hatta bazıları nitel değerler alan, çok sayıda ölçüt kullanılarak değerlendirilmesi işlemidir (Yoon ve Hwang, 1995).

Entegre yönetimlerde karar aşamasında en uygun çözümün seçiminin zor ve karmaşık olması, birçok farklı kriterin birlikte değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Çalışma kapsamındaki alternatif yönetim senaryo sonuçlarının çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan seçilen kriterlerle irdelenmesinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 3.13'de belirtildiği gibi çevresel bir problemin *Çok Kriterli Karar Verme* yöntemleriyle değerlendirilmesinde;

- değerlendirmenin amacı,
- analizin ölçeği (global, ulusal, yerel vb.) ve zaman boyutu,
- değerlendirme sürecinde kullanılan boyutlar, hedefler ve kriterler,
- bunlara ilişkin öncelikler

vb. unsurlar önem kazanmaktadır (Özkaynak, 2007).



Şekil 3.13 Alternatif çözümlerin Çok Kriterli Karar Verme yöntemleriyle değerlendirilme boyutu (Munda, 2005; Özkaynak, 2007)

Karar verme bir başka deyişle karar analizi, alternatiflerin en iyisini seçmek için akılcı bir sürecin kullanılmasıyla ilgilenmekte, insanlar karar verme sürecinde farklı roller üstlenmektedir. En iyi eylemin veya alternatifin seçilmesine karar veren kişi veya kişiler *karar verici* olarak tanımlanmaktadır (Hasgöl, 2010). Bir karar sürecindeki olası eylem seçenekleri *alternatifler* olarak adlandırılmakta, karar verme sürecinin ayrılmaz bir parçası olmaktadır. Karar analizinde; çözüm seçeneklerinin karar verici için cazip olan bir takım göstergelerle nitelendirildiği varsayılmakta, bu göstergeler *belirtiler*, *faktörler*, *nitelikler ölçütler* veya *kriterler* olarak adlandırılmakta, alternatiflerin değerlendirilebilmesi için kriterlerin kullanılması ve nitelik derecelendirilmesinin tanımlanması gerekmektedir.

Literatürde *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*; PROMOTHEE, TOPSIS, ELECTRE, AHY vb. olarak sınıflandırılmaktadır.

PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemi 1982 yılında Brans tarafından geliştirilmiş çok ölçütlü bir öncelik belirleme yöntemidir (Brans ve Vincke, 1985). PROMETHEE yöntemi, literatürde yer alan mevcut önceliklendirme yöntemlerinin uygulama aşamasındaki zorluklarından yola çıkılarak geliştirilmiş bir yöntemdir (Dağdeviren ve Eraslan, 2008). Yöntemde kriterler için tercih fonksiyonları 6 farklı tercih fonksiyonu arasından tanımlanmakta, tercih fonksiyonları temel alınarak alternatif çiftleri için ortak tercih fonksiyonları belirlenmektedir. Ortak tercih fonksiyonlarından hareketle, her alternatif çifti için tercih indeksleri ve alternatifler için pozitif ve negatif üstünlükler tanımlanmaktadır. Alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının belirtildiği kısmi öncelikler sonrasında da alternatifler için tam öncelikler hesaplanmaktadır. Hesaplanan tam öncelik değerleri ile bütün alternatifler aynı düzlemde değerlendirilerek PROMETHEE yöntemiyle tam sıralama belirlenmektedir.

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi Chen ve Hwang (1992) tarafından, Hwang ve Yoon'un (1981) çalışmaları referans gösterilerek ortaya konulan Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden birisidir (Chen ve Hwang, 1992). Yöntemde, alternatif seçeneklerin belirli kriterler doğrultusunda ve kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında ideal duruma göre karşılaştırılması yapılmaktadır (Yurdakul ve İç, 2003). Yöntem çözüm alternatifini, pozitif-ideal çözüm noktasına en kısa mesafe ve negatif-ideal çözüm noktasına en uzak mesafede olacağı varsayımına göre oluşturmuşlardır.

ELECTRE yöntemi, 1960'li yılların sonunda Bernard Roy tarafından ortaya çıkarılan (Roy, 1991) ve zamanla geliştirilen Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerindedir. Yöntemde alternatifler, tercih sıralamasına göre her bir değerlendirme faktörü için birbirleriyle kıyaslanarak veya ikili üstünlük kıyaslamaları oluşturularak seçim yapılması ilkesine göre seçilmektedir. Yöntemde

alternatiflerin seçilmesi, sıralama ilişkisinin oluşturulması, uyum (concordance) ve uyumsuzluk (discordance) indekslerinin hesaplanması ve çekirdek (kernel) diyagramının oluşturulmasıyla gerçekleşmektedir. Uyum ve uyumsuzluk indeksleri karar vericinin alternatiflerden memnun olması veya olmamasına göre oluşturulmaktadır.

3.4.1 Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)

Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), karmaşık ve fazla sayıda kriteri bünyesinde bulunduran problemlerinin çözümünde sıkça kullanılmakta olan Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden bir tanesidir. AHY, 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan, alternatiflerin seçilmesinde, hem objektif ve hem de sübjektif faktörlerin dikkate alınmasına imkan veren ve ikili karşılaştırmalardan elde edilen önceliklere dayanan bir yöntemdir (Saaty, 1994).

Sunulan çalışmada elde edilen alternatif yönetim senaryolarından en uygun seçeneğin seçilmesi farklı kriterlerin birlikte değerlendirilmesini, objektif ve sübjektif faktörlerin birlikte dikkate alınmasını gerekli kılmıştır. Bu zorunluluk alternatif senaryoların seçilmesinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin kullanılmasını ve yöntemler arasından Analitik Hiyerarşi Yönteminin (AHY) tercih edilmesini sağlamıştır. Yöntem yardımıyla, seçilen kriterlerin birbirleri arasındaki önem derecelerinin belirlenmesinde karar vericinin sübjektif bakış açısının da değerlendirmeye alınması imkanı sağlanmıştır.

Yöntem planlama, pazarlama, bütçe tahsisi, ekonomi, proje seçimi, kaynak tahsisleri, sağlık, sosyoloji, mimarlık vb. alanlarda karar verme problemlerinin çözümünde (Zahedi, 1986) ve karmaşık çevresel karar analizlerinde uygulanmaktadır. AHY, çözüm bulunması istenen problemin ana hedefini (amaç), kararın kalitesini etkileyecek kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri, arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modelleme yapmakta, yöntemin esnekliği, kullanım kolaylığı ve sonuçların rahat yorumlanması güçlü yönlerini oluşturmaktadır (Vargas, 1990).

Seçilen kriterlerin problemi mümkün olan en basit şekilde ifade edebilen, ölçülebilir ve kapsayıcı olması, kararın sağlıklı olmasını sağlamaktadır. Amaçlara ve kriterlere göre oluşturulan alternatifler her bir kriter üzerinden değerlendirilmekte, böylelikle, alternatifler içerisinde nümerik olmayan tercihler de değerlendirmeye dönüştürülebilmekte, bazı metotlarla da alternatifler kriterler üzerinden ikili karşılaştırmayla değerlendirme yapılmaktadır. Yöntemde ikili karşılaştırmalar karar kriterlerinin ve alternatiflerin öncelik dağılımlarının kurulması için tasarlanmaktadır (Saaty, 1980). Aşağıdaki bölümlerde AHY metodolojisi ayrıntılı olarak incelenmektedir.

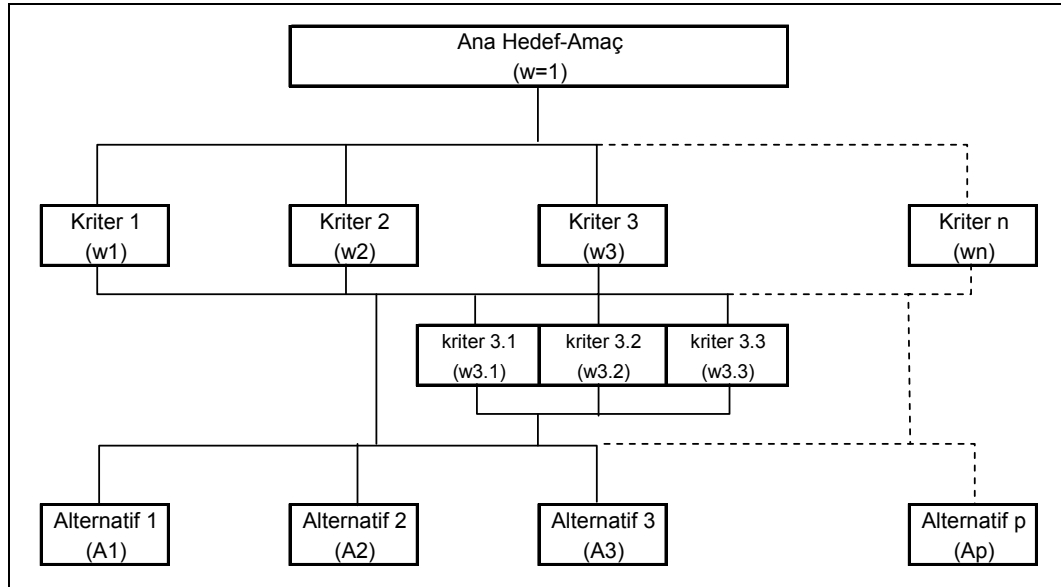
Metodoloji

Anolitik Hiyerarşi Yöntemi;

- Ayrıştırma (decomposition)
- İkili karşılaştırmalar (pairwise comparison)
- Önceliklerin sentezi (synthesis of priorities)
- Nihai kararın alınması

olmak üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır (Saaty, 1994, 1980).

Ayrıştırma (decomposition), karar probleminin daha kolay tanımlanması ve değerlendirilmesi amacıyla hiyerarşik bir yapıda alt problemlere ayrıştırma, bir başka deyişle, karar hiyerarşisinin kurulma işlemidir. Karar hiyerarşisinin en tepesinde ana hedef veya amaç, alt kademelerde kararın kalitesini etkileyecek kriterler yer almaktadır. Kriterlerin ana hedefi etkileyebilecek özelliklerinin bulunması durumunda hiyerarşiye başka kademeler eklenmekte, hiyerarşinin en altında karar alternatifleri yer almaktadır (Şekil 3.14). Karar hiyerarşisinin kurulmasında, hiyerarşinin kademe sayısı, problemin karmaşıklığına ve detay derecesine göre değişiklik göstermektedir (Millet, 1998).



Şekil 3.14 Karar probleminin hiyerarşik yapısı

İkili Karşılaştırmalar (pairwise comparison), AHY'nin ikinci temel adımını oluşturan, karar vericinin yargısına dayanan iki kriterin birbirleriyle karşılaştırılması işlemidir. İkili karşılaştırmalarla karar kriterlerinin ve alternatiflerin öncelik dağılımları kurulmakta, hiyerarşideki birimlerin bir üst kademedeki birimle göreceli önemleri belirlenmektedir (Wind ve Saaty, 1980). Yöntem, kriterlerin ve alternatiflerin birbirlerine göre önem derecelerini belirlemede, ikili karşılaştırmalardan yararlanmakta, alternatiflerin karşılaştırılması her bir kriter için ayrı ayrı yapılmaktadır. Alternatiflerin karşılaştırılmasında; sayısal değerlere sahip kriterlerin karşılaştırmasının mevcut değerlerin kullanılmasıyla, sayısal olarak ifade edilemeyen kriterde ise karşılaştırma Tablo 3.1'deki değerlendirme ölçeğindeki değerlerin kullanımıyla yapılmaktadır (Sipahioğlu, 2008).

Tablo 3.1 AHY değerlendirme ölçeği (Saaty, 1994)

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur
3	Birinin diğerine göre çok az önemli olması	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine çok az derecede tercih ettirir
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirir
7	Çok kuvvetli düzeyde önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür
9	Aşırı derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir
2,4,6,8	Ortalama değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere yukarıda listelenen yargılar arasında düşen değerler

İkili karşılaştırmalarda öncelikle kriterlerin birbirine göre önem dereceleri belirlenmekte daha sonra da her bir kriter için bütün alternatiflerin ikili karşılaştırmaları *ikili karşılaştırma matrisi (reciprocal matrix)* oluşturularak yapılmaktadır (Tablo 3.2). İkili karşılaştırma matrisi arasında $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ve $a_{ii} = 1$ ilişkisi bulunmaktadır. İkili karşılaştırma matrisi kare matristir ve boyutu, kriterler karşılaştırılıyorsa kriter sayısı kadar ($n \times n$), alternatifler karşılaştırılıyorsa alternatif sayısı ($p \times p$) kadar oluşmaktadır.

Tablo 3.2 İkili karşılaştırmalar matrisi

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	...	Kriter n
Kriter 1	$w1/w1$	$w1/w2$	$w1/w3$	...	$w1/wn$
Kriter 2	$w2/w1$	$w2/w2$	$w2/w3$	...	$w2/wn$
Kriter 3	$w3/w1$	$w3/w2$	$w3/w3$	...	$w3/wn$
.
.
Kriter n	$wn/w1$	$wn/w2$	$wn/w3$	...	wn/wn

Kriter 1	A1	A2	A3	...	Ap
A1	1	$a12$	$a13$	...	$a1p$
A2	$1/a12$	1	$a23$	...	$a2p$
A3	$1/a13$	$1/a23$	1	...	$a3p$
.
.
Ap	$1/a1p$	$1/a2p$	$1/a3p$	...	1

Yöntemde, toplam ikili karşılaştırma matrisi sayısı her bir kriter ve bütün alternatifler için ayrı ayrı yapılacağı için toplam ($n+1$) sayısı kadar matris oluşturulacaktır. Bir başka deyişle, n adet ($p \times p$) boyutlu, 1 adet ($n \times n$) boyutlu kare matris oluşturulacaktır.

Önceliklerin sentezi (synthesis of priorities), ikili karşılaştırma matrisleri geliştirildikten sonra karşılaştırılan her elemanın önceliğinin (görelî öneminin) hesaplanması olarak ifade edilmektedir. Öncelik vektörlerinin kurulmasında lineer cebir tekniklerinden faydalanılmakta, sentez aşaması, en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanmasını ve normalize edilmesini

içermektedir. (Saaty, 1980). Özvektörün hesaplanmasında literatürde değişik yöntemler önerilmekte, yöntemlerden *aritmetik ortalama*yla özvektör hesabı, *geometrik ortalama*yla özvektör hesabı ve *matris karesi*yle özvektör hesabı (Tablo 3.3) yöntemleri güvenilir sonuçlar vermektedir (Sipahioğlu, 2008).

a) *Aritmetik ortalama*yla özvektör hesabı yönteminde ikili karşılaştırmalar matrisindeki değerler, değerlerin sütun toplamlarındaki değerlere bölünerek normalleştirilmiş değerlerinin satır ortalaması alınmasıyla elde edilmektedir.

b) *Geometrik ortalama*yla özvektör hesabı yönteminde, ikili karşılaştırmalar matrisinin satır değerlerinin geometrik ortalamasının alınması ve elde edilen ortalama değerlerin normalize edilmesiyle özvektör değerleri bulunmaktadır.

c) *Matris karesi*yle özvektör hesabı yönteminde özvektör, ikili karşılaştırmalar matrisinin karesinin alınması, satır değerlerinin toplamalarının bulunması ve bu değerlerin normalize edilmesiyle oluşturulmaktadır.

Kriterlere ait sayısal verilere sahip olunursa ikili karşılaştırma yapmaksızın, sayısal değerler kullanılarak özvektör hesaplanmaktadır. Özvektör hesaplanırken, sayısal değerlerin en küçük (minimum) olması isteniyorsa değerlerin tersleri alındıktan sonra normalize edilmekte, en büyük (maksimum) olması isteniyorsa değerlerin orijinal haliyle normalize edilmektedir.

Nihai kararın alınması, problemin ana hedefinin gerçekleştirilmesinde karar alternatiflerinin sıralamasını ifade eden *öncelikler vektörünün* oluşturulması, bir başka deyişle, karar probleminin çözümlenmesinin son aşamasıdır.

Tablo 3.3 Özvektör oluşturma yöntemleri

	Kriter 1,...,n	A1	A2	...	Ap		
A =	A1	<i>a11</i>	<i>a12</i>	...	<i>a1p</i>		
	A2	<i>a21</i>	<i>a22</i>	...	<i>a2p</i>		
	A3	<i>a31</i>	<i>a32</i>	...	<i>a3p</i>		
		
		
	Ap	<i>ap1</i>	<i>ap2</i>	...	<i>app</i>		
	toplam	At1	At2		Atp		
	Kriter 1,...,n	A1	A2	...	Ap	Aritmetik Ortalama	Özvektör
	(Aritmetik Ortalama Yöntemi)						
Anor. =	A1	<i>a11/At1</i>	<i>a12/At2</i>	...	<i>a1p/Atp</i>	<i>ort. (a11/At1+...+a1p/Atp)</i>	<i>ort. (a11/At1+...+a1p/Atp)</i>
	A2	<i>a21/At1</i>	<i>a22/At2</i>	...	<i>a2p/Atp</i>	<i>ort. (a21/At1+...+a2p/Atp)</i>	<i>ort. (a21/At1+...+a2p/Atp)</i>
	A3	<i>a31/At1</i>	<i>a32/At2</i>	...	<i>a3p/Atp</i>	<i>ort. (a31/At1+...+a3p/Atp)</i>	<i>ort. (a31/At1+...+a3p/Atp)</i>
		
		
	Ap	<i>ap/At1</i>	<i>ap2/At2</i>	...	<i>app/Atp</i>	<i>ort. (a11/At1+...+app/Atp)</i>	<i>ort. (a11/At1+...+app/Atp)</i>
	toplam	At1	At2		Atp		1
	Kriter 1,...,n	A1	A2	...	Ap	Geometrik Ortalama	Özvektör
	(Geometrik Ortalama Yöntemi)						
Anor. =	A1	<i>a11</i>	<i>a12</i>	...	<i>a1p</i>	<i>geo.ort. (a11+...+a1p)</i>	<i>geo.ort. (a11+...+a1p)/Gtp</i>
	A2	<i>a21</i>	<i>a22</i>	...	<i>a2p</i>	<i>geo.ort. (a21+...+a2p)</i>	<i>geo.ort. (a21+...+a2p)/Gtp</i>
	A3	<i>a31</i>	<i>a32</i>	...	<i>a3p</i>	<i>geo.ort. (a31+...+a3p)</i>	<i>geo.ort. (a31+...+a3p)/Gtp</i>
		
		
	Ap	<i>ap1</i>	<i>ap2</i>	...	<i>app</i>	<i>geo.ort. (ap1+...+app)</i>	<i>geo.ort. (ap1+...+app)/Gtp</i>
	toplam	At1	At2		Atp	Gtp	1
	Kriter 1,...,n	A1	A2	...	Ap	toplam	Özvektör
	(Matris Karesi Yöntemi)						
A²nor. =	A1	<i>s11</i>	<i>s12</i>	...	<i>s1p</i>	<i>St1</i>	<i>St1/∑St</i>
	A2	<i>s21</i>	<i>s21</i>	...	<i>s2p</i>	<i>St2</i>	<i>St2/∑St</i>
	A3	<i>s31</i>	<i>s31</i>	...	<i>s3p</i>	<i>St3</i>	<i>St3/∑St</i>
		
		
	Ap	<i>sp1</i>	<i>sp2</i>	...	<i>spp</i>	<i>Stp</i>	<i>Stp/∑St</i>
	*spp değerleri karesi alınmış matris değerleridir.					∑St	1

Her kriter için belirlenen öncelik vektörlerinin ağırlıklı ortalamasının alınmasıyla (Tablo 3.4) *öncelikler vektörü* oluşturulmaktadır (Zahedi, 1986).

Tablo 3.4 Öncelikler vektörü

$$L = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ t_{p1} & t_{p2} & \dots & t_{pn} \end{bmatrix} \cdot x = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ l_{p1} \end{bmatrix}$$

Elde edilen nihai öncelikler, karar alternatif puanları olarak da ifade edilebilmekte, alternatif senaryolar için karar vericinin objektif ve subjektif yargılamalarını temsil etmektedir.

Yöntemde alınan kararların oluşumunda, sayısal değerlerin kullanılmadığı, değerlendirme ölçeğinin kullanıldığı durumlarda, yargıların tutarlılığının kontrol edilmesi, alınan kararın çelişkili veya yanlı olmasının engellenmesi gerekmektedir. Uygulamada subjektif yargılarla oluşturulan kararlarda tam anlamıyla tutarlı olmak mümkün değildir, ancak kabul edilebilir bir sınırdaki tutarlılığın sağlanması verilen kararın doğruluğu için önemlidir. AHY mutlak tutarlılık talep etmemekte, tutarsızlığa bir ölçüde izin vermektedir. Yargılamalarda tutarsızlığın ölçümünü Saaty tarafından önerilen bir *tutarlılık oranıyla (consistency ratio)* ölçülmekte ve oranın 0,10 değerinin altında kalması yargılamanın tutarlı olduğunun göstergesi olarak ifade edilmektedir (Saaty, 1980). Yöntemde yargılamalarda subjektif değerlendirmelerin bulunması bu nedenle kararın kesinlikle doğru olduğunun garanti edilememesi, kademe sayısı arttıkça ikili karşılaştırma sayısının artması, işlemlerin uzaması yöntemin kısıtlarını (Rangone, 1996; Armacost vd., 1994); kolay karar verme metodolojisi, problemleri basitleştiren yapısı, karar problemine objektif ve subjektif düşünceleri dahil etmesi, grup kararlarına uygunluğu yöntemin olumlu yönlerini oluşturmaktadır.

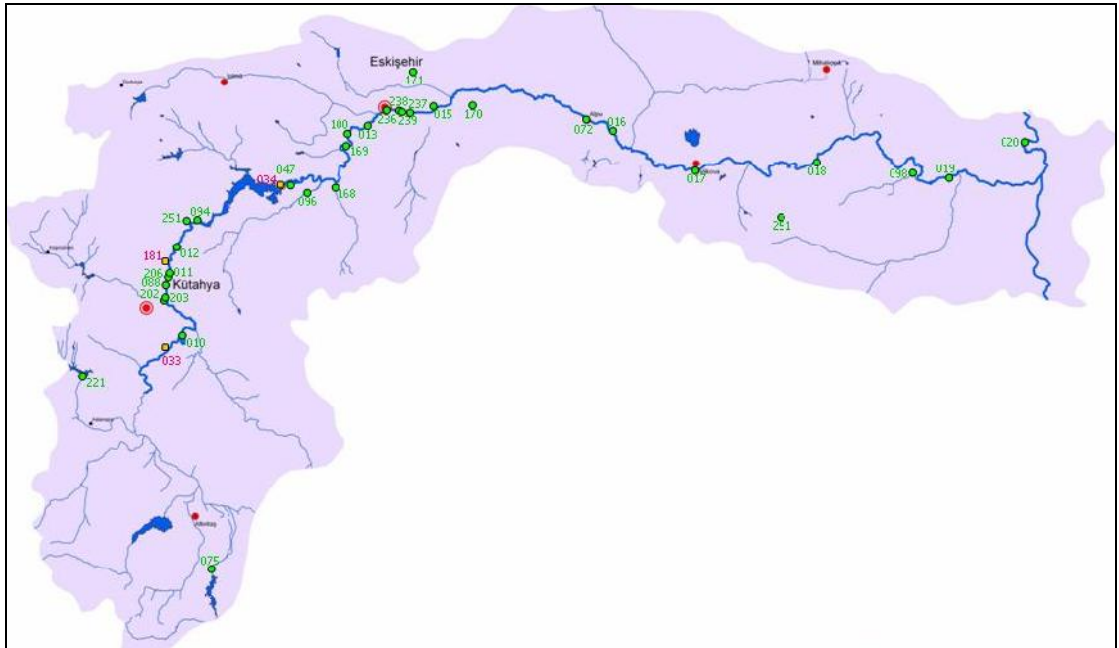
batı kesiminde ortalama 930 m. yükseklikte ve 9.300 ha büyüklü ünde Kütahya Ovası; güneyinde ortalama 1.100 m. yükseklikte ve 26.000 ha büyüklü ünde Altınta Ovası; havzanın ortasında ortalama 800 m. kotunda ve 70.000 ha alana sahip Eski ehir-Alpu Ovası ve kuzeybatısında da ortalama 830 m. yüksekli inde ve 9.000 ha büyüklü ünde nönü Ovası bulunmaktadır (DS , 2001).

Porsuk Havzası'nda kılırları soğuk, yazları ılı ve uzun, yazları sıcak ve kurak geçen karasal iklim özellikleri görülmektedir. En soğuk günler Ocak ve Şubat aylarında, en sıcak günler de Temmuz ve Ağustos aylarında görülmektedir. Havzanın Ege, İç Anadolu ve Marmara Bölgeleri arasında geçiş bölgesinde bulunması yaz rejimini etkilemektedir. Genellikle havzada İç Anadolu yaz rejimi etkilidir. Yağışların %34'ü kış aylarında, %31'i ilkbahar aylarında olmaktadır, ortalama yıllık sıcaklık 8-12° C arasında değişmektedir. Porsuk Havzası'nda jeolojik özelliklerden dolayı çok sayıda kaynak ekinde yeraltı suyu boğalıkları gerçekleştirilmektedir. Özellikle memba bölgesindeki kaynaklarda 20 l/s'den fazla debiler görülmekte; özellikle Kütahya ili içmesuyu ihtiyacını karşılayan ve artan Porsuk Çayı'na karışan *Porsuk Kaynakları* gibi kaynaklar büyük önem arz etmektedir. Havzanın hidrojeolojik açıdan yeraltısuyu potansiyelinin yüksek olması nedeniyle DSİ, sulama kooperatifleri ve özel şahıslar tarafından açılan sondaj kuyularıyla ovalarda sulama yapılmaktadır. Havzanın büyük bir alana yayılması, yüksekliğin 1200 m. ile 600 m. arasında değişlikler göstermesi ve sıcaklık değişlikleri nedeniyle, havzada bitki örtüsü açısından farklılıklar izlenmektedir. Havzanın büyük bir bölümünde sululu ve kuru tarım arazileri, ormanlar, platolar vb. yer almaktadır.

Kütahya ili ve çevresinde özellikle platolarda bulunan ormanlık alanlarda karaçam, meşe ve ardıç türü ağaç tipleri görülmekte; Eski ehir ili ve çevresinde ise %24 oranında bulunan ormanlık alanlarda karaçam, sarıçam, kızılçam ve meşe ormanları bulunmaktadır. Ayrıca Kütahya ve Eski ehir gibi önemli yerleşim merkezleri de havzada yer almaktadır. Özellikle Eski ehir ili, toplumsal ve ekonomik gelişimi açısından Türkiye'nin önde gelen şehirleri arasında bulunmaktadır.

Eski ehir ve Kütahya illerinin içme ve kullanma suyu ihtiyaçları Porsuk Çayı'ndan kar ılanmaktadır. Eski ehir ilinde içmesuyu ihtiyacı Porsuk Çayı'nın arıtılmasıyla, Kütahya ilinde ise Porsuk Çayı'na karı an *Porsuk Kaynaklarının* klorlama i lemi yapılmasıyla kar ılanmaktadır. Porsuk Çayı'nda uzun yıllardan beri su kalitesi ölçümleri yapılması nedeniyle havza, su kalitesi gözlem çalı maları açısından di er havzalara göre daha anslıdır. Porsuk Çayı'nda; *Memba-Kütahya ve Porsuk Barajı* arasındaki *A açköy*, *Kütahya pissu arıtma öncesi*, *Kütahya pissu arıtma sonrası*, *Azot fabrikası öncesi*, *Azot fabrikası sonrası*, *Çalça*, *Be de irmen* ve *Sabuncupınar* olmak üzere 8 noktada;

Porsuk Barajı-Eski ehir ve Mansap arasındaki *Porsuk Baraj çıkı ı*, *Esenkara*, *Benzinlik*, *Atatürk caddesi köprüsü*, *eker fabrikası öncesi*, *eker fabrikası sonrası*, *Eski ehir atıksu arıtma tesisi öncesi*, *ekerçiftli i*, *Alpu*, *Ye ildon*, *Beylikova*, *Yunusemre* ve *Sazılar* olmak üzere 13 noktada (ekil 4.2) alınan kalite ölçüm de erleriyle, Porsuk Çayı'nın su kalitesi membadan Sakarya nehrine döküldü ü bölüme kadar incelenmektedir.

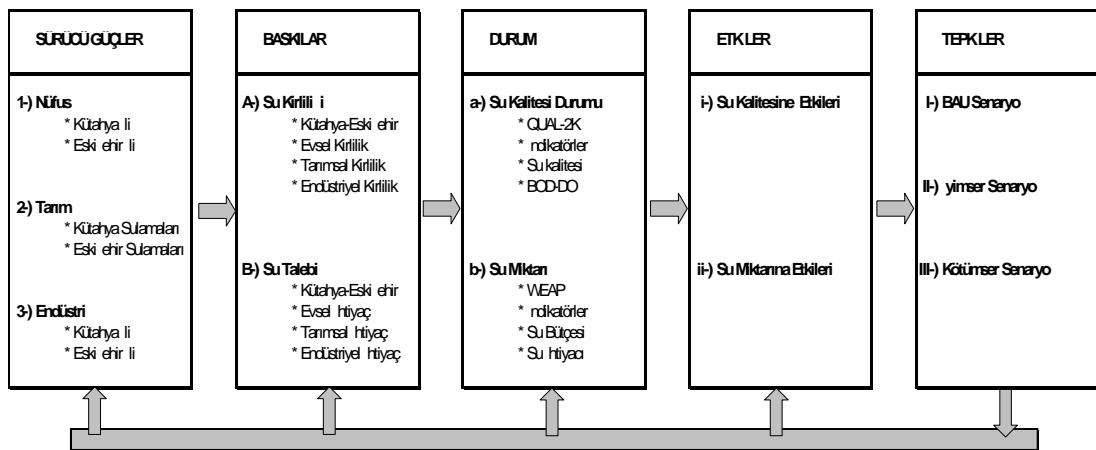


ekil 4.2 Porsuk Çayı üzerinde bulunan kalite gözlem noktaları

4.2 Porsuk Havzasında DPSIR Yaklaşımının Uygulanması

Porsuk Havzası konum itibarıyla Türkiye'nin merkezi bir bölgesinde önemli bir ekonomik öneme sahip bulunmakta, buna karşılık su miktarı ve su kirliliği açısından sorunlarla karşılaşmaktadır.

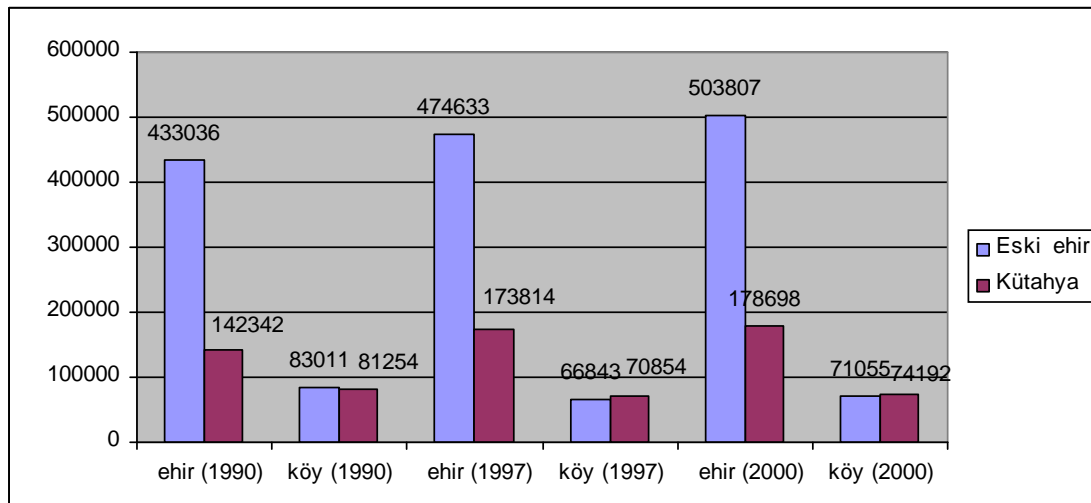
ekil 4.3'de DPSIR yaklaşımı, sorunlu bir havza olan Porsuk havzası üzerinde uygulanarak *sürücü güçler (D)*, güçlerin sistem üzerinde oluşturduğu *baskılar (P)* ve sistemin baskı altındaki *durumu (S)* belirlenmekte, alternatif senaryolar oluşturularak sistemin *etkileri (I)* ve *tepkileri (R)* ortaya çıkarılmaktadır.



ekil 4.3 Porsuk Havzası'nda DPSIR yaklaşımının uygulanması

4.2.1 Sürücü Güçler (Driving Forces)

Porsuk Havzası'nda Eski ehir ve Kütahya gibi önemli yerleşim merkezlerinin nüfusu, tarımsal ve endüstriyel faaliyetleri havza üzerinde *sürücü güçleri (Driving Forces)* oluşturmaktadır. Havza da nüfus, son nüfus sayımlarında görüldüğü üzere ehir merkezlerinde yoğunlaşmaktadır (ekil 4.4). Ticaret, sanayi ve yerleşim merkezlerinin ehirlerde bulunması, yeni iş fırsatları vb. ekonomik nedenler nüfus yoğunluğunun ehirlerde toplanmasına neden olmaktadır. Özellikle kent merkezlerindeki artan nüfus, beraberinde içme ve kullanma suyu tüketim miktarını artırmakla birlikte evsel atıkların da artmasına neden olmakta, bu durumda su miktarı ve kirliliği açısından sorunlar doğurmaktadır.



ekil 4.4 Porsuk Havzası yerleşim yerleri nüfus değişimleri (TÜİK)

Tarımsal faaliyetler açısından havza incelendiğinde, Eski ehir ilinde mevcut tarım arazisinin %65'inde fiilen tarım yapılmakta, sulanabilir toprakların ancak %35'inde sulama yapılmaktadır. Havzada bitki deseni olarak %53 tahıl, %3 baklagil, %4 endüstri bitkileri, %2 yem bitkisi, %2 sebze-meyve, %1 ise diğer olarak bulunmaktadır (DSİ, 2001). Kütahya ilinde mevcut tarım arazisinin %94'ünde fiilen tarım yapılmakta, sulanabilir topraklarının ancak %15'inde sulama yapılmaktadır. Ekili arazilerde %76 tahıl, %10 baklagil, %4 endüstri bitkileri, %2 sebze-meyve, %2 ise diğer ürünler yetiştirilmektedir (DSİ, 2001). Tarımsal faaliyetlerde sulama yapılması özellikle sulamadan dönen suların kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Havzadaki *endüstriyel faaliyetlerde* Eski ehir ili, Türkiye'nin önde gelen sanayileşmiş ve gelişmiş illerinden bir tanesi olması, demiryolu ve karayolu olarak önemli hatları birbirine bağlaması, cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren yoğun olarak kamu yatırımlarının alınması, organize sanayi bölgesinin faaliyete geçmesi vb. özellikleri nedeniyle özel sektör yatırımları tarafından tercih edilmektedir. Havzadaki diğer yerleşim yeri Kütahya'da ise özellikle porselen ve seramik sektörü ön plandadır. Endüstri tesislerinin bulunduğu bölgelerde arıtma tesislerinin bulunmaması veya yetersiz olması, özellikle Kütahya ve Eski ehir ili çıkışında bazı tesislerden kaynaklanan deşarjlar, kirliliği artırarak etken olmaktadır.

4.2.2 Baskılar (Pressures)

Porsuk Havzası'nda nüfus, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler havza üzerinde kirlilik yönünden ve su talebi açısından baskılar olmaktadır. Baskılar çoğunlukla evsel, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşmakta ve Porsuk Çayı su kalitesinde ve miktarında etkiler yaratmaktadır. Kütahya ve Eskişehir illeri içme ve kullanma suyu ihtiyacı, Kütahya ve Eskişehir sulamaları tarımsal su ihtiyaçları, Kütahya ve Eskişehir ili sanayi tesisleri endüstriyel su ihtiyaçları *su talebi* açısından; belirtilen ihtiyaçların kullanımdan dönen suları ve de arızaları *su kirliliği* yönünden baskı yaratmaktadır (ekil 4.3).

4.2.3 Durum (State)

Evsel, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin havza üzerinde oluşturduğu baskılar havza üzerinde olumsuz durumlar yaratmaktadır. Sunulan çalışmada, baskıların havza üzerindeki su miktarı ve su kalitesi yönünden *durumunu (State)* belirlemek ve havzanın karşılaştığı problemlere çözüm bulmak amacıyla sırasıyla WEAP ve QUAL2K modellerinden faydalanılmıştır.

Havzanın su kalitesi açısından durumunun değerlendirilmesinde geçmiş yıllardaki ölçülmüş kalite verilerinden yararlanılmıştır. Havzanın *Durum* belirleme çalışmalarında havzanın geçmişteki durumu ve gidiatı hakkında fikir vermesi açısından havzaya ait kalite verileriyle yapılan diğer bir çalışmanın sonuçları önem arz etmekte ve bu nedenle sonuçlar Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Çalışmada, Porsuk Çayı üzerinde seçilen 9 gözlem istasyonuna ait 1986-2005 dönemi su kalitesi verilerinin özelliklerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Belirtilen yıllara ait kalite verilerinin, parametrik olmayan (Spearman-rs ve Kendall-) korelasyon katsayılarının %5 anlamlılık seviyesinde “student t” dağılımına göre test edilmesiyle, özellik analizleri yapılmıştır. Özellikle su kalitesi verilerinin normal dağılmaması, pozitif çarpıklık göstermesi, su kalitesi gözlemlerinin düzenli zaman aralıklarıyla yapılmaması, verilerin eksik olması (Hirsch ve Slack, 1984) vb. nedenlerden dolayı çalışmada parametrik olmayan sıra testli (non parametrik) yöntemler tercih edilmiştir. Özellik analizi sonuçlarına göre (Tablo 4.1), Porsuk Çayı kalite

parametrelerinin kötüleşme eğiliminde olduğu görülmüş bir başka deyişle havzanın kirlilik sorunlarının arttığı belirlenmiştir (Çetin ve Harmancıoğlu, 2007).

Tablo 4.1 Su kalitesi parametreleri korelasyon katsayıları ve eğilimleri

Ölçüm Noktası	N (Gözlem Sayısı)		Spearman Korelasyon Katsayısı				Kendall- τ Korelasyon Katsayısı			
	BOD	DO	BOD	DO	trend(eğilim)		BOD	DO	trend(eğilim)	
Ağaçköy	206	207	-0.024	-0.246	■	▼	-0.013	-0.167	■	▼
Beşdeğirmen	81	83	0.262	-0.482	▲	▼	0.183	-0.359	▲	▼
Sabuncupınar	91	89	0.394	-0.454	▲	▼	0.268	-0.325	▲	▼
Porsuk Brj.Çıkışı	74	76	-0.174	-0.180	■	■	-0.177	-0.121	■	■
Esenkara	160	160	-0.020	-0.241	■	▼	0.006	-0.160	■	▼
Şeker Çiftliği	76	80	-0.298	-0.086	▼	■	-0.187	-0.058	▼	■
Alpu	65	70	-0.111	-0.066	■	■	-0.063	-0.04	■	■
Beylikova	57	61	-0.112	-0.318	■	▼	-0.066	-0.221	■	▼
Sazılar	69	75	0.218	-0.357	■	▼	0.137	-0.208	■	▼

▲ Artış yönünde eğilim (trend) var ▼ Azalış yönünde eğilim (trend) var ■ Eğilim (trend) yok

Yukarıda Porsuk Havzası'nın DPSIR yaklaşımıyla irdelenebilmesi için yaklaşımın ilk üç bölümü sürücü güçler (D), baskılar (P) ve durum (S) belirlenmekte, havzanın durumu (S) sayısal olarak Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de ifade edilmektedir.

Tablo 4.2 Porsuk Havzasının su kalitesi açısından Durumu (S)

İSTASYON	Parametreler																	
	Ağaçköy	Kütahya Arıt.Önce	Kütahya Arıt.Son.	Azot Fab. Önce	Azot Fab. Sonra	Çalça	Beşdeğirmen	Sabuncupınar	Porsuk Brj. Çık.	Esenkara	Benzinlik	Şeker Fab.Önce	Şeker Fab.Son.	Eskişehir Arıt.Son.	Şekerçiftliği	Alpu	Yeşildon	Sazılar
BOD	1	1	3	2	3	3	3	3	1	1	2	2	4	4	4	4	3	3
DO	1	2	3	3	3	3	3	3	1	1	2	3	4	4	4	4	4	3
	1:Yüksek kaliteli					2:Az kirlenmiş su					3:Kirlili su			4:Çok kirlenmiş su				

Tablo 4.3 Porsuk Havzasının su miktarı açısından Durumu (S)

TALEP BÖLGELERİ	YILLIK SU İHTİYACI (milyon m3)	KAYIPLAR DAHİL YILLIK SU İHTİYACI (milyon m3)	KARŞILANAMAYAN YILLIK SU İHTİYACI (milyon m3)
Kütahya Sulaması	2,0	5,2	0
Kütahya İçmesuyu	5,0	12,4	0
Eskişehir İçmesuyu	14,7	43,2	0
Eskişehir Sulaması	35,8	79,6	0
Şeker Fabrikası	15,6	15,6	0
Beylikova Sulaması	0	0	0
Kaşanga-Adahisar Sulaması	0	0	0

4.3 Porsuk Havzası Analizinde Yararlanılan Modellerin Uygulanması

4.3 Porsuk Havzası Analizinde Yararlanılan Modellerin Uygulanması

4.3.1 Veriler

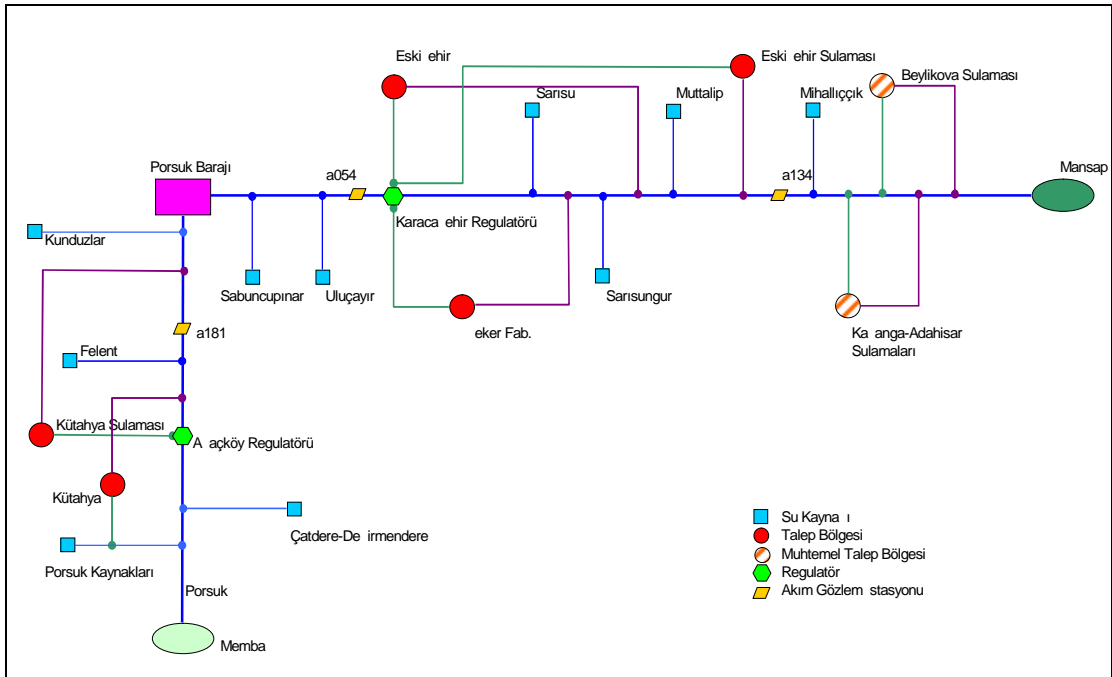
Tez çalışmasında, Tablo 4.4’de belirtilen istasyonlara ait Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından ölçülmüş akım ve kalite (BOD ve DO) verileri kullanılmıştır (DSİ, 2001). Meteorolojik bilgiler bölgedeki Devlet Meteoroloji (DMİ) istasyonlarından, hidrolik özellikler ise yine DSİ’den temin edilmiştir. Detaylarla ilgili bilgiler için Çevre Bilgi Müdürlüğü ve DSİ envanterlerinden faydalanılmıştır.

Tablo 4.4 Tez çalışmasında yararlanılan akım ve kalite gözlem istasyonları

No	Tür	İstenen Kurum	İstasyon No	Yeri	Adı	Gözlem Aralıkları
1	Akım Gözlem (AG)	DS	12.033	Porsuk	Porsuk Çiftli i	1963-2004
2	Akım Gözlem (AG)	DS	12.181	Porsuk	Yeni Bosna	1986-2004
3	Akım Gözlem (AG)	DS	12.034	Porsuk	Porsuk Baraj Çıkışı	1963-2001
4	Akım Gözlem (AG)	DS	12.054	Porsuk	E enkara	1964-2001
5	Akım Gözlem (AG)	DS	12.134	Porsuk	Ye ildon	1977-1998
6	Akım Gözlem (AG)	DS	12.063	Uludere	Uluçayır	1965-2004
1	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-010	Porsuk	A açköy	1995-2005
2	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-202	Porsuk	Kütahya Pissu Arıtma Öncesi	1995-2005
3	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-203	Porsuk	Kütahya Pissu Arıtma Sonrası	1995-2005
4	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-205	Porsuk	Azot Fab.Öncesi	1995-2005
5	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-206	Porsuk	Azot Fab.Sonrası	1995-2005
6	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-011	Porsuk	Çalça	1995-2005
7	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-012	Porsuk	Be de irmen	1995-2005
8	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-094	Porsuk	Sabuncupınar	1995-2005
1	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-047	Porsuk	Porsuk Baraj Çıkışı	1995-2005
2	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-100	Porsuk	E enkara	1995-2005
3	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-013	Porsuk	Benzinlik	1995-2005
4	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-236	Porsuk	Atatürk Cad. Köprü	1999-2005
5	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-238	Porsuk	eker Fab. Öncesi	2001-2005
6	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-239	Porsuk	eker Fab. Sonrası	2000-2005
7	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-237	Porsuk	Pissu Arıtma Öncesi	2001-2005
8	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-015	Porsuk	eker Çiftli i	1995-2005
9	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-072	Porsuk	Alpu	1995-2005
10	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-016	Porsuk	Ye ildon	1995-2005
11	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-017	Porsuk	Beylikova	1995-2005
12	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-018	Porsuk	Yunusemre	1995-2005
13	Kalite Gözlem (KG)	DS	12.03-019	Porsuk	Sazılar	1995-2005

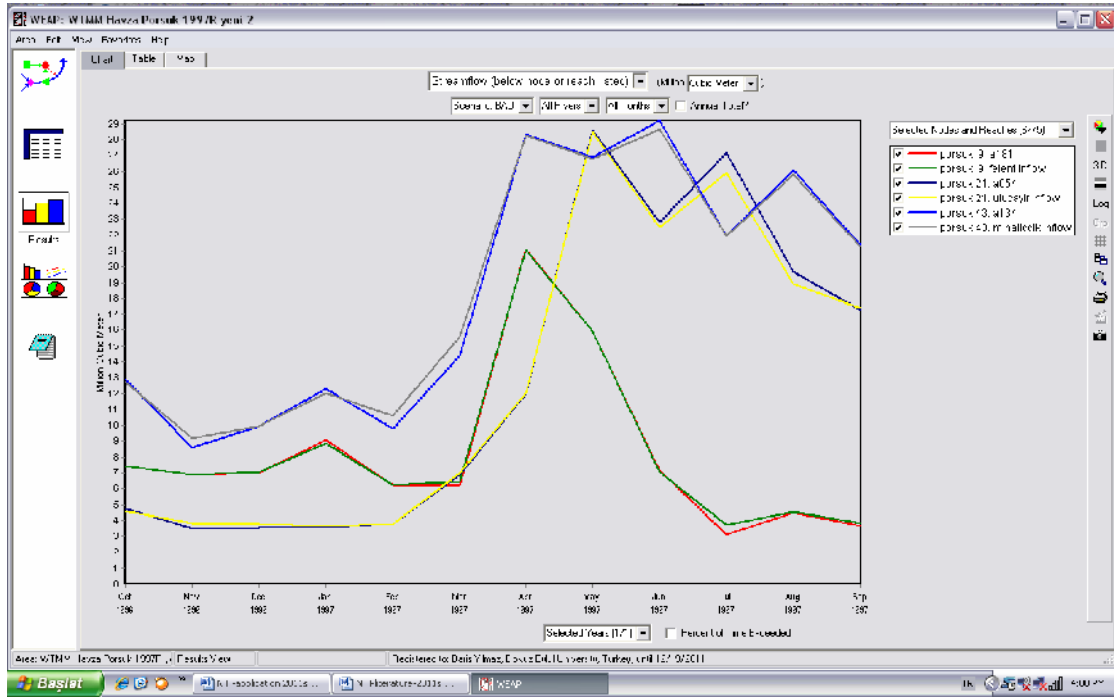
4.3.2 Porsuk Havzası'nda WEAP Modeli Uygulaması

DPSIR yaklaşımının son iki bölümünde havzaya etkiyen etkiler (I) ve tepkilerin (R) belirlenebilmesi için hidrolojik modellerden yararlanılması gerekmektedir. Bu kapsamda, Porsuk Havzası'nda karılamayan su miktarı (kıtılı) probleminin analizinde WEAP modelinden faydalanılmıştır. Modelleme çalışmasında havzanın fiziksel, topografik, hidrolojik ve hidrolik özellikleri tanımlanmış; noktasal, yayılı çekim ve de arjlar belirlenmiş; rezervuar özellikleri ve gelecekte yapılması planlanan sulamalar belirtilmiş; havzanın topolojik gösterimi oluşturulmuştur (ekil 4.5). Havza "Membra-Kütahya-Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap" olarak modellenmiştir.



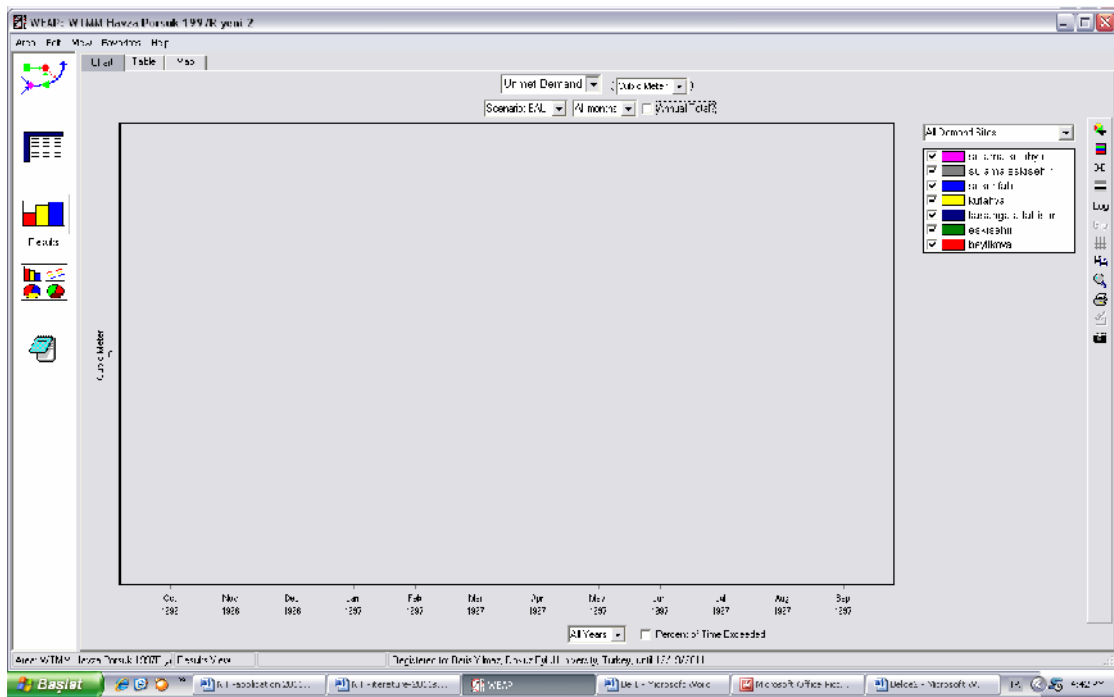
ekil 4.5 Porsuk Havzası'nın topolojik gösterimi

Topolojik gösterimde, Kütahya ve Eski ehir illeri içmesuyu ihtiyaçları, Kütahya sulaması ve Eski ehir sulaması sulama suyu ihtiyaçları, eker fabrikası endüstriyel su kullanımı, mevcut duruma ait talep bölgeleri olarak tanımlanmıştır. Havzanın su ihtiyacı (m^3), kayıplar dahil su ihtiyacı (m^3) ve karılamayan su ihtiyacı (m^3) su bütçesi indikatörleri olarak seçilmiştir. Önümüzdeki yıllarda faaliyete geçecek Beylikova, Kağana-Adahisar sulamaları da gelecek yıllara ait muhtemel talep bölgeleri olarak ifade edilmiştir. Porsuk Barajı depolama tesisi, A açköy ve Karaca ehir regülatörleri su alma yapıları olarak belirtilmiştir; Porsuk Çayı ve çaya



ekil 4.7 Porsuk Havzası model akım değerlerinin ölçümlü değerlerle kalibrasyonu

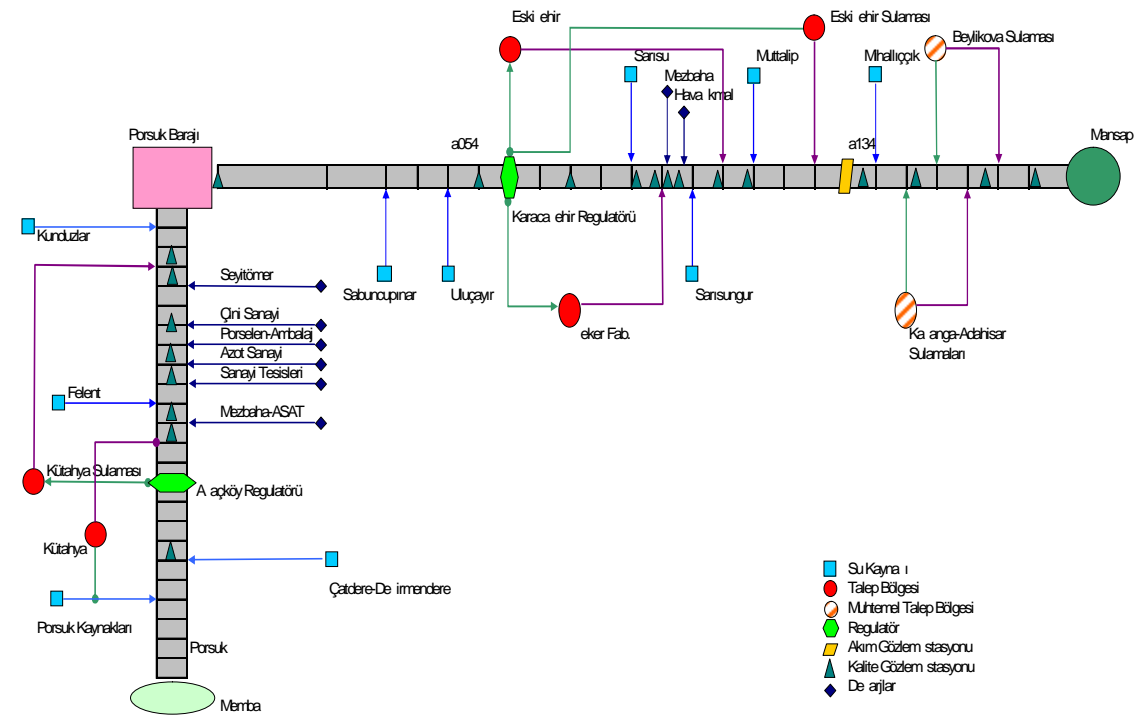
Mevcut durumda Porsuk Çay'ından talep bölgelerinin içmesuyu ve sulama suyu ihtiyaçları sağlanmaktadır. ekil 4.8'de görüldüğü üzere seçilen 1997 yılı değerleriyle oluşturulan model sonucuna göre o yıla ait taleplerin karşılanamaması gibi bir durum bulunmamakta, mevcut durumda su sıkıntısı çekilmemektedir.



ekil 4.8 Porsuk Havzası talep bölgelerinin karşılanamayan su ihtiyacı

4.3.3 Porsuk Havzası'nda QUAL2K Modeli Uygulaması

Porsuk Havzası'nda su kalitesini inceleyebilmek amacıyla QUAL2K modeli ile gerçekleştirilen modelleme çalışmaları kapsamında akarsu sistemi, *Memba-Kütahya-Porsuk Barajı* ve *Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap* olmak üzere iki bölümde ele alınmıştır. Her iki bölümün fiziksel, topografik, hidrolojik ve hidrolik özellikleri tanımlanmış, noktasal ve yayılı, çekim ve de arjlar sisteme kaydedilmiştir (ekil 4.9).



ekil 4.9 QUAL2K modelinde Porsuk Havzası'nın topolojik gösterimi

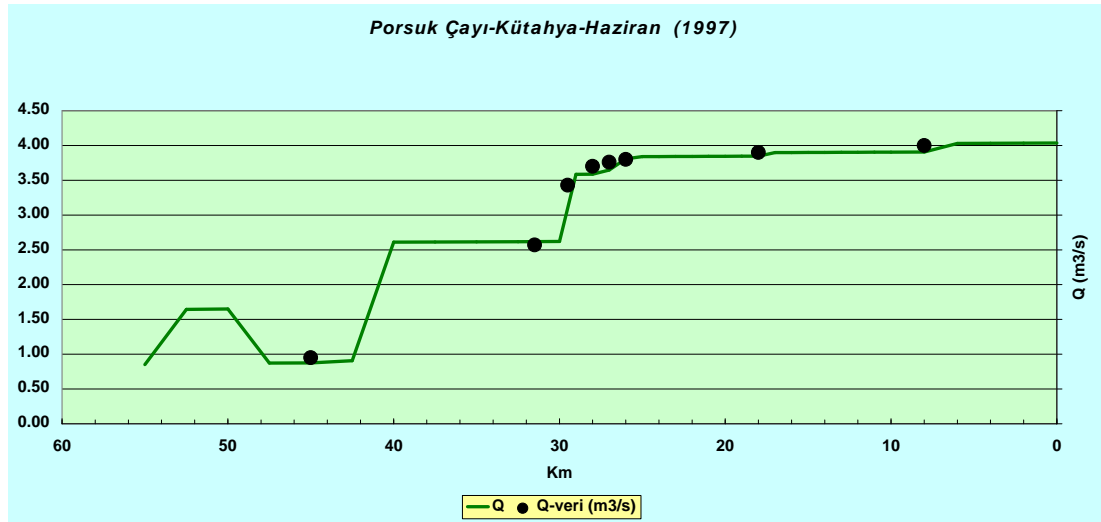
Kalite çalışmaları kapsamında gösterge olarak genellikle biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD) ile çözünmüş oksijen (DO) kullanılmaktadır. Ayrıca, havzada bu parametrelere ait daha uzun süreli veri bulunmaktadır. Bu nedenlerle, çalışmada kirlilik göstergesi olarak BOD ve DO parametreleri seçilmiştir.

Model oluşturulan de arj girdi seti korunarak, incelenen ayların farklı yıllardaki bağımlı artları altında ayrı ayrı çalıştırılmış; model parametreleri tüm yıllar için gözlenmiş ve modellenmiş debi, BOD ve DO değerlerinde uyumu sağlayacak şekilde kalibre edilmiştir. Bir başka deyişle, gözlenmiş ve modellenmiş değerler arasındaki

farkın minimum seviyede kalacak şekilde model parametrelerinin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Çalışma için havzanın kirlilik ve su kıtlığı açısından karlıca en kritik durumu incelemek amacıyla en olumsuz koşulların oluştuğu 1997 yılı verileri seçilmiştir. Mevcut verilerin eksiksiz olması nedeniyle, havzanın *Memba-Kütahya-Porsuk Barajı* bölümü Haziran, *Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap* bölümü için ise Ağustos ayı için modellenmiştir.

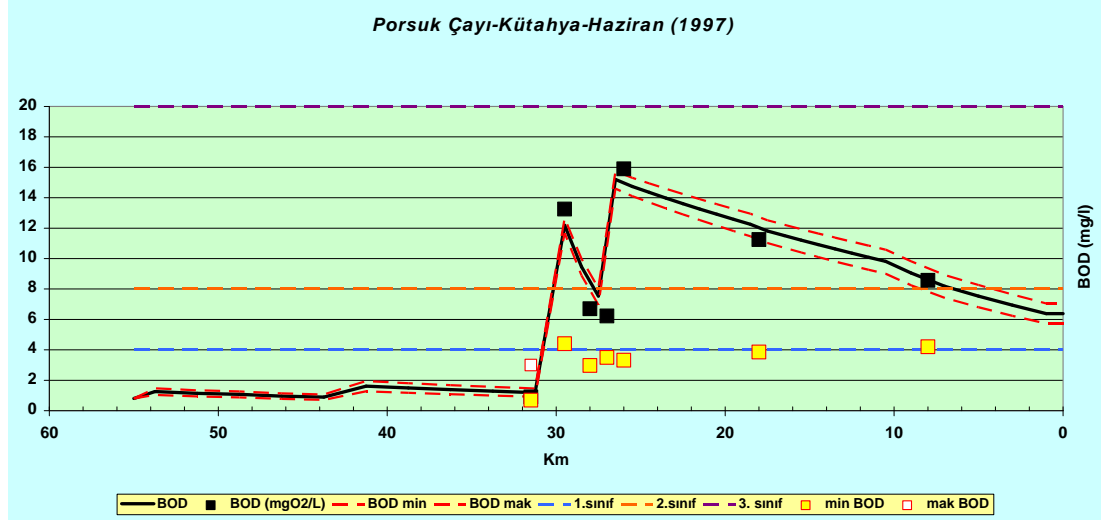
Ekil 4.10'da *Memba-Kütahya-Porsuk Barajı* bölümü için noktasal ve yayılı, çekim ve deşarjlar dikkate alınarak elde edilen akarsu boyunca debi değişimi görülmektedir. Bu ve bundan sonraki şekillerdeki siyah noktalar gözlenen akımları temsil etmektedir. *Memba-Kütahya-Porsuk Barajı* bölümünün mevcut durumu için BOD ve DO parametrelerine ait konsantrasyonların akarsu boyunca değişimleri ekil 4.11 ve ekil 4.12'de sunulmaktadır.



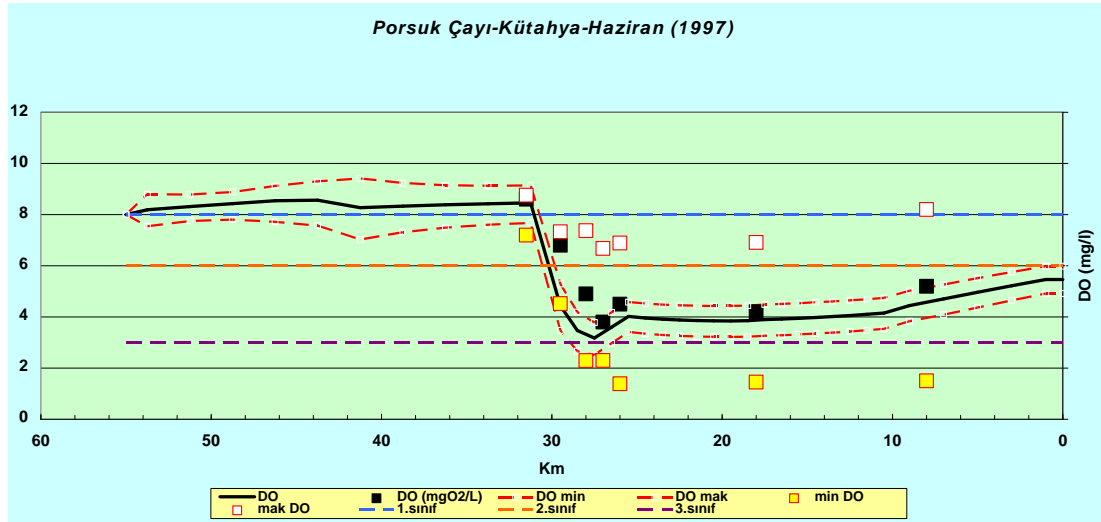
ekil 4.10 “Memba-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümü debi değişimi (Mevcut Durum)

Grafiklerdeki kesikli çizgiler modelleme aralığını, siyah noktalar o yılda gözlenen değerleri, sarı ve beyaz noktalar ise tüm yıllar için gözlenen en düşük ve en yüksek konsantrasyonları temsil etmektedir. Memba ve Kütahya ili arasında yoğun sanayi ve yerleşim yeri etkileri bulunmadığı için su kalitesi DO ve BOD açısından Kıtaçi Su

Kaynakları Kontrol Yönetmeliği'ne (SKKY) göre 1. sınıf kalitede bulunmaktadır (SKKY, 2008).



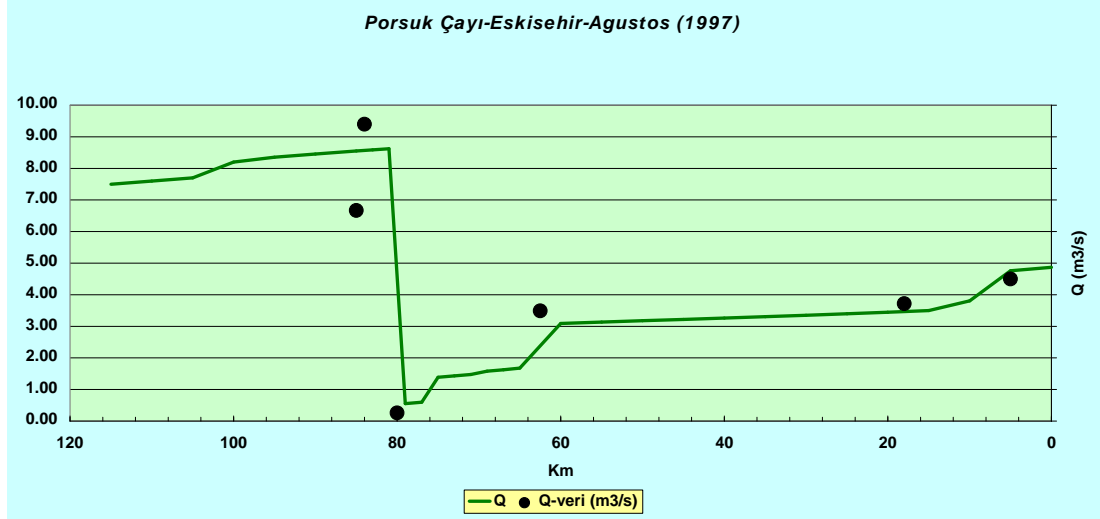
ekil 4.11 “Membra-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümü BOD dengesi (Mevcut Durum)



ekil 4.12 “Membra-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümü DO dengesi (Mevcut Durum)

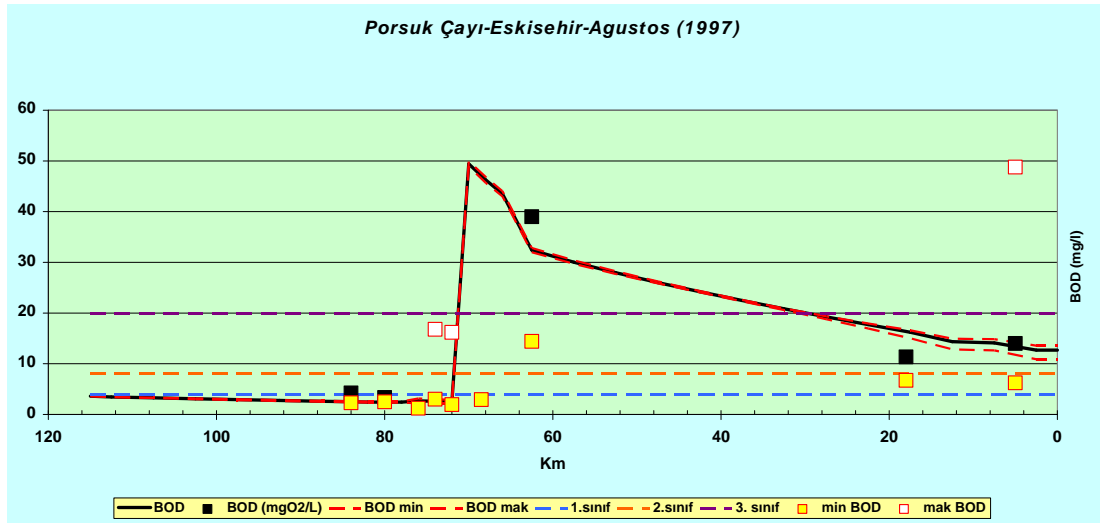
Kütahya iline giri te özellikle mezbaha, atıksu arıtma tesisi de arjlarıyla su kalitesi 3. sınıfa dü mekte, porselen sanayi, azot sanayi vd. sanayi de arjlarıyla Porsuk Barajına kadar bu kalite sınıfı devam etmektedir. Porsuk Barajı gölü do al arıtma görevini yerine getirmesiyle Porsuk Baraj çıkı 1 su kalitesi 1. sınıf su kalitesi sınıfına gelmektedir. Çalı manın ikinci bölümü olan *Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap* bölgesinde Porsuk Çayı'na etkiyen noktasal ve noktasal olmayan çekim ve

de arjlar sisteme dahil edilerek, ölçülmü de erler de dikkate alınarak debi dengesi olu turulmu tur (ekil 4.13).



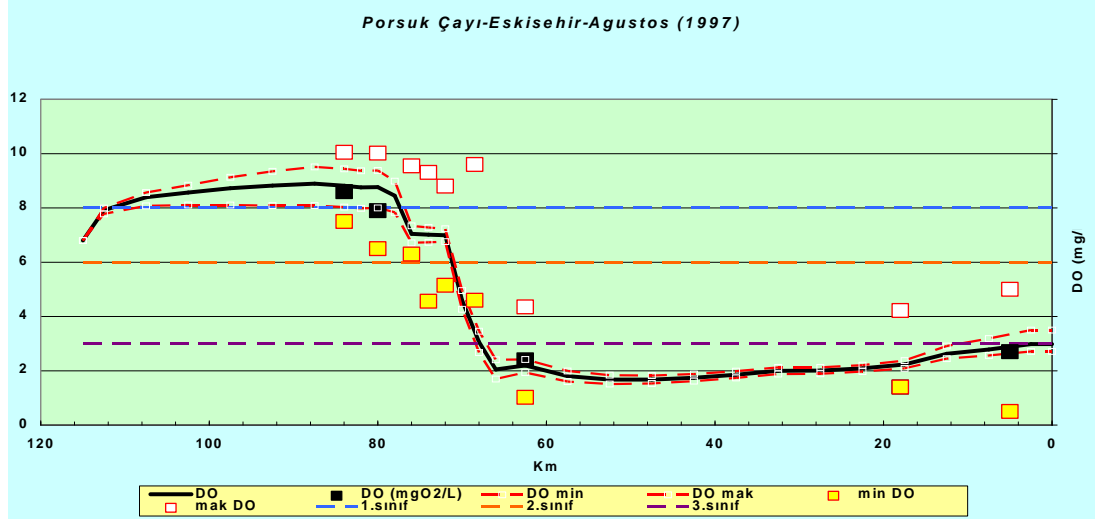
ekil 4.13 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap” bölümü debi dengesi (Mevcut Durum)

ekil 4.14 ve ekil 4.15’de sunulan akarsu boyunca modellenmi BOD ve DO konsantrasyon de i imlerinden görüldü ü gibi, Eski ehir ilinden çıkı ta mezbaha, Eski ehir ili atıksuları ve özellikle kı aylarında eker fabrikası de arjlarıyla su kalitesi 3. ve 4. sınıf seviyelerine gelmektedir.



ekil 4.14 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap” bölümü BOD dengesi (Mevcut Durum)

Porsuk Çayı'nın Eski ehir ilinden Sakarya nehri birleşimine kadar olan bölümünde, sulamadan dönen sular mansap kısmına kadar, su kalitesinin 3. sınıfta yer almasına neden olmaktadır.



ekil 4.15 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap” bölümü DO dengesi (Mevcut Durum)

Sonuç olarak, Porsuk Havzası su kalitesinin mevcut durumu Kıta çii Su Kaynakları yönetmeli i su kriterleri açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmamaktadır. Mevcut durumun düzeltilmesi için acil ve kalıcı önlemlerin ele alınması gerekmektedir.

4.4 Porsuk Havzası'nda Yönetim Senaryolarının Olu turulması

Gelecek yıllarda bölgedeki illerin artan içme ve kullanma suyu talepleri, yeni açılacak sulama alanları, mevcut sulamalardaki su kullanım oranlarının artması vb. nedenler su ihtiyacını ve kirlilik de arjlarını arttıracaktır, beraberinde taleplerin kar ılanamaması ve su kalitesi sorunu riskini olu turabilecektir. Bu durum önlem alınması ihtiyacını do urmaktadır.

Tez çalı masında, havza DPSIR yöntemiyle de erlendirilerek gelece e ait (2050 yılı) muhtelif senaryolar üretilmi ve havzanın durumu irdelenmi tir. Havzanın su kirlili i ve su kıtlı ı açısından de erlendirilmesinde, gelecekle ilgili öngörüler yapabilmek için üç farklı senaryo ele alınmı tır. Bunlar;

1. “*mevcut durumun devam etti i (BAU) senaryo*”
2. “*iyimser durum-optimistik (OPT) senaryo*”
3. “*kötümser durum-pesimistik (PES) senaryo*”

olarak ifade edilmi tir.

Porsuk Havzası'nın yukarıda belirtilen 3 farklı duruma ait senaryo tanımında Tablo 4.5'de belirtilen kabuller yapılmı tır. Havzada bulunan Kütahya ve Eski ehir sulamalarında Porsuk Çayı'ndan faydalanılarak sulama yapılmaktadır. Sulama i lemi mevcut sulama tesislerinden yararlanarak veya çiftçi olanaklarıyla sulama tesisini kullanmadan gerek yeraltı, gerekse yerüstü sulaması yapılarak gerçekte tirilmektedir.

Sunulan çalı mada sulamalara ait sulama oranlarında, mevcut tesislerin kullanılması ve Porsuk Çayı'ndan çiftçi olanaklarıyla sulanan alanların oranları birlikte de erlendirilmi tir.

Tablo 4.5 Porsuk Havzası için olu turan senaryolara ait kabuller

De i kenler	Talep Bölgeleri	Mevcut Durum	Mevcut (BAU)	yimsen (OPT)	Kötümser (PES)
Nüfus Artı Hızı	Kütahya	170.000 ki i	0,024	0,020	0,030
	Eski ehir	485.000 ki i	0,016	0,014	0,030
Su Kullanım Artı Hızı	Kütahya	29,2 m ³ /ki i	%0,50/yıl	%0,50/yıl	%0,75/yıl
	Eski ehir	30,3 m ³ /ki i	%0,50/yıl	%0,25/yıl	%0,75/yıl
Kayıplar	Kütahya	%60	%60	%30	%60
	Eski ehir	%66	%66	%30	%66
Sulama Oranları	Kütahya sul.	%30	%30	%30	%50
	Eski ehir sul.	%68	%68	%68	%80
	Adahisar sul.	%0	%70	%70	%80
	Ka anga sul.	%0	%70	%70	%80
	Beylikova sul.	%0	%70	%70	%80
Yıllık Su Kullanım Miktarı	Kütahya sul.	3941 m ³ /ha	%0	-%10	+%10
	Eski ehir sul.	3173 m ³ /ha	%0	+%10	+%10
	Adahisar sul.	4000 m ³ /ha	%0	-%10	+%10
	Ka anga sul.	4000 m ³ /ha	%0	-%10	+%10
	Beylikova sul.	4000 m ³ /ha	%0	-%10	+%10
Sulama Kayıpları	Kütahya sul.	%61,5	%61,5	%30	%61,5
	Eski ehir sul.	%55	%55	%30	%55
	Adahisar sul.	-	%35	%25	%50
	Ka anga sul.	-	%35	%25	%50
	Beylikova sul	-	%35	%25	%50
Aritma Durumu		Yok	Yok	Var	Yok
Su Kalitesi		-	-	Kirlilik seviyesini %50 azaltma	-

Kütahya ve Eski ehir sulamalarında, bölgelerin farklı sosyo-ekonomik ve iklimsel özelliklerinden dolayı, sulanan alanlardaki bitki deseni da ılımında farklılıklar gözlenmektedir. Kütahya sulamasında büyük oranda eker pancarı ve yem bitkileri, Eski ehir sulamasında ise hububat ve eker pancarı üretimi yapılmaktadır. Bitki desenlerindeki farklılık, bitki su ihtiyacında farklıla maya neden olmakta, Eski ehir sulamasında di er bölgelerden ayrı olarak hububat sulaması yapılmasına ra men Kütahya sulamasından daha az miktarda bitki su ihtiyacı duymaktadır.

Senaryo çalışmasında mevcut ve açılacak sulama alanlarında bitki deseninin (iyimser senaryoda az veya kötümser senaryoda çok su isteyen bitkiler) mevcut durumdan farklı ekilde olacağı kabul edilmiştir. Mevcut sulama tesislerinden Kütahya sulamasının 2/3'ü klasik sistem geri kalanı ise kanaletli sistem, Eski ehir sulamasının tamamı klasik sistem olarak hizmet vermektedir. Bilindiği üzere klasik sistemlerin kullanıldığı yüzeysel yöntemlerle yapılan sulamalarda yerel kayıplar oldukça fazla olmaktadır. Havzadaki mevcut sulamalarda kayıpların yaklaşık %55-62 arasında olduğu tespit edilmiştir, açılacak yeni sulamaların borulu sistem olarak için kayıpların daha düşük seviyede olacaktır.

Porsuk Çayı'ndan direkt olarak (arıtma yapılarak) Eski ehir ili, dolaylı olarak da (Porsuk Kaynakları) Kütahya ili kullanma ve içmesuyu ihtiyacı karılanmaktadır. Ülkemizdeki diğer ehirlerde görüldüğü üzere söz konusu illerde iletim ve dağıtım hattında yüksek oranda kayıplar gözükmektedir. Artan nüfus, kayıplar ve gelişimle artan kişi başına tüketilen su miktarı ehirlerin gelecekle ilgili su ihtiyacını önemli ölçüde artırmaktadır. Senaryo olumunda ehirlerin geçmişteki nüfus ve ilimlerine göre tespit edilen nüfus artı hızları, gelecekte olması muhtemel su kullanım miktarları ve kayıpların azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılacağı kabullerinden faydalanılmıştır.

Yukarıda da belirtilen kabullerinde mevcut (BAU), iyimser (OPT) ve kötümser (PES) senaryolar oluşturulmuştur, her bir durumun su kirliliği ve su miktarı (kıtıllığı) açısından etkileri belirlenmiştir.

4.4.1 Senaryoların Etkileri

Tez çalışması kapsamında, Porsuk Havzası'nın DPSIR yaklaşımıyla irdelenmesi ve gelecekle ilgili olası senaryoların oluşturulmasında, yukarıdaki bölümlerde belirtildiği üzere, *WEAP* su bütçesi modeli ve *QUAL2K* su kalite modelinden faydalanılmıştır. Havzanın farklı senaryolar altındaki gelecekteki (2050 yılı) olası durumu ve senaryoların havza üzerine etkileri su miktarı (kıtıllığı) ve su kalitesi açısından incelenmiştir.

Su miktarı açısından

Mevcut durumda (1997 yılı), Porsuk Havzası su miktarı açısından incelendi inde, çalı ma yılının kurak bir yıl seçilmesine ra men, su kıtlı ıyla kar ıla ılan çok kritik bir bölge bulunmadı ı görülmü tür (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 Porsuk Havzası su miktarı çalı ması için senaryolara göre WEAP model sonuçları

TALEP BÖLGELER	YILLIK SU HT YACI (milyon m3)				KAYIPLAR DAH L YILLIK SU HT YACI (milyon m3)				KAR ILANAMAYAN YILLIK SU HT YACI (milyon m3)			
	Mev	BAU	OPT	PES	Mev	BAU	OPT	PES	Mev	BAU	OPT	PES
	1997	2050			1997	2050			1997	2050		
Kütahya Sulaması	2,0	2,0	1,8	3,7	5,2	5,2	2,6	9,6	0	4,9	0	9,6
Kütahya çmesuyu	5,0	22,7	18,5	35,3	12,4	56,8	26,4	88,3	0	23,3	0	54,7
Eski ehir çmesuyu	14,7	44,4	35,0	104,6	43,2	130,6	50,1	307,7	0	6,1	0	148,3
Eski ehir Sulaması	35,8	35,8	39,4	46,3	79,6	79,6	56,3	103,0	0	51,2	0	101,5
eker Fabrikası	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	0	0,8	0	7,1
Beylikova Sulaması	0	30,4	27,4	38,2	0	46,8	36,5	76,4	0	0	0	4,5
Ka anga-Adahisar Sulaması	0	8,6	7,8	10,9	0	13,3	10,4	21,7	0	0	0	1,3

Gelecek yıllarla (2050 yılı) ehirlerin artan kullanma suyu ihtiyaçları, Ka anga, Adahisar, Beylikova vb. yeni açılacak sulama alanları, mevcut sulamalardaki su kullanım oranlarının artması gibi nedenler, Porsuk Çayı'ndan su kullanım taleplerinin artı ına neden olmaktadır.

Olu turulan üç farklı durumun sonuçlarının bulundu u Tablo 4.6 incelendi inde, iyimser senaryo (OPT) hariç di er iki senaryoda, 2050 yılında talep bölgelerinde talebin kar ılanamama riskinin bulundu u görülmektedir. Özellikle Kütahya ve Eski ehir illerinin içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarının kar ılanmasında sıkıntılarla kar ıla ılacaktır. Kütahya ilinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını kar ılayan Porsuk Kaynakları zamanla yetersiz kalacak; yerüstü ve yeraltı olmak üzere alternatif kaynaklara gereksinim duyulacaktır. Alternatif kaynakların bulunması ilave yatırım ve arıtma ihtiyaçlarına yol açacaktır.

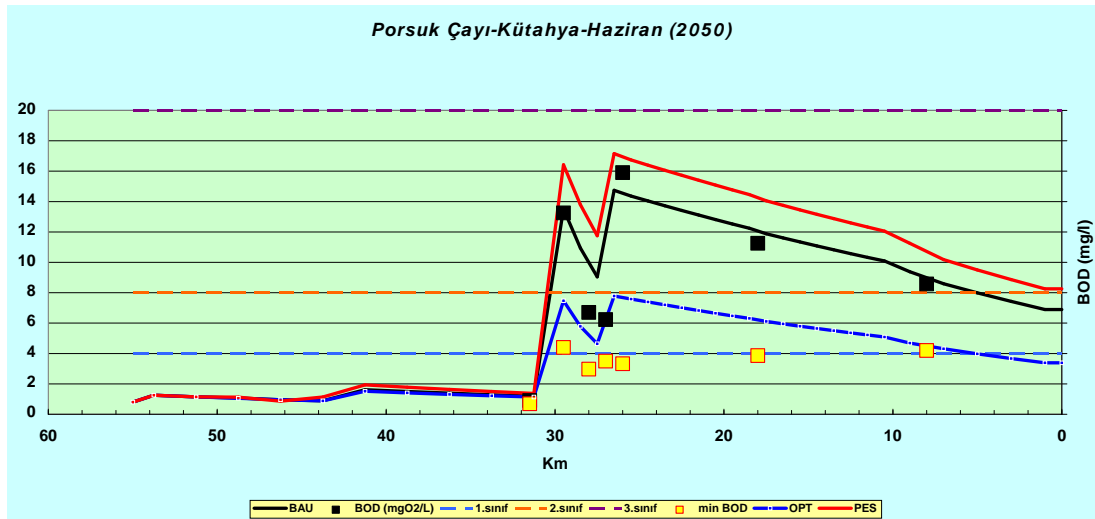
Devlet Su leri (DS) ile Eski ehir Büyük ehir Belediyesi arasındaki protokoller uyarınca Eski ehir Kentinin çme ve kullanma ihtiyacı için Porsuk Çayı'ndan 100 hm³/yıl su ayrılması tır (Efelerli ve Büyüker en, 2006). Mevcut durumun sürmesi

halinde 2050'lili yıllarda, kötümser senaryonun olması halinde 2030'lu yıllarda bu tahsis yetersiz kalacak, alternatif kaynak arayışına yönelme durumu olacaktır.

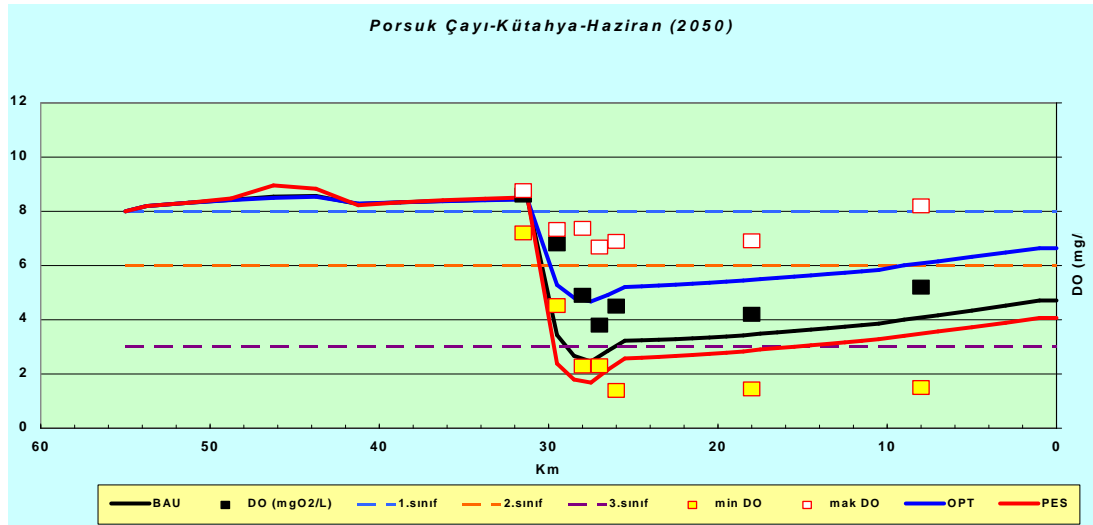
Eski şehir ve Kütahya sulamaları mevcut hallerinde yüksek yerel kayıplar nedeniyle önemli oranda su tüketimine neden olmaktadır. Sulamalarda herhangi bir rehabilitasyon çalışması yapılmaması halinde (BAU ve PES senaryo) talebin karşılanmama durumlarıyla karşılaşılacaktır. Bu durum hizmete açılacak Beylikova, Kangal ve Adahisar sulamalarını da etkileyecek, kaynakların memba bölgesindeki talep bölgelerinde harcanması nedeniyle bu sulamalar için gerekli su tahsisinde engellemelerle karşılaşılacaktır. Ayrıca ileriki yıllarda şeker fabrikasının aynı üretim kapasitesini sürdürmesi veya ilave yatırımla kapasiteyi artırması halinde farklı su kaynaklarına ihtiyacı olacaktır.

Su kalitesi açısından

Havzanın alternatif senaryolara göre gelecekteki durumu su kirliliği açısından incelendiğinde, ekil 4.16 ve ekil 4.17'den de görüldüğü üzere, memba bölgesinden Kütahya iline kadar olan bölümde herhangi bir kirletici kaynak olmadığı için su kalitesinin 1. sınıf niteliğini korunduğu izlenmektedir.



ekil 4.16 “Memba-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümü BOD açısından senaryolara ait sonuçlar



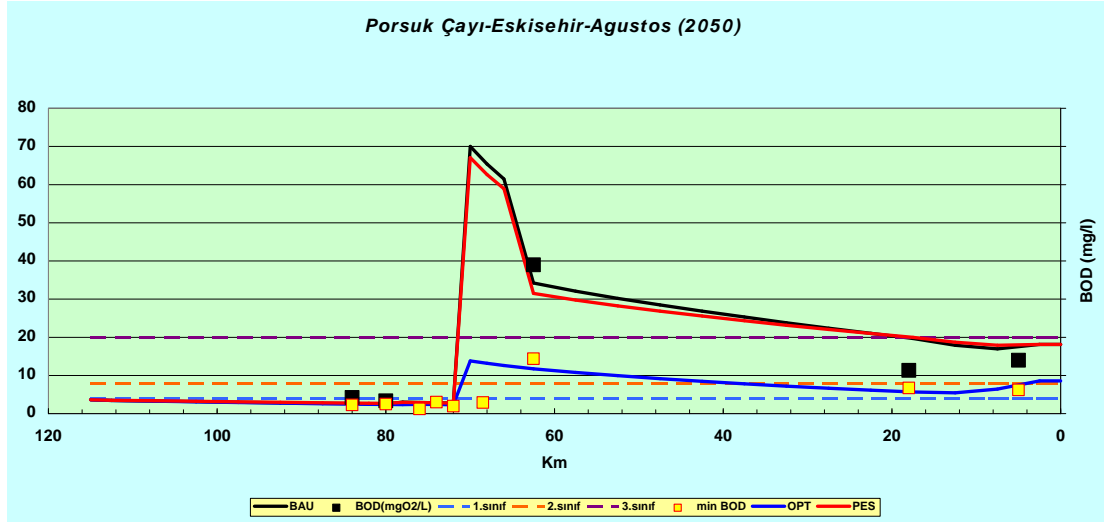
ekil 4.17 “Membra-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümü DO açısından senaryolara ait sonuçlar

Mevcut durum (BAU) ve kötümser (PES) senaryoda, Kütahya iline giri te bulunan mezbaha, atıksu arıtma tesisi ve sanayi bölgesi (azot gübre sanayi, porselen sanayi) de arjlarında herhangi bir düzelme olmadı 1, aksine de arjların arttı 1 kabulüyle su kalitesinin 3. sınıf kalite sınıfında bulunaca 1 ve çok kötü kalite seviyesi olan 4. sınıf kalite sınıfına yakla ca 1 görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken di er bir nokta da, iyimser (OPT) senaryoda de arjlarda %50 seviyesinde arıtma yapıldı 1 kabulüyle, su kalitesi sınıfının 3. ve 2. sınıf kalite seviyesine yükselmesidir. Buna göre, gelecekte Kütahya ilinden sonra istenilen seviyelerde su kalitesini sa layabilmek için sanayi tesislerinde atıksu arıtma tesislerinin devreye girmesi, düzenli çalı tırılması, yo un kirlilik ta ıyan evsel ve sanayi de arjlarının engellenmesi gerekmektedir. Bu do rultudaki politika ve planlamalarla mevcut sorunun çözümü mümkün olabilecektir.

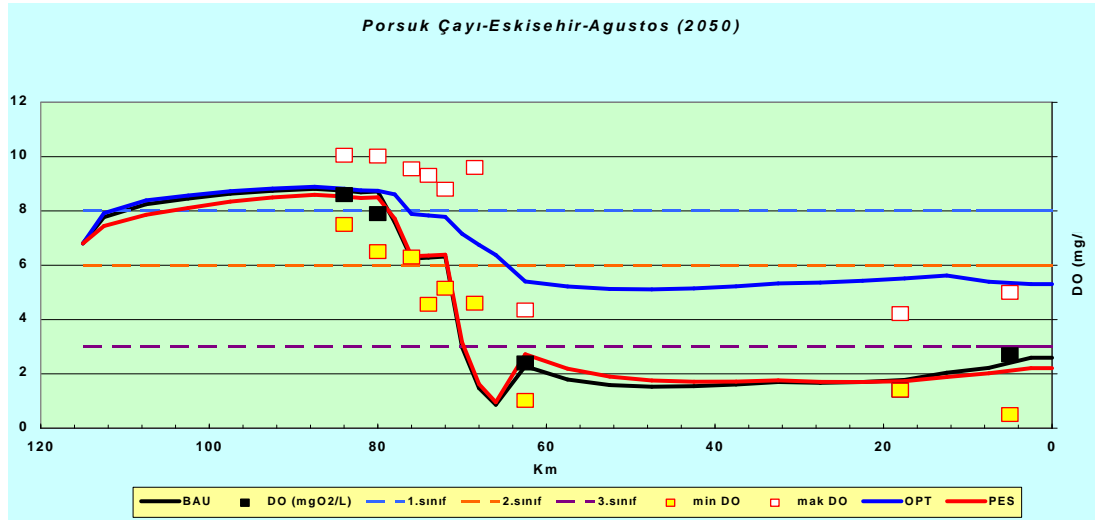
Kütahya ilinden 3. sınıf su kalitesiyle çıkan Porsuk Çayı, Eski ehir iline varmadan Porsuk Barajı’na mansaplanmaktadır. Mevcut durumda ve senaryolarda da, Porsuk Baraj gölü do al arıtma görevini yerine getirmesiyle Porsuk Baraj çıkı 1 su kalitesi 1. sınıf su kalitesi sınıfına gelmektedir.

ekil 4.18 ve ekil 4.19’da görüldü ü üzere, baraj çıkı ından Eski ehir iline kadar olan bölümde kirlilik yükü ta ıyan de arjlar bulunmaması nedeniyle, her üç senaryo

durumunda su kalitesi açısından sıkıntılar yaratmamaktadır. Su kalitesi genellikle 1. ve 2. sınıf kalite arasında de i mektedir. Porsuk Çayı'nın kent geçi ini olu turan 10 km'lik bölümünde Eski ehir Büyük ehir Belediyesi'nin ıslah çalı maları neticesinde, bir sorun görülmemekte, her üç senaryoda mevcut durumun süre gelece i kabulüyle kent içi geçi lerde herhangi bir sıkıntıyla kar ıla ılmamaktadır.



ekil 4.18 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap” bölümü BOD açısından senaryolara ait sonuçlar



ekil 4.19 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap” bölümü DO açısından senaryolara ait sonuçlar

Ancak Eski ehir kent içinden çıkı ta, Porsuk Çayı'na eker fabrikası, mezbaha, atıksu arıtma tesisi, hava iklim akım merkezi vb. gibi kurulu lara ait yo un kirlilik

yükü taşıyan de arjların, mevcut durum (BAU) ve kötümser (PES) senaryoda, arttı ı kabulüyle Porsuk Çayı'nın kalite sınıfı 3. ve 4. sınıf seviyelere yükselmektedir.

Mevcut (BAU) ve kötümser (PES) senaryolar incelendi inde, Eski ehir çıkı ında yo un bir ekilde kirlenen Porsuk Çayı'nın, Eski ehir sulaması gibi sulamalardan dönen sulardan kaynaklanan kirliliklerin katılımıyla, Sakarya Nehri'ne mansaplandı ı noktaya kadar 3. ve 4. sınıf su kalitesi sınıfını korumakta oldu u gözlemlenmi tir. Eski ehir ilinden sonra istenilen seviyelerde su kalitesini sa layabilmek için yo un kirlilik taşıyan sanayi de arjlarının %50 arıtıldı ı kabulüyle olu turulan iyimser (OPT) senaryoda, arıtma i lemiyle Porsuk Çayı'nın kalite sınıfının 3. ve 2. sınıf seviyelere gelee i görülmü tür.

4.5 Porsuk Havzası'nda Alternatif Yönetim Senaryoları

Önceki bölümlerde, yukarıda belirtilen kabuller 11'inde mevcut (BAU), iyimser (OPT) ve kötümser (PES) senaryolar oluşturulmuştur, her bir durumun su kirliliği ve su miktarı (kısıtlı) açısından etkileri belirlenmiştir. Her üç senaryo için elde edilen sonuçlardan havzanın durumunda istenilen seviyelere gelinemediği belirlenmiştir, acil önlemler alınması gerekliliği tespit edilmiştir. Alınması gereken önlemler 11'inde havzanın mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) durumuna ait olmak üzere alternatif yönetim senaryoları oluşturulmuştur. Kötümser (PES) senaryoya ait sonuçların diğer senaryolara göre oldukça kötü olması, bu senaryoya göre oluşturulacak alternatif yönetim senaryolarının etkisiz, ekonomiklikten uzak ve alınacak önlemlerin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle sunulan tez çalışmasında kötümser (PES) senaryoya göre alternatif yönetim senaryoları oluşturulmamıştır.

Yönetim senaryoları olarak; 5 tanesi birbirinden bağımsız bir başka deyişle tekil, diğer 3 tanesi de diğer senaryoların birleştirilmiş kombinasyonları olmak üzere toplam 8 adet senaryo oluşturulmuştur.

4.5.1 Önlem Almamak (Senaryo A0)

Uygulaması en kolay fakat sonuçları tatmin edicilikten uzak yönetim senaryolarından bir tanesidir. Mevcut durumun aynen sürece geldiği, bu durumu değiştirmek üzere hiçbir eylem, önlem veya uygulamanın yapılmadığı kabulüne dayanmaktadır.

4.5.2 İçmesuyu Hatlarının Rehabilitasyonu (Senaryo A1)

Ülkemizde diğer şehirlerde olduğu üzere, Kütahya ve Eskişehir illerinde içmesuyu hatlarında yüksek oranda kayıplar bulunmaktadır. Kayıplar, ana boru hatları, hizmet depoları ve hizmet bağlantıları üzerindeki her türlü sızıntı, yetersizlik, hatların eskiliği, kaçak kullanım, su faturasına tabi olmayan tesis sayılarının fazlalığı vb. nedenlerden kaynaklanmaktadır. Proje alanı, Kütahya ve Eskişehir illerinde

içmesuyu hatlarında sırasıyla %60 ve %66 oranında kayıplar bulunmaktadır. Bu yönetim senaryosunda yapılacak içmesuyu hatları rehabilitasyonu çalışmalarıyla, kayıpların yarı yarıya indirileceği öngörülmüştür.

4.5.3 Sulama Sistemi Hatlarının Rehabilitasyonu (Senaryo A2)

Ülkemizde DS tarafından yapılan ve işletilmesi devredilen sulamaların yaklaşık %42'si klasik, %50'si kanalet ve %8'i de borulu sistem olarak hizmet vermektedir. Tez çalışmasında ise, bu oranlar Kütahya sulamasında %66'sı klasik, %34'ü kanalet, Eskişehir sulamasında %100'ü klasik sistem olarak ele alınmıştır (DS, 2004). Oranlara bakıldığında geçmişte yapılan tesislerin büyük bir bölümünün klasik sisteme göre projelendirildiği söylenebilir. Su kaynaklarının zamanla azalması, gelişen sulama teknolojileri ve çiftçi talepleri, bu durumun yeniden değerlendirilme gereğini ortaya koymuştur (Çokun, 2008). Bu nedenle, DS 2003 yılından sonra yapılan sulama projelerinde borulu sisteme büyük önem vermektedir. Borulu sistemin tüm sistem içindeki oranının, gerek yapılacak yeni projelerle, gerekse eski tesislerin rehabilitasyonu ile %40 seviyesine çıkarılması hedeflenmektedir (DS, 2004).

A2 yönetim senaryosuyla, proje alanında bulunan Kütahya ve Eskişehir sulamalarındaki klasik sistemlerin oranlarının, yapılacak yenileme çalışmalarıyla, %20 seviyesine indirileceği öngörülmüştür.

4.5.4 Sulama Yöntemlerinin Değişimi (Senaryo A3)

Türkiye'de kullanılan sulama sistemleri genellikle olarak, daha ucuz işletme maliyeti, kullanım kolaylığı, herhangi bir enerji veya su kullanıcılarına ek getirmemesi vb. nedenlerden dolayı, yüzeysel sulama sistemlerine göre projelendirilerek işletmeye açılmıştır (Önder vd., 2008). Ülkemizde yüzeysel yöntemlerle sulanan alan %92, yağmurlama sistemiyle sulanan alan %7 ve damlama sistemiyle sulanan alan %1 seviyesindedir. Kütahya sulamasının %100'ü yüzeysel yöntemlerle, Eskişehir sulamasının %75'i yüzeysel, %25'i yağmurlama yöntemiyle sulanmaktadır (DS,

2004). Ancak ülkemizde su iletim ve dağıtım sistemlerindeki kayıplar ve yüzeysel sulama uygulaması nedeniyle gereğinden fazla su kullanılmakta; sulama ihtiyacının yaklaşık iki katından fazla su tüketilmektedir (Çakmak vd., 2008). DS 18. Bölge kapsamındaki Isparta ilinde bu oran 2,45, Isparta ili Atabey Sulama Birliğinde bu oran 3,35 olarak gerçekleşmektedir (Ertürk, 2007).

A3 yönetim senaryosuyla, %15 yüzeysel sulama, %55 yağmurlama sulaması, %30 damlama sulaması yapılacağı kabul edilmiştir.

4.5.5 Atıksu Değerlerinin Kirliliğinin Azaltılması (Senaryo A4)

Geçmişte yapılan su yönetim çalışmalarında, genellikle su miktarı açısından yönetim planlamaları gerçekleştirilmemiş, su kalitesi değerlendirilmemiş bırakılmıştır. Ancak hızla gelişen dünya koşulları, artan endüstriyel, şehirleşme ve tüketim beraberinde su kaynaklarının yönetiminde miktar ve kalitenin birlikte değerlendirilmesi gereğini ortaya koymuştur.

A1, A2 ve A3 yönetim senaryoları her ne kadar değerleri azaltmaları yönünde kalitede iyileşmelerde çabalarına rağmen yeterli olamamaktadır. Bu nedenle tez çalışmasında, değerlerin arıtma yapılarak kirlilik yükünün azaltılmasına yönelik A4 yönetim senaryosu oluşturulmuştur. A4 yönetim senaryosuyla, proje alanındaki evsel ve endüstriyel atıksu değerlerinin uygulanacak arıtma yöntemiyle %75 oranında verimle arıtılacağı öngörülmüştür.

4.5.6 Birleştirilmiş Yönetim Senaryoları (Senaryo A5=A2+A3; Senaryo A6=A1+A2+A3; Senaryo A7=A1+A2+A3+A4)

Yönetim senaryolarının münferit olarak uygulanmasıyla istenilen sonuçların elde edilemeyeceğinin inancı, birden fazla yönetim senaryolarının birlikte uygulanması fikrini ortaya çıkarmıştır. Tez çalışmasında A5, A6 ve A7 yönetim senaryolarında farklı kombinasyonlarda yönetim senaryolarının uygulanması gerçekleştirilmiştir.

A5 (Senaryo $A5=A2+A3$) yönetim senaryosunda sulama sistemi hatlarının rehabilitasyonu ve sulama yöntemlerinin de i imi birlikte de erlendirilmi tir.

çmesuyu hatlarının ve sulama sistemi hatlarının rehabilitasyonu ile sulama yöntemlerinin de i iminin birlikte uygulanması **A6 (Senaryo $A6=A1+A2+A3$)** yönetim senaryosunu olu turmu tur.

Olu turulan münferit yönetim senaryolarının tamamının uygulanmasıyla, bir ba ka deyi le, hem miktar hem kalite yönünden etki eden senaryoların bir araya getirilmesiyle, elde edilecek sonuçların de erlendirilmesi için **A7 (Senaryo $A7=A1+A2+A3+A4$)** yönetim senaryosu hazırlanmı tır.

4.6 Alternatif Yönetim Senaryoları Sonuçları

Oluşturulan alternatif yönetim senaryoları havzanın mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) durumunda uygulanması, havza üzerine etkileri; su miktarı ve su kalitesi açısından irdelenmiştir.

4.6.1 Su Miktarı Açısından

Su miktarı açısından alternatif yönetim senaryolarının havzanın mevcut (BAU) durumunda uygulanmasıyla elde edilen sonuçları Tablo 4.7’de belirtilmiştir.

Hiçbir önlem alınmadan mevcut durumun aynen devamına yönelik A0 yönetim senaryosunun sonuçları incelendiğinde, talep bölgelerinin yıllık su ihtiyacının yaklaşık 2,5-3,0 katı oranında kayıplar dahil yıllık su ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu durum beraberinde, Beylikova ve Kangal-Adahisar sulamaları hariç diğer talep bölgelerinde ciddi miktarda karşılanamayan yıllık su ihtiyacı doğurmaktadır. Olumsuz bu durumun düzeltilmesi amacıyla uygulanan alternatif yönetim senaryoları neticesinde, içmesuyu hatlarının rehabilitasyonunu içeren A1 senaryosuyla Kütahya ve Eskişehir illerinin içmesuyu hatlarındaki yüksek oranlardaki kayıplar azaltılmıştır. Böylelikle şehirlerdeki kayıpların azaltılması şehirlere ayrılan su miktarını azaltmakta, buna karşılık sulamalara ve diğer talep bölgelerine daha fazla su tahsisini sağlamaktadır. Dikkat edilmesi gereken önemli bir konu da Kütahya ili içmesuyu ihtiyacının karşılanması için Porsuk Kaynakları haricinde alternatif yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının belirlenmesinin ve yeni planlamaların bu yönde yapılmasının gerekliliğidir.

Sulama sistemi hatlarının rehabilitasyonu senaryo A2, sulama yöntemlerinin değişimi senaryo A3 ve her iki senaryonun birlikte uygulandığı senaryo A5 sonuçlarına göre (Tablo 4.7), Kütahya ve Eskişehir sulamalarında kayıplarda %30-45 aralığında bir azalma görülmüştür. Ancak bu senaryoların hiçbirisi tam anlamıyla taleplerin karşılanmasını sağlayamamıştır.

Tablo 4.7 Porsuk Havzası Mevcut (BAU) durum altında alternatif yönetim senaryo sonuçları

TALEP BÖLGELER BAU	YILLIK SU HT YACI							
	(milyon m3)							
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
	2050							
Kütahya Sulaması	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Kütahya çmesuyu	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7
Eski ehir çmesuyu	44,4	44,4	44,4	44,4	44,4	44,4	44,4	44,4
Eski ehir Sulaması	35,8	35,8	35,8	35,8	35,8	35,8	35,8	35,8
eker Fabrikası	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
Beylikova Sulaması	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4
Ka anga-Adahisar Sulaması	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
TALEP BÖLGELER BAU	KAYIPLAR DAH L YILLIK SU HT YACI							
	(milyon m3)							
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
	2050							
Kütahya Sulaması	5,2	5,2	4,4	3,1	5,2	2,8	2,8	2,8
Kütahya çmesuyu	56,8	32,5	56,8	56,8	56,8	56,8	32,5	32,5
Eski ehir çmesuyu	130,6	66,3	130,6	130,6	130,6	130,6	66,3	66,3
Eski ehir Sulaması	79,6	79,6	60,3	59,2	79,6	47,8	47,8	47,8
eker Fabrikası	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6
Beylikova Sulaması	46,8	46,8	46,8	46,8	46,8	46,8	46,8	46,8
Ka anga-Adahisar Sulaması	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3
TALEP BÖLGELER BAU	KAR ILANAMAYAN YILLIK SU HT YACI							
	(milyon m3)							
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
	2050							
Kütahya Sulaması	4,9	1,7	4,1	2,9	4,9	2,6	0,2	0,2
Kütahya çmesuyu	23,3	1,1	23,3	23,3	23,3	23,3	1,1	1,1
Eski ehir çmesuyu	6,1	0	6,1	6,1	6,1	6,1	0	0
Eski ehir Sulaması	51,2	0	35,7	34,8	51,2	27,3	0	0
eker Fabrikası	0,8	0	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0
Beylikova Sulaması	0	0	0	0	0	0	0	0
Ka anga-Adahisar Sulaması	0	0	0	0	0	0	0	0

A4 senaryosu kalitenin iyile tirilmesine yönelik bir önlem oldu u için su miktarı açısından önemli bir etkisi bulunmamaktadır. A1, A2 ve A3 senaryolarının birlikte uygulandı 1 A6 ve A7 senaryosundan elde edilen sonuçlar ise su miktarı açısından en tatmin edici çözüm olmu tur. Havzanın gelecekteki durumu iyimser (OPT) bir bakı

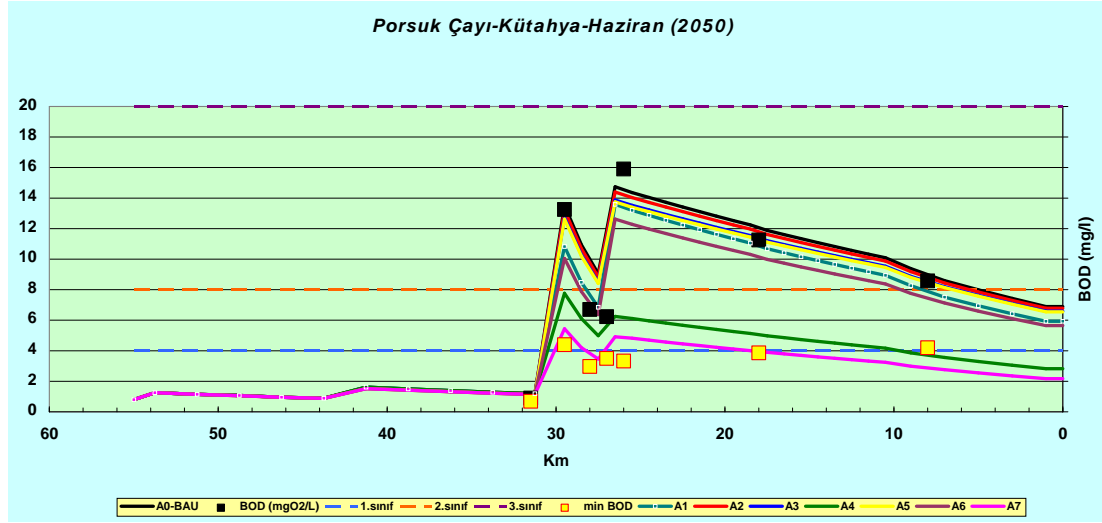
Bu durum, uygulanacak senaryoların daha etkin sonuçlar vermesine, sorunların çözümünde başarılarının artmasına ve istenilen hedeflere ulaşmada alınacak önlemlerin daha az maliyetli olmasına yol açmaktadır.

Tablo 4.8 incelendiğinde, talep bölgelerinin *yıllık su ihtiyacı* ve *kayıplar dahil yıllık su ihtiyacı* değerlerinin Tablo 4.7'deki ilgili değerlerden oldukça düşük olduğu görülmüştür. İçmesuyu hatlarının rehabilitasyonunu ifade eden A1 yönetim senaryosunun uygulanmasıyla, havzadaki içmesuyu ihtiyaçlarında azalma gerçekleşmiştir. Sulama hatlarının iyileştirilmesi (senaryo A2), yeni sulama yöntemlerinin uygulanması (senaryo A3) ve her iki senaryonun birlikte tatbikiyle (senaryo A5), sulama bölgelerinde karlanamayan yıllık su ihtiyacında belirli bir miktarda düşüş elde edilmiştir. Senaryolar A1, A2 ve A3'ün birlikte değerlendirildiği A6 senaryosuyla havzadaki su miktarı açısından en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

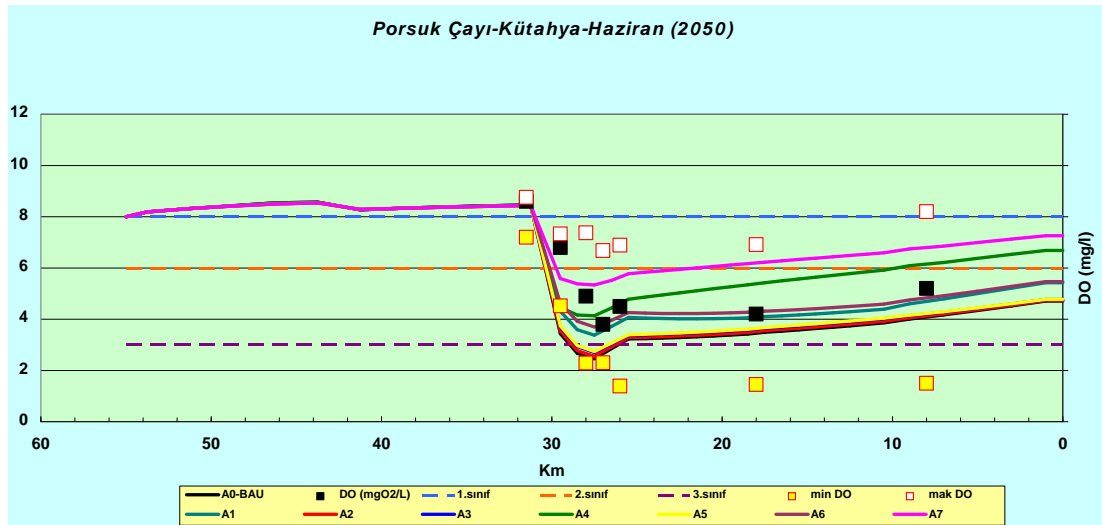
Yukarıda belirtildiği üzere A4 senaryosu su kalitesiyle ilgili olduğu için su miktarı açısından bir etkisi görülmemekte, A7 senaryosunun su miktarı açısından etkisi de A6 senaryosuyla aynı değerleri içermektedir. Tablo 4.8'den elde edilen sonuçlardan en dikkat çekici olanı, iyimser (OPT) senaryo durumunda havzadaki hiçbir önlem alınmasa dahi (senaryo A0) talep bölgelerinin hiçbirisinde karlanamayan yıllık su ihtiyacı bulunmamasıdır. Bu durum, su miktarı açısından değerlendirildiğinde iyimser durum (OPT) senaryo şartlarında, havzanın herhangi bir kısıt veya sorunla karşılaşmayacağı, talepleri karşılamada yeterli olacaktır ifade etmektedir.

4.6.2 Su Kalitesi Açısından

Alternatif yönetim senaryolarının havzanın mevcut (BAU) durumunda uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar *Memba-Kütahya-Porsuk Barajı* bölümleri için ekil 4.20 ve ekil 4.21 'de görülmektedir.



ekil 4.20 “Memba-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümünün Mevcut (BAU) durumunda BOD açısından alternatif yönetim senaryo sonuçları

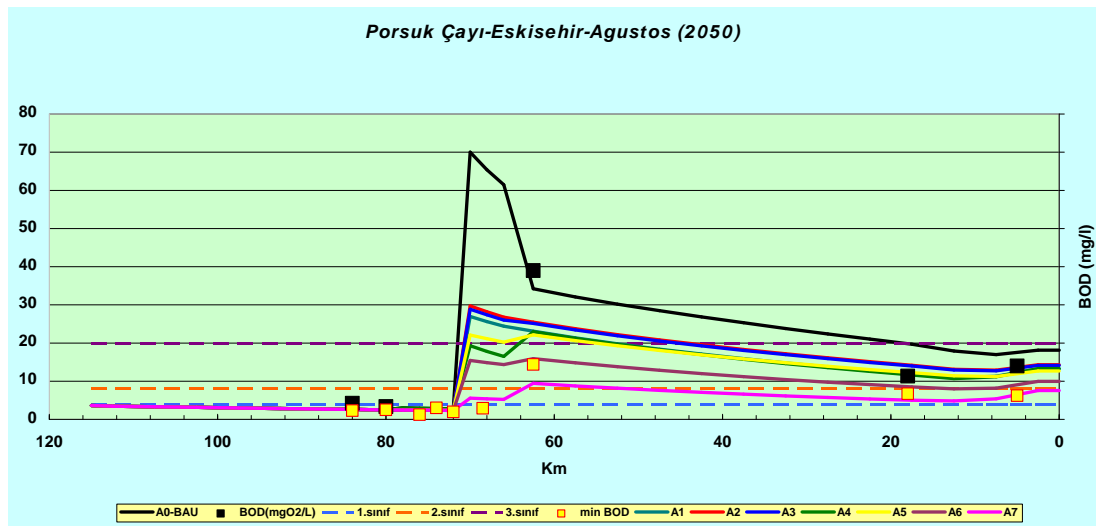


ekil 4.21 “Memba-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümünün Mevcut (BAU) durumunda DO açısından alternatif yönetim senaryo sonuçları

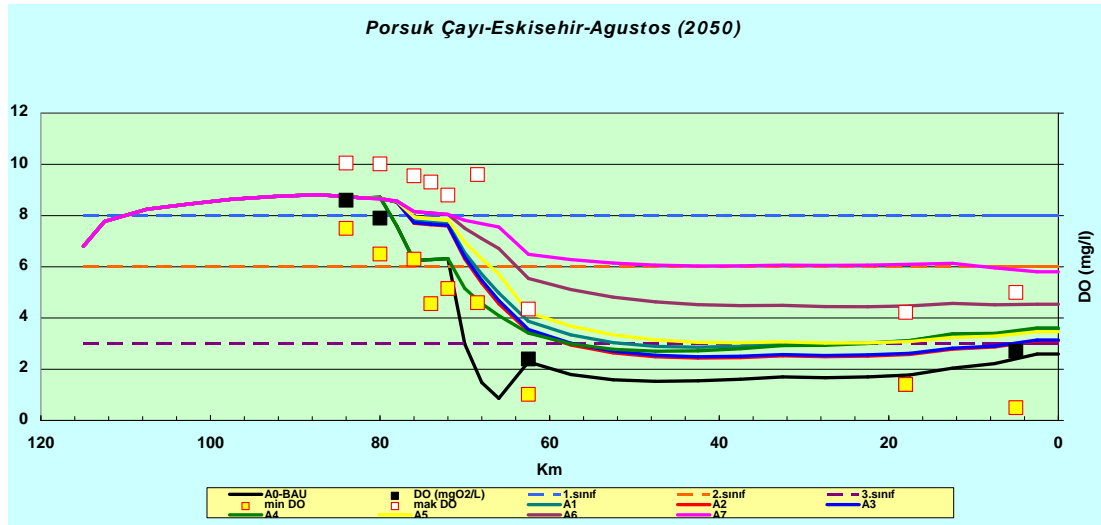
ekillerden izlenece i üzere, A0, A1, A2 ve A3 gibi tekil senaryoların tek ba ına uygulanmasıyla su kalitesi açısından istenilen hedefler elde edilememi tir. Belirtilen bu dört yönetim senaryosunun kalite açısından sonuçları birbirine çok yakın olup sorunlu bölgelerde 3. sınıf su kalitesinde bulunmaktadır. A5 ve A6 gibi birden fazla senaryoların birlikte uygulandı ı kombinasyonlarda da her ne kadar de arjaların azalması yönüyle kalitede iyile meler olmasına ra men istenilen sonuçlar elde edilememi tir.

ekil 4.20 ve ekil 4.21’den elde edilen en önemli sonuç, su kalitesi açısından arzu edilen seviyelere ula abilmek için A4 yönetim senaryosunun mutlaka uygulanma gereklili idir. A4 yönetim senaryosunun uygulanmasıyla sorunlu bölgelerdeki su kalitesinde iyile meler görülmü , 3. sınıf su kalitesi 2. sınıf su kalitesi sınıfına yükselmi tir. Bütün tekil senaryoların birlikte uygulandı ı A7 yönetim senaryosu ise en iyi sonuçları vermi , su kalitesi sınıfı 2. ve 1. sınıf seviyelere yükselmi tir. A7 yönetim senaryosuyla havzanın ideale yakın bir çözümü elde edilmi tir.

Modelin *Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap* bölümünü içeren di er bölümünde, Mevcut (BAU) durum altında uygulanan yönetim senaryolarının sonuçları ekil 4.22 ve ekil 4.23’de ifade edilmi tir.



ekil 4.22 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Porsuk Barajı-Mansap” bölümünün Mevcut (BAU) durumunda BOD açısından alternatif yönetim senaryo sonuçları



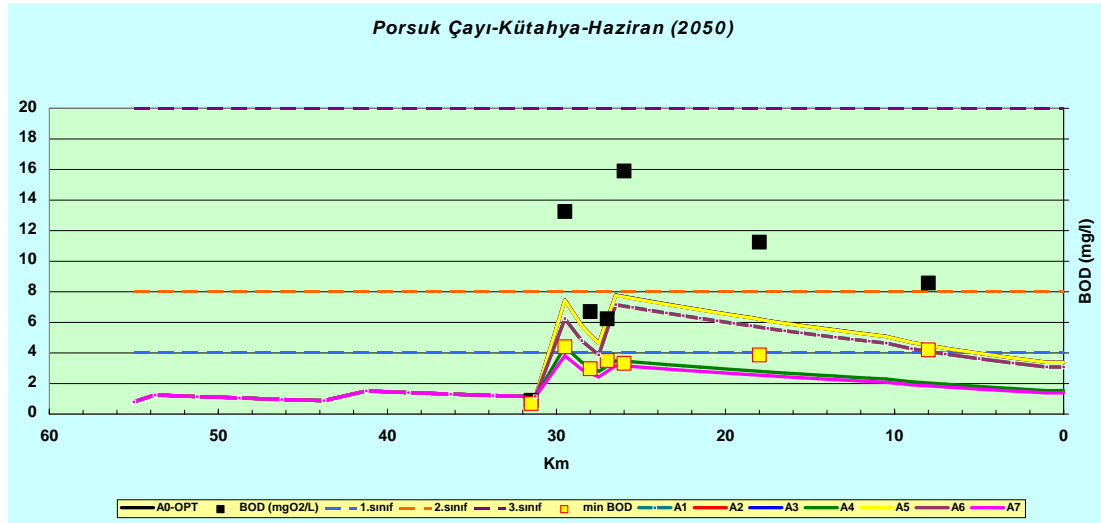
ekil 4.23 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Porsuk Barajı-Mansap” bölümünün Mevcut (BAU) durumunda DO açısından alternatif yönetim senaryo sonuçları

A0 senaryoda, özellikle çok kirlenmiş seviyede yani 4. sınıf kalitede bulunan havzanın durumu, uygulanan yönetim senaryoları neticesinde daha uygun seviyelere getirilebilir. A1, A2, A3 tekil senaryoların uygulanmasıyla, havzanın durumu A0 senaryoya kıyasla daha iyi bir duruma gelmiş tir, ancak su kalitesi 4. ve 3. sınıf seviyelerinde yer almaya devam etmiş tir. Su kalitesi açısından, A4 yönetim senaryosunun uygulanması A1, A2 ve A3 senaryoya göre daha etkili olmasına rağmen hiçbir tekil senaryo tek başına yeterli olamamıştır.

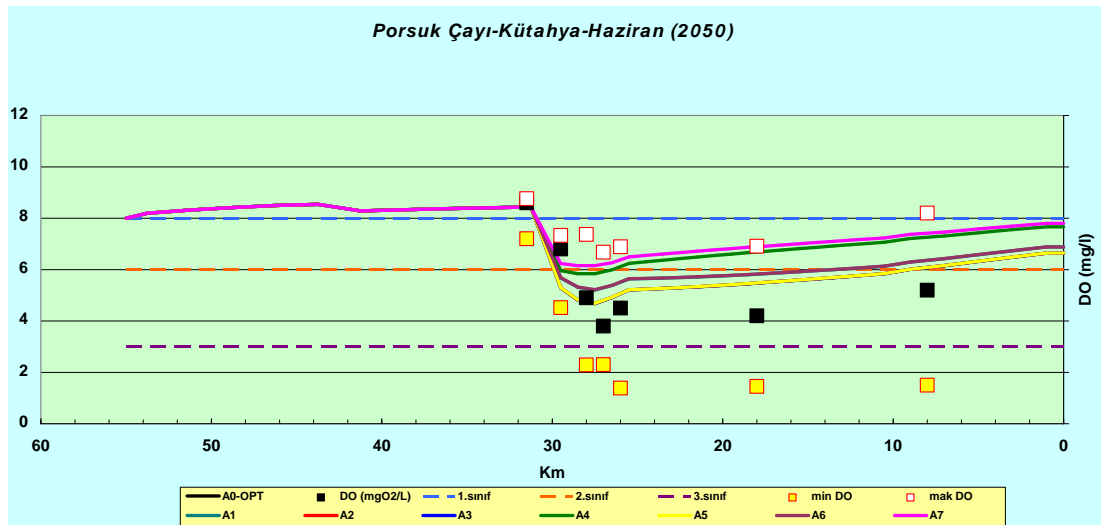
ekil 4.22 ve ekil 4.23’de tekil senaryoların birlikte uygulandığı A5 senaryosunun sonuçları A4 senaryosuna benzemektedir, A6 ve özellikle de A7 senaryo sonuçları diğerlerine göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir. A7 yönetim senaryosuyla havzanın incelenen bu bölümünde 2. sınıf su kalite diğerlerine ulaşmakta ve ideale yakın çözüm elde edilmektedir.

Havzanın gelecekteki durumunun iyimser bir bakış açısıyla değerlendirildiği iyimser (OPT) senaryo durumu için alternatif yönetim senaryoları uygulamasıyla elde edilen sonuçlar; *Mamba-Kütahya-Porsuk Barajı* bölümü için ekil 4.24 ve ekil 4.25, *Porsuk Barajı-Eski ehir-Mansap* bölümü için ekil 4.26 ve ekil 4.27’de belirtilmiştir.

Sonuçlar incelendi inde, havzanın gelecekteki durumu iyimser (OPT) bir bakı açısıyla de erlendirildi i için mevcut (BAU) duruma ait sonuçlardan daha iyi çözümler elde edildi i görülmü tür.



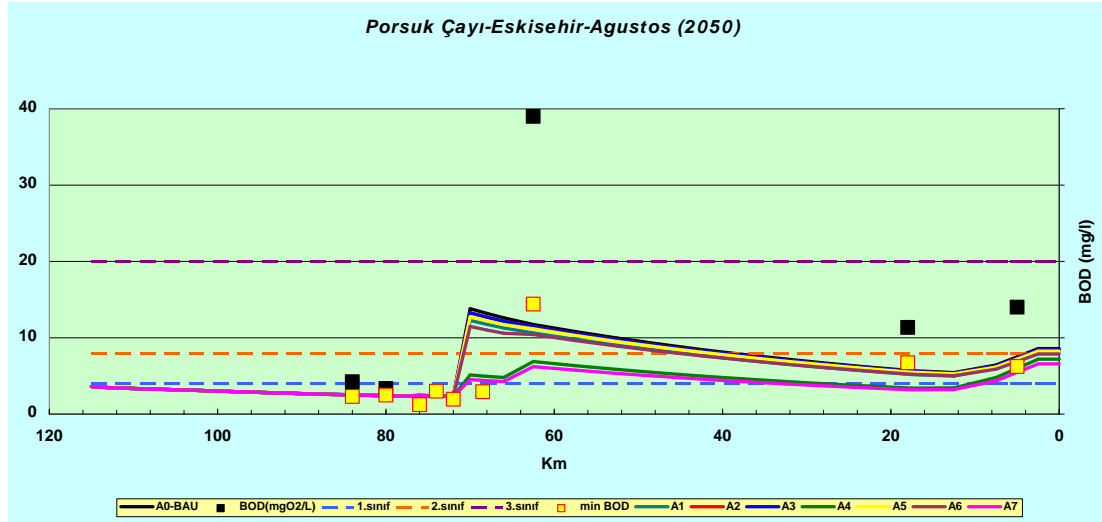
ekil 4.24 “Membra-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümünün iyimser (OPT) durumunda BOD açısından alternatif yönetim senaryo sonuçları



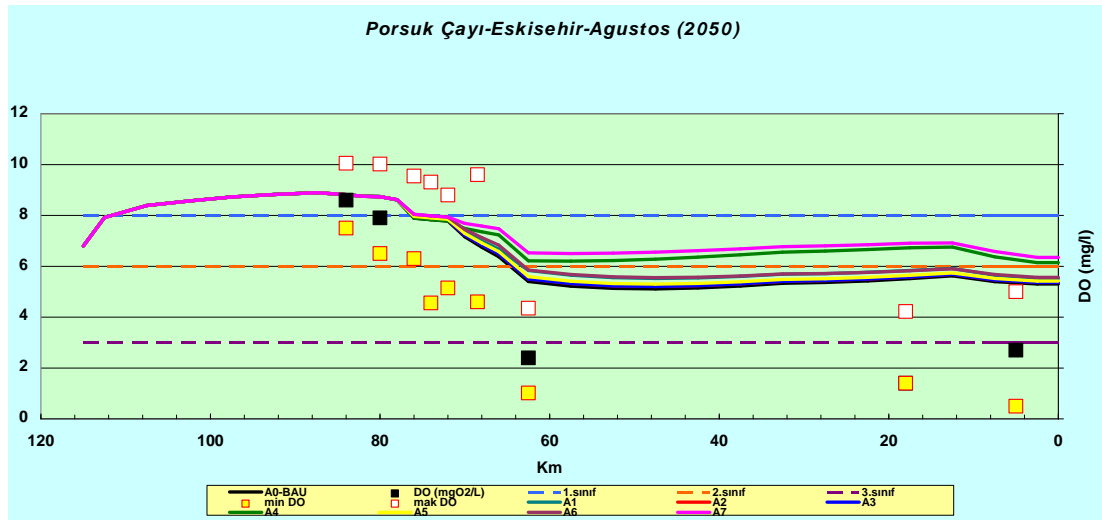
ekil 4.25 “Membra-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümünün iyimser (OPT) durumunda DO açısından alternatif yönetim senaryo sonuçları

“Membra-Kütahya-Porsuk Barajı” bölümü iyimser (OPT) durumda, hiçbir önlemin alınmadı ı A0 senaryosunun uygulanması halinde dahi, 3. ve 2. sınıf su kalitesi seviyesini sa lamaktadır. Bu seviye, uygulanacak yönetim senaryolarının daha etkin

sonuçlar üretmesine yol açacak, havzada istenilen sonuçlara ula mada alınacak önlemlerin daha ekonomik olmasını sa layacaktır.



ekil 4.26 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Memba” bölümünün yımser (OPT) durumunda BOD açısından alternatif yönetim senaryo sonuçları



ekil 4.27 “Porsuk Barajı-Eski ehir-Memba” bölümünün yımser (OPT) durumunda DO açısından alternatif yönetim senaryo sonuçları

Olu turulan A1, A2, A3, A5 ve A6 yönetim senaryolarının uygulanmasıyla, havzada su kalitesinin genellikle 3. ve 2. sınıf seviyelerde bulundu u ve birbirine çok yakın de erler aldı ı görülmü tür. Atıksu de arlarından kaynaklanan kirlili inin azaltılmasına yönelik çalı maları içeren A4 senaryosu ve A4 senaryosuyla beraber

diğer senaryoları da içeren A7 senaryosunun uygulanmasıyla havzada 2. ve 1. sınıf su kalitesi de erlerine ula ılabilmektedir.

A1, A2, A3, A5 ve A6 senaryolarıyla su kalitesi 3. ve 2. sınıf seviyelere, A4 ve A7 senaryolarının uygulanmasıyla 2. ve 1. sınıf seviyelere yükselmiştir. Mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) durum dahil havzanın, hem Kütahya hem de Eskişehir bölümünde de su kalitesi açısından arzu edilen sonuçlara ula ılabilmesi için atıksu de arjlarının artırılması gerekmektedir.

Sonuçlardan da görüldü ü üzere havzanın iyimser (OPT) senaryo altındaki durumu mevcut (BAU) senaryo altındaki durumundan daha iyi seviyedir. Bu avantajlı durum uygulanan yönetim senaryolarının sonuçlarının daha tatmin edici olmasına yol açmakta, havzanın sorunlarına çözümü kolayla tırmaktadır.

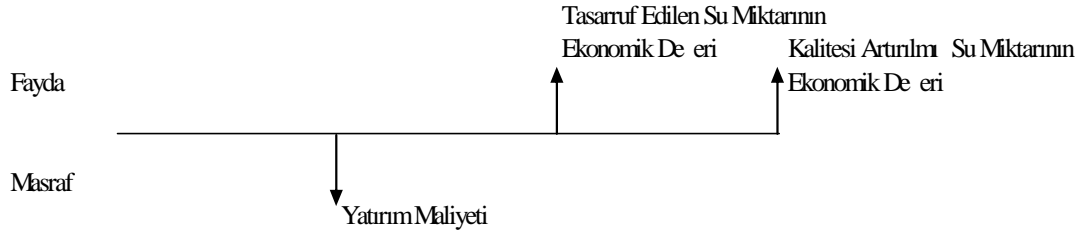
4.6.3 Ekonomik De erlendirme

Havzaların kar ıla tı ı sorunların çözümü için uygulanan yönetim senaryolarının su miktarı ve su kalitesi açısından incelenmesi tam anlamıyla yeterli olmamakta, beraberinde alternatif senaryoların ekonomik açıdan da irdelenmesi gerekmektedir.

Entegre Havza Yönetiminin etkin ve yeterli olabilmesi için olu turulan alternatif yönetim senaryolarının çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan birlikte de erlendirilmesi havza sorunlarının çözümünün daha kalıcı olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, tez çalışmasında uygulanan alternatif yönetim senaryolarının sonuçları su miktarı ve su kalitesinin yanında ekonomi açısından da de erlendirilmiştir.

Havzanın ekonomik açıdan de erlendirilmesinde; ekonomik indikatör olarak *fayda/masraf (F/M) oranı*, *yatırımın geri dönüş yılı* ve *maliyet (cost) de eri* seçilmiştir. Bilindi i üzere havzada uygulanan her bir senaryonun bir maliyeti ve beraberinde sağladığı kazancı veya faydası bulunmaktadır.

Yatırım maliyeti kapsamında, her bir alternatif yönetim senaryosunun uygulanması için gereken yatırım, inaat ve uygulama vb. giderleri yer almaktadır. Uygulanan yönetim senaryoları sonucunda tasarruf edilen içmesuyu ve sulama suyunun ekonomik de eri ile kalitesi artırılmı , suyun ekonomik de eri elde edilen fayda olarak tanımlanmıştır (ekil 4.28).



ekil 4.28 Alternatif yönetim senaryolarının ekonomik açıdan de erlendirme yakla ımı

Tez kapsamında; içmesuyu ve sulama suyunun ekonomik de eri dı nda ürün artışı, ürün çe itlenmesi vb. kaynaklardan elde edilen herhangi bir fayda veya kazanç yer almamıştır. Yönetim senaryoları sonucunda, elde edilen toplam faydanın (gelir), senaryonun gerçekleşmesi için harcanan toplam masrafa (gider) oranı *fayda/masraf* olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen toplam gelirin yapılan toplam masrafa oranı da yapılacak yatırımın veya masrafın kaç yılda kendini amorti edeceği bir ba ka deyi le *yatırımın geri dönü yılı* olarak ifade edilmektedir.

A0 senaryosu hiçbir eylem içermediği için ekonomik açıdan de erlendirme kapsamına alınmamıştır.

A1 Senaryosu

çmesuyu hatlarının rehabilitasyonunu içeren A1 yönetim senaryosuyla, Kütahya ve Eski ehir illerinin içmesuyu hatlarının yenilenecek kayıpların yarı yarıya indirileceği öngörülmüştür. Mevcut durumun devam ettiği (BAU) senaryoda, Kütahya ve Eski ehir illeri içmesuyu hatlarının 2050 yılındaki kayıplarının 1997 yılı kayıp oranlarına göre de imediği, Kütahya ili için %60, Eski ehir ili için %66

oldu u varsayılmı tır. Bu illerin iyimser durum (OPT) altındaki kayıp oranları %30 kabul edilmi tir.

Hatların yenilenmesi veya rehabilitasyonu yapılması kapsamında, hatlarda %10 oranında kayıp olaca ı kabul edilmi tir. Mevcut durumun devam etti i (BAU) durumda, Kütahya ve Eski ehir illeri içmesuyu hatlarında kayıp oranlarının yarı yarıya indirilebilmesi için bu hatlarda yakla ık %60 seviyesinde yenileme çalı maları yapılması gerekti i hesaplanmı tır.

iyimser (OPT) durumda hatların mevcut (BAU) duruma göre daha iyi durumda bulunması nedeniyle iyimser durumda yenilenecek hatların %30 seviyesinde olaca ı varsayılmı tır.

Ekonomik analizde; içmesuyu hatlarının yenilenmesi maliyeti 150\$/ki i (Amerika Birle ik Devletleri Doları/ki i) olarak belirlenmi tir. Bu de er, İller Bankası tarafından 20.000 ki ilik yerle im yerinde yapımı gerçekte tirilen; isale hattı, depo, ebeke ve kaptaj in aat toplam maliyetinin (Ertu rul, 2002) belirlenerek, bu maliyetin tez çalı ması kapsamında ki i ba ına dü en maliyete çevrilmesiyle hesaplanmı tır.

çmesuyu kullanım bedeli, Eski ehir Büyük ehir Belediyesi Su Kanalizasyon daresi nin (ESK) belirledi i tarifeden yararlanılarak 1,4 \$/m³ olarak belirlenmi tir. çmesuyu talep bölgelerinin yatırım maliyeti, ki i ba ına dü en yenileme birim maliyetin nüfus miktarı ve yenilenme oranıyla birlikte de erlendirilmesi suretiyle; elde edilen gelirlerde, kayıplardaki azalan su miktarının ekonomik de erinin bulunmasıyla elde edilmi tir. Gelirlerin masraflara oranından fayda/masraf oranı, masrafların gelirlere oranından da yatırımın geri dönü yılı de eri bulunmaktadır.

Havzanın mevcut (BAU) durumunda A1 alternatif yönetim senaryosunun uygulanmasıyla, içmesuyu hatlarının rehabilitasyonu yatırımları için (53,8.10⁶\$+101,2.10⁶\$) 155.10⁶\$ yatırım gerekmekte (Tablo 4.9), kar ılı ında yıllık (34,0.10⁶\$+89,9.10⁶\$) 123,9.10⁶\$ gelir (Tablo 4.10) beklenmektedir.

Tablo 4.9 Senaryo A1 yönetim senaryosu yatırım maliyeti sonuçları

İçmesuyu Talep Bölgeleri	Nüfus (kişi)	Birim Maliyeti (\$/kişi)	Yenileme Oranı (%)	Yatırım Maliyeti (10 ⁶ \$)
Kütahya ili (BAU)	597.500	150	60	53,8
Eskişehir ili (BAU)	1.125.000	150	60	101,2
Kütahya ili (OPT)	485.500	150	30	21,8
Eskişehir ili (OPT)	1.013.500	150	30	45,6

Yatırımın geri dönüşü yılı (155,0.10⁶\$/123,9.10⁶\$) 1,3 yıl olarak elde edilmekte sadece bir yıl için F/M (fayda/masraf) oranı (123,9.10⁶\$/155,0.10⁶\$) 0,80 bulunmaktadır.

Tablo 4.10 Senaryo A1 yönetim senaryosu gelir sonuçları

İçmesuyu Talep Bölgeleri	Kayıplar A0 (10 ⁶ m ³)	Kayıplar A1 (10 ⁶ m ³)	Kayıplardaki Azalış (10 ⁶ m ³)	Birim Maliyet (\$/m ³)	Gelir (10 ⁶ \$/yıl)
Kütahya ili (BAU)	34,1	9,8	24,3	1,4	34,0
Eskişehir ili (BAU)	86,2	22,0	64,2	1,4	89,9
Kütahya ili (OPT)	7,9	3,2	4,7	1,4	6,6
Eskişehir ili (OPT)	15,1	6,2	8,9	1,4	12,4

Aynı değerler iyimser (OPT) durum için; 67,4.10⁶\$ yatırım gideri, yıllık 19,0.10⁶\$ gelir, 3,55 yıl yatırımın geri dönüşü yılı ve bir yıllık 0,28 değerinde F/M oranı olmaktadır.

Sonuçlardan, içmesuyu rehabilitasyon çalışmaları yatırım maliyetinin oldukça yüksek olduğu, buna rağmen içmesuyundan elde edilen gelirlerin fazlalığı nedeniyle yatırımın geri dönüşü yılının kısa olduğu anlaşılmıştır.

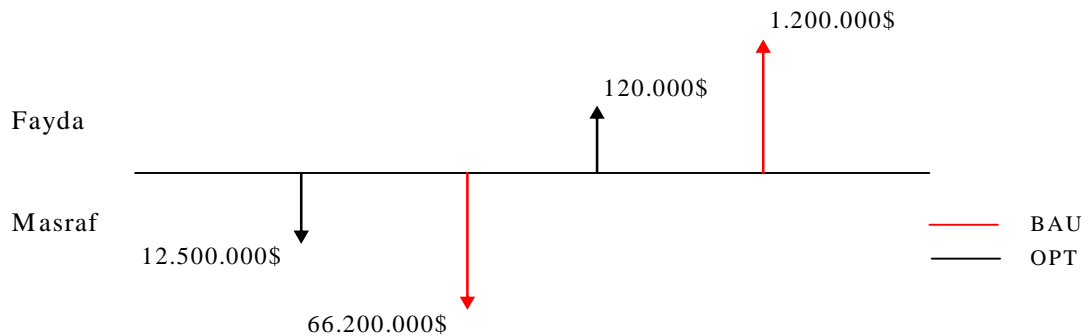
A2 Senaryosu

Sulama sistemi hatlarının rehabilitasyonunu içeren A2 yönetim senaryosunda, Kütahya ve Eskişehir sulamalarında mevcut klasik sulama sistemi oranlarının, yapılacak yenileme çalışmalarıyla, %20 seviyesine indirileceği öngörülmüştür. Ekonomik analizde; sulama sistemi hatlarının yenilenmesi bir başka deyişle borulu

sisteme geçilme maliyeti 4700\$/ha (Do an, 2009) olarak belirlenmiştir. Mevcut durumun devam ettiği (BAU) senaryoda, Kütahya sulaması %66 klasik, %34 kanaletli, Eski ehir sulaması %100 klasik sistem olarak; iyimser (OPT) durumda Kütahya sulaması %30 klasik, %34 kanaletli, %36 borulu, Eski ehir sulaması %35 klasik, %65 borulu sistem olarak varsayılmıştır.

A2 senaryosuyla Kütahya ve Eski ehir sulamalarında, klasik sistemden borulu sisteme geçişin tutarı yatırım maliyeti, sistemin devrimi ve kayıpların azalmasıyla tasarruf edilen sulama suyunun ekonomik devrimi elde edilen gelir olarak ifade edilmiştir. Üphesiz hatların rehabilitasyonu, beraberinde daha modern tarım ve daha fazla ürün artışı sağlayacaktır. Ancak bu ürün artışı kaynaklanan ekonomik fayda, daha önce de belirtildiği üzere, tez çalışmasında değerlendirilmemiştir.

Sulama suyu fiyatları bölgelerden bölgelere ve sulamalardan sulamalara göre devrimlik göstermektedir. Cazibeli sulamalar, enerji maliyeti bulunmaması nedeniyle, pompajlı veya yerüstü sulamalarına göre sulama suyu fiyatı açısından avantajlıdır. Çalışmada kullanılan sulama suyu birim fiyatı (Duman, 2010) vb. devrim uzmanlarının görüşlerinden de yararlanarak 0,06 \$/m³ olarak seçilmiştir. A2 senaryosunun uygulanmasıyla havzanın mevcut (BAU) durumunda, sulama hatlarının rehabilitasyonu için 66,2.10⁶\$ yatırım ve yıllık 1,2.10⁶\$ gelir; iyimser (OPT) durumda 12,52.10⁶\$ yatırım ve yıllık 0,12.10⁶\$ gelir öngörülmüştür (ekil 4.29).



ekil 4.29 A2 yönetim senaryosu ekonomik sonuçları

Yatırımın geri dönüş yılı mevcut durum için yaklaşık $(66,2 \cdot 10^6 \$ + 1,2 \cdot 10^6 \$)$ 55 yıl, iyimser durum için yaklaşık $(12,5 \cdot 10^6 \$ + 0,12 \cdot 10^6 \$)$ 104 yıl olarak belirlemiş; bir yıl için F/M (fayda/masraf) oranları mevcut ve iyimser iki durum için sırasıyla yaklaşık $(1,2 \cdot 10^6 \$ / 66,2 \cdot 10^6 \$)$ 0,018 ve $(0,12 \cdot 10^6 \$ / 12,5 \cdot 10^6 \$)$ 0,010 olarak ifade edilmiştir.

Sulama suyu birim fiyatının içmesuyu birim fiyatına kıyasla oldukça düşük değerde bulunması, yatırımın geri dönüş hızının içmesuyu yatırımlarına kıyasla daha az olmasına neden olmaktadır. Ancak çalışma kapsamı dışında tutulan ürün artışı ve verimliliği konularının da değerlendirilmesiyle, yatırımın F/M oranı önemli ölçüde artacaktır.

A3 Senaryosu

Sulama yöntemlerinin değişimini içeren A3 yönetim senaryosunda, Kütahya ve Eskişehir sulamalarının yöntemlerinin değişimiyle kayıplarının azaltılması öngörülmüştür.

Mevcut durumun devam ettiği (BAU) senaryoda, Kütahya sulamasının %100'ü yüzeysel yöntemlerle, Eskişehir sulamasının %85'i yüzeysel, %15'i yağmurlama yöntemiyle sulanmaktadır. İyimser (OPT) durumda, Kütahya sulamasının %20'si yüzeysel yöntemlerle, %50'si yağmurlama, %30'u damlama yöntemiyle; Eskişehir sulamasının %25'i yüzeysel, %50'si yağmurlama ve %25'i damlama yöntemiyle sulanacağı öngörülmüştür.

A3 yönetim senaryosuyla, %15 yüzeysel sulama, %55 yağmurlama sulaması, %30 damlama sulaması yapılacağı kabul edilmiştir.

Ekonomik analizde; yağmurlama sistemi yapım maliyeti 1000\$/ha, damlama sistemi 3000\$/ha olmak üzere piyasa araştırmasıyla yaklaşık olarak belirlenmiştir.

Havzanın mevcut (BAU) durumunda A3 senaryosunda, $22,4 \cdot 10^6 \$$ yatırım maliyeti karşılığında yıllık $1,35 \cdot 10^6 \$$ gelir oluşmakta, yatırımın geri dönüş yılı 16,6 bir yıl için F/M (fayda/masraf) oranı 0,06 olmaktadır. Aynı değerler iyimser (OPT)

durumda, yatırım maliyeti $3,4 \cdot 10^6$ \$, yıllık gelir $0,13 \cdot 10^6$ \$, bir yıl için F/M oranı 0,038 ve yatırım geri dönüş yılı 26,2 yıl olarak tespit edilmiştir.

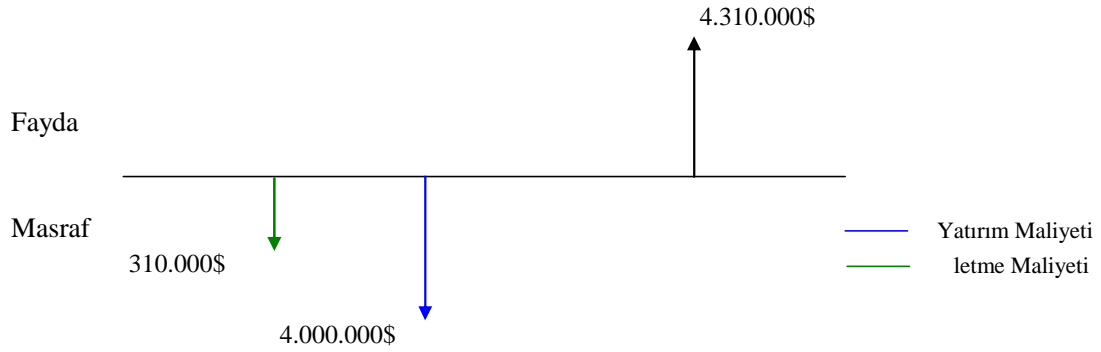
A4 Senaryosu

Atıksu deşarjlarının kirliliğinin azaltılması (Senaryo A4) senaryosuyla, proje alanındaki evsel ve endüstriyel atıksu deşarjlarının uygulanacak arıtma yöntemiyle %75 verimle arıtılacağı öngörülmüştür.

Ekonomik analizde; deşarjların kirliliğinin azaltılması bir başka deyişle 1 m^3 atıksu arıtım bedeli, Tuzla atıksu arıtma tesisinin işletim maliyetiyle benzer olduğu kabulüyle 0,034\$ (Eroğlu vd., 2002) olarak belirlenmiştir.

Uygulanan yönetim senaryosunda, havzada kirliliğe neden olan noktasal deşarjların arıtma sistemi oluşturularak kirlilik yükünün azaltılması öngörülmüştür. Üç noktada arıtma sisteminin kurulmasının yeterli olacağı ve bunların yatırım bedellerinin benzer tesislerle kıyaslanması sonucu toplam $4 \cdot 10^6$ \$ olacağı kabul edilmiştir. Yatırım ve işletme giderleri belirlenen senaryo için gelirlerin tespitinde zorlukla karşılaşılmaktadır. Yükselen su kalitesiyle içmesuyu için kullanılacak suyun arıtma maliyetinin düşmesi, çiftçiler tarafından iyi kalitedeki sulama suyunun daha fazla tercih edilmesi vb. davranışlar da A4 yönetim senaryosunun gelir bölümü olarak düşünülebilir. Ancak bu gelirlerinin tespitinin zorluğu, belirsizliğinin fazlalığı doğru bir kıyaslama yapılmasını engellemektedir. Gerçekte, artırılmış ve beraberinde istenen kalite sınıfını sağlayan suyun çevresel açıdan önemi yapılan yatırımın maliyetinden çok daha büyüktür. Bu nedenle A4 senaryosu için ekonomik açıdan değerlendirme yapabilmek için bazı kabuller yapılmıştır.

Buna göre, hem mevcut durumun devam ettiği (BAU) ve hem de iyimser (OPT) durumun süregeldiği durumlarda, A4 senaryosuyla yapılan yatırım bedeli karşılığında aynı miktarda gelir elde edildiği, F/M=1 ve yatırım geri dönüş yılının da 1 yıl olarak belirlendiği varsayılmıştır (Şekil 4.30).



ekil 4.30 A4 yönetim senaryosu ekonomik sonuçları

A5 Senaryosu

Sulama sistemi hatlarının rehabilitasyonu ve sulama yöntemlerinin de i imini içeren A5 yönetim senaryosuyla, Kütahya ve Eski ehir sulamalarının sulama kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. A5 senaryosuyla havzanın mevcut (BAU) durumunda, $(66,2 \cdot 10^6 \$ + 22,4 \cdot 10^6 \$)$ $88,6 \cdot 10^6 \$$ yatırım, yıllık $2,1 \cdot 10^6 \$$ gelir, iyimser (OPT) durumda $(12,5 \cdot 10^6 \$ + 3,4 \cdot 10^6 \$)$ $15,9 \cdot 10^6 \$$ yatırım ve yıllık $0,24 \cdot 10^6 \$$ gelir elde edilmektedir. Yatırımın geri dönüş yılı; yukarıda belirtildi i ekilde hesaplanarak, mevcut (BAU) durum için yaklaşık $(88,6 \cdot 10^6 \$ / 2,1 \cdot 10^6 \$)$ 42,2 yıl, iyimser durum için yaklaşık $(15,9 \cdot 10^6 \$ / 0,24 \cdot 10^6 \$)$ 66,2 yıl olarak, bir yıl için F/M (fayda/masraf) oranları mevcut ve iyimser durumlar için $(2,1 \cdot 10^6 \$ / 88,6 \cdot 10^6 \$)$ 0,024 ve $(0,24 \cdot 10^6 \$ / 15,9 \cdot 10^6 \$)$ 0,015 olarak belirlenmiştir.

A6 Senaryosu

çmesuyu ve sulama sistemi hatlarının rehabilitasyonu, sulama yöntemlerinin de i imini içeren A6 yönetim senaryosuyla, Kütahya ve Eski ehir illerine ait içmesuyu ve sulama kayıplarının dü ürülmesi amaçlanmıştır. Senaryo A6'nın mevcut (BAU) durumdaki sonuçlarından, $(155,6 \cdot 10^6 \$ + 66,2 \cdot 10^6 \$ + 22,4 \cdot 10^6 \$)$ $243,6 \cdot 10^6 \$$ yatırım, yıllık $(2,1 \cdot 10^6 \$ + 123,9 \cdot 10^6 \$)$ $126 \cdot 10^6 \$$ gelir, 1,93 yatırım geri dönüş yılı ve yıllık 0,52 F/M oranı; iyimser (OPT) durumdaki sonuçlarından $(67,4 \cdot 10^6 \$ + 12,5 \cdot 10^6 \$ + 3,4 \cdot 10^6 \$)$ $83,3 \cdot 10^6 \$$ yatırım, yıllık $(19,0 \cdot 10^6 \$ + 0,3 \cdot 10^6 \$)$ $19,3 \cdot 10^6 \$$ gelir, 4,32 yatırım geri dönüş yılı ve yıllık 0,23 F/M oranı elde edilmiştir.

A7 Senaryosu

Miktar ve kalite yönünden havzaya etki eden yönetim senaryolarının birlikte uygulandı ı A7 yönetim senaryosuyla, havzadaki talep bölgelerinin su kayıplarını azaltma ve de arjların kirlilik yükünün hafifletilmesiyle, su kalitesini artırma hedefleri olu turulmu tur. A1, A2, A3 ve A4 yönetim senaryolarının birlikte uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar mevcut ve iyimser durumlara göre sırasıyla; $(243,6 \cdot 10^6 \$ + 4,3 \cdot 10^6 \$)$ $247,9 \cdot 10^6 \$ - (83,3 \cdot 10^6 \$ + 4,3 \cdot 10^6 \$)$ $87,6 \cdot 10^6 \$$ yatırım giderleri, $(126,0 \cdot 10^6 \$ + 4,3 \cdot 10^6 \$)$ $130,3 \cdot 10^6 \$ - (19,3 \cdot 10^6 \$ + 4,3 \cdot 10^6 \$)$ $23,6 \cdot 10^6 \$$ yıllık gelirler, 1,90-3,71 yıl yatırım geri dönü yılı, 0,53-0,27 yıllık F/M oranı olarak belirlenmi tir.

Alternatif yönetim senaryo sonuçlarının ekonomik açıdan de erlendirmesi yukarıda her bir senaryo için gerçekleştirilmi , elde edilen sonuçlar Tablo 4.11'de belirtilmi tir.

Tablo 4.11 Alternatif yönetim senaryoları ekonomik açıdan de erlendirme sonuçları

	Yönetim Senaryoları	Yatırım Giderleri	Gelirler	F/M	Yatırım Geri Dönü Yılı
		($10^6 \$$)	($10^6 \$$)		(yıl)
BAU	A1	155,0	123,9	0,80	1,3
OPT	A1	67,4	19,0	0,28	3,6
BAU	A2	66,2	1,2	0,02	55,2
OPT	A2	12,5	0,1	0,01	104,2
BAU	A3	22,4	1,4	0,06	16,6
OPT	A3	3,4	0,1	0,04	26,2
BAU	A4	4,3	4,3	1,00	1,0
OPT	A4	4,3	4,3	1,00	1,0
BAU	A5	88,6	2,1	0,02	42,2
OPT	A5	15,9	0,2	0,02	66,3
BAU	A6	243,6	126,0	0,52	1,9
OPT	A6	83,3	19,3	0,23	4,3
BAU	A7	247,9	130,3	0,53	1,9
OPT	A7	87,6	23,6	0,27	3,7

Ayrıntılı olarak Tablo 4.11'de belirtilen de erler incelendi inde; yatırım gideri ve beraberinde getirdi i geliri en yüksek olan senaryonun, kentlerdeki içmesuyu hattının rehabilitasyonunu içeren A1 senaryosu oldu udur. Senaryodaki içmesuyu suyunun

satı bedelinin ve elde edilen gelirin yüksekli i yatırımın rantabl olmasını sağlamaktadır. Dikkat çekici di er bir konu da atıksu de arjlarının artırılmasını içeren A4 senaryosunda, sa lanan faydaların ekonomik olarak tespitinin zor olması ve belirsizlikler içermesidir. Bu nedenle ekonomik olarak de erlendirme yaparken; A4 senaryosunun çevre açısından yararının çok büyük olması nedeniyle, bu tür yatırımların ekonomik olarak rantabl oldu u ve yatırımın geri dönü yılının en dü ük oldu u kabulleri yapılmı tır.

Sonuç olarak senaryolar ekonomik olarak de erlendirildi inde birçok senaryonun birlikte uygulanmasını içeren A7 senaryosunun ekonomik açıdan; fayda/masraf oranının yüksekli i ve yatırım geri dönü yılının azlı ı nedeniyle, çevresel açıdan da; su kalitesi ve su kıtlı ı kirlili i sorunlarına da çözüm bulması sebebiyle karar vericiler tarafından tercih edilmesi daha uygun görölmektedir.

BÖLÜM BEŞ DEĞERLENDİRMELER

5.1 Genel

Tez çalışmasında su miktarı (kıtlığı) ve su kalitesi açısından havzanın gelecekteki durumunu DPSIR yaklaşımıyla irdeleyebilmek ve öngörüler yapabilmek için mevcut (BAU), iyimser (OPT) ve kötümser (PES) durumu ifade eden üç farklı senaryo oluşturulmuş, mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) senaryolar üzerinde 8 (sekiz) adet alternatif yönetim senaryoları uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Alternatif yönetim senaryolarının havza üzerindeki sonuçları, seçilen göstergeler (indikatörler) yardımıyla; su miktarı, su kalitesi ve ekonomik açıdan irdelenmiştir. Elde edilen alternatif çözümlerin *Çok Kriterli Karar Verme* yöntemleriyle; çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan değerlendirilmesiyle, karar vericilere en uygun kararın verilmesi açısından yardımcı olunması hedeflenmiştir.

Porsuk Havzası'nda uygulanan alternatif yönetim senaryolarının etkileri kapsamlı bir şekilde Bölüm 4.6 değerlendirilmiştir. Elde edilen değerlendirmelerle mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) durumlara ait sonuçlar Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de toplu halde sunulmuştur. Tablolarda; sürdürülebilirlik göstergeleri (indikatör) olarak; su miktarı açısından *kayıplar* (hm^3) ve *arz/talep (S/D) oranı*; su kirliliği açısından *BOD (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı)*, *DO (Çözünmüş Oksijen)*; ekonomik açıdan değerlendirmede *maliyet (\$)* ve *fayda/masraf (F/M) oranı* olmak üzere toplam 6 adet gösterge (indikatör) seçilmiştir.

Su kirliliği indikatörleriyle havzanın çevresel açıdan, su miktarı göstergeleriyle çevresel ve sosyal açıdan, ekonomik indikatörlerle de ekonomik açıdan irdelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de Porsuk Havzası’nda, belirlenen sürdürülebilirlik göstergelerinin kıyaslanmasıyla, alternatif yönetim senaryoları arasında en sağlıklı olanın seçilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 5.1 Alternatif yönetim senaryolarının Mevcut (BAU) durumda sonuçları

	Kayıplar (hm³)	S/D (arz/talep)	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	Maliyet (10⁶ \$)	F/M
A1	99,7	0,99	2,27	2,60	155,0	0,80
A2	168,3	0,79	2,47	2,60	66,2	0,02
A3	165,9	0,79	2,47	2,60	22,4	0,06
A4	188,4	0,75	1,93	2,27	4,3	1,00
A5	154,1	0,81	2,47	2,47	88,6	0,02
A6	65,5	0,99	2,13	2,27	243,6	0,52
A7	65,5	0,99	1,53	1,93	247,9	0,53

Tablo 5.2 Alternatif yönetim senaryolarının yetersiz (OPT) durumda sonuçları

	Kayıplar (hm³)	S/D (arz/talep)	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	Maliyet (10⁶ \$)	F/M
A1	38,8	1	1,80	2,20	67,4	0,28
A2	50,5	1	1,80	2,20	12,5	0,01
A3	50,4	1	1,80	2,20	3,4	0,01
A4	52,4	1	1,27	1,80	4,3	1,00
A5	48,5	1	1,80	2,20	15,9	0,02
A6	35,0	1	1,80	2,20	83,3	0,23
A7	35,0	1	1,27	1,67	87,6	0,27

Çalı maya ait karar probleminin hiyerarşik yapısını oluştururken, ana hedef veya amaç olarak *en uygun alternatif yönetim senaryosunun* seçimi kabul edilmiştir. Hiyerarşik yapının bir alt kademesi olan *kriterlerin (sürdürülebilirlik göstergeleri)* belirlenmesinde yukarıda da belirtildiği üzere, su miktarı açısından kayıplar (hm³) ve arz/talep (S/D) oranı, su kirliliği açısından BOD (mg/l) ve DO (mg/l), ekonomik açıdan değerlendirilmede maliyet (\$) ve fayda/masraf (F/M) oranı değerlendirilmiştir.

5.2 Analitik Hiyerar i Yöntemiyle (AHY) Karar Verme

Tez çalı masında Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerar i Yönetimiyle (AHY), en uygun alternatif yönetim senaryosunun seçimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de bulunan ana kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılmasında, bir başka deyişle önem derecelerinin belirlenmesinde, Analitik Hiyerar i Yönetimi (AHY) de değerlendirilmiştir. Kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde; bütün kriterlerin eşit öneme sahip olduğu *çevresel yaklaşım*, çevre kriterlerinin daha önemli olduğu *çevresel yaklaşım*, sosyal kriterlerin daha öncelikli olduğu *sosyal yaklaşım* ve ekonomik kriterlerinin daha önemli olduğu *ekonomik yaklaşım* değerlendirilmiştir.

Belirtilen yaklaşımlara göre, ana kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılması ve özvektörlerin hesaplanmasıyla; göreceli öncelikleri Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'de oluşturulmuştur. Eşitlikçi yaklaşıma göre yapılan özvektör hesabıyla, göreceli öncelik değerleri her bir kriter için 0,167 değerini almıştır.

Tablo 5.3 Çevresel yaklaşıma göre ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Kayıp	S/D	BOD	DO	Maliyet	F/M	Göreceli Öncelik
Kayıp	1	3/3	3/5	3/5	3	3	0,167
S/D	3/3	1	3/5	3/5	3	3	0,167
BOD	5/3	5/3	1	5/5	5	5	0,278
DO	5/3	5/3	5/5	1	5	5	0,278
Maliyet	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1	0,056
F/M	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1	0,056

Tablo 5.4 Sosyal yaklaşıma göre ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Kayıp	S/D	BOD	DO	Maliyet	F/M	Göreceli Öncelik
Kayıp	1	5/5	5/3	5/3	5	5	0,278
S/D	5/5	1	5/3	5/3	5	5	0,278
BOD	3/5	3/5	1	3/3	3	3	0,167
DO	3/5	3/5	3/3	1	3	3	0,167
Maliyet	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1	0,056
F/M	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1	0,056

Tablo 5.7 Çevresel yaklaşıma göre alternatif yönetim senaryolarının Mevcut (BAU) durumda öncelik vektörü

	Kayıplar	S/D	BOD	DO	Maliyet	F/M	Seçim Önceliği
	(0,167)	(0,167)	(0,278)	(0,278)	(0,056)	(0,056)	
A1	0,156	0,162	0,134	0,130	0,020	0,271	0,142
A2	0,092	0,129	0,123	0,130	0,047	0,007	0,110
A3	0,094	0,129	0,123	0,130	0,140	0,020	0,116
A4	0,083	0,123	0,157	0,149	0,731	0,339	0,179
A5	0,101	0,133	0,123	0,137	0,035	0,007	0,113
A6	0,237	0,162	0,142	0,149	0,013	0,176	0,158
A7	0,237	0,162	0,198	0,175	0,013	0,180	0,181
							1,000

Tablo 5.8 Sosyal yaklaşıma göre alternatif yönetim senaryolarının Mevcut (BAU) durumda öncelik vektörü

	Kayıplar	S/D	BOD	DO	Maliyet	F/M	Seçim Önceliği
	(0,278)	(0,278)	(0,167)	(0,167)	(0,056)	(0,056)	
A1	0,156	0,162	0,134	0,130	0,020	0,271	0,148
A2	0,092	0,129	0,123	0,130	0,047	0,007	0,107
A3	0,094	0,129	0,123	0,130	0,140	0,020	0,113
A4	0,083	0,123	0,157	0,149	0,731	0,339	0,167
A5	0,101	0,133	0,123	0,137	0,035	0,007	0,111
A6	0,237	0,162	0,142	0,149	0,013	0,176	0,170
A7	0,237	0,162	0,198	0,175	0,013	0,180	0,184
							1,000

Tablo 5.9 Ekonomik yaklaşıma göre alternatif yönetim senaryolarının Mevcut (BAU) durumda öncelik vektörü

	Kayıplar	S/D	BOD	DO	Maliyet	F/M	Seçim Önceliği
	(0,136)	(0,136)	(0,136)	(0,136)	(0,228)	(0,228)	
A1	0,156	0,162	0,134	0,130	0,020	0,271	0,146
A2	0,092	0,129	0,123	0,130	0,047	0,007	0,077
A3	0,094	0,129	0,123	0,130	0,140	0,020	0,101
A4	0,083	0,123	0,157	0,149	0,731	0,339	0,313
A5	0,101	0,133	0,123	0,137	0,035	0,007	0,077
A6	0,237	0,162	0,142	0,149	0,013	0,176	0,137
A7	0,237	0,162	0,198	0,175	0,013	0,180	0,149
							1,000

Aynı yaklaşımların iyimser (OPT) durumda uygulanmasıyla elde edilen öncelik vektörleri, bir başka deyişle, alternatif senaryoların karar puanları Tablo 5.10, Tablo 5.11, Tablo 5.12 ve Tablo 5.13'de gösterilmiştir.

5.3 En Uygun Senaryo Seçimi

Karar hiyerarşinin amacı olan en uygun senaryonun seçilmesi için farklı durumlarda farklı yaklaşımlarla oluşturulan öncelikler Tablo 5.14’de belirtilmiştir.

Tablo 5.14 Alternatif yönetim senaryolarının seçim öncelikleri

Senaryolar	Mevcut Durum (BAU)				iyimser Durum (OPT)			
	E itlikçi	Çevresel	Sosyal	Ekonomik	E itlikçi	Çevresel	Sosyal	Ekonomik
A1	0,145	0,143	0,148	0,146	0,123	0,132	0,137	0,116
A2	0,088	0,110	0,107	0,077	0,107	0,123	0,124	0,099
A3	0,106	0,116	0,113	0,101	0,158	0,140	0,140	0,167
A4	0,264	0,179	0,167	0,313	0,247	0,188	0,178	0,282
A5	0,089	0,113	0,111	0,077	0,105	0,123	0,124	0,095
A6	0,147	0,158	0,170	0,137	0,120	0,133	0,140	0,112
A7	0,161	0,181	0,184	0,149	0,140	0,161	0,157	0,129

Tablo 5.14’le Porsuk Havzası’nın gelecekteki mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) durumunda uygulanan yönetim senaryoları sonuçlarının, karar vericilerin farklı bakış açılarının veya yaklaşımlarının olabileceği kabulüyle, irdelenmesi ve senaryoların öncelik sırasının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.14’deki verilerden faydalanarak uygulanan yönetim senaryolarının öncelik sıralamaları oluşturulmuştur (Tablo 5.15).

Tablo 5.15 Alternatif yönetim senaryolarının öncelik sıralamaları

En Uygun Senaryo	Mevcut Durum (BAU)				iyimser Durum (OPT)			
	E itlikçi	Çevresel	Sosyal	Ekonomik	E itlikçi	Çevresel	Sosyal	Ekonomik
1. Senaryo	A4	A7	A7	A4	A4	A4	A4	A4
2. Senaryo	A7	A4	A6	A7	A3	A7	A7	A3
3. Senaryo	A6	A6	A4	A1	A7	A3	A3	A7
4. Senaryo	A1	A1	A1	A6	A1	A6	A6	A6
5. Senaryo	A3	A3	A3	A3	A6	A1	A1	A1
6. Senaryo	A5	A5	A5	A5	A2	A2	A2	A2
7. Senaryo	A2	A2	A2	A2	A5	A5	A5	A5

Tablo 5.15’de bulunan sıralamalar incelendiğinde, mevcut durumda A7 ve A4 senaryoları farklı yaklaşımlara göre birinci sıralarda yer almıştır.

Bilindi i üzere A4 senaryosu *Atıksu De arjlarının Kirlili inin Azaltılmasını*, A7 senaryosu da *çmesuyu Hatlarının Rehabilitasyonu, Sulama Sistemi Hatlarının Rehabilitasyonu, Sulama Yöntemlerinin De i imi ve Atıksu De arjlarının Kirlili inin Azaltılması* i lemlerinin birlikte yapılmasını içermektedir. A4 senaryosuyla havzanın sadece su kirlili i sorunlarına çözüm bulunmakta, su miktarına veya su kıtlı ına çözüm getirilmemektedir. A7 yönetim senaryosu ise her iki soruna da kapsamlı bir eilde çözüm yolu bulmaktadır. Çevresel ve sosyal yakla ıma göre olu turulan öncelik sıralamasında, su kirlili i ve su kıtlı ı kriterlerinin (gösterge) önem dereceleri daha fazla oldu undan, her iki yakla ımda da A7 yönetim senaryosu öncelikli karar olmu tur.

A7 senaryosunun maliyetinin, A4 senaryosuna kıyasla çok yüksek olması nedeniyle, e itlikçi ve ekonomik yakla ıma göre olu turulan sıralamada; A4 senaryosu A7 senaryosundan önde yer almı tır.

iyimser (OPT) durumda ise, mevcut (BAU) duruma kıyasla su miktarı probleminin büyüklü ünün yakla ık yarı yarıya az olması ve iyimser durumda bütün taleplerin kar ılanıyor olması nedenleriyle, A4 senaryosu karar önceli inin ilk sırasında yer almı tır. Buradan çıkarılabilecek en önemli sonuçlardan biri, hangi durumda olursa olsun havzada A4 senaryosunun, bir ba ka deyi le atıksu de arjlarının yarattı ı kirlili inin azaltılması i leminin, tek ba ına veya di er senaryolarla birlikte uygulanma gereklili idir. Kısaca, A4 senaryosu mutlaka eylem planlarının içerisinde yer almalıdır.

Mevcut (BAU) durum için A7 ve A4 senaryolarından sonra A6 senaryosu, iyimser durum içinse A3 senaryosu ön plana çıkmı tır. *çmesuyu Hatlarının Rehabilitasyonu, Sulama Sistemi Hatlarının Rehabilitasyonu ve Sulama Yöntemlerinin De i imi* i lemlerini içeren A6 senaryosu do rudan su miktarı sorunlarına, dolaylı olarak da su kirlili i problemlerine çözüm bulmaktadır. Su miktarı kriterlerinin (gösterge) önem derecelerinin yüksek oldu u sosyal yakla ıma göre olu turulan sıralamada, A6 senaryosunun öncelik sıralaması daha yüksekte bulunmaktadır.

İyimser (OPT) durumda ise, *Sulama Yöntemlerinin Değişimi* işlerini içeren A3 senaryosu öncelikli kararlar arasında üst sıralarda bulunmaktadır. A3 senaryosunun iyimser (OPT) durumdaki yatırım maliyetinin (daha az yatırım), mevcut (BAU) durumda yatırım maliyetinden oldukça düşük olması A3 senaryosunun ekonomik açıdan değerlendirmede öncelik sırasının artmasına neden olmuştur

İçmesuyu Hatlarının Rehabilitasyonunu içeren A1 senaryosu ise her iki durumda öncelik sıralamasında orta sıralarda yer almaktadır. A1 senaryosunun gelirinin yüksek ve yatırımın geri dönüş yılının az olması, ekonomik yaklaşımda diğer yaklaşımlara kıyasla öncelikli olmasını sağlamıştır, ancak tek başına bu senaryonun uygulanması sorunların çözümünde yeterli olamamıştır.

Sulama Sistemi Hatlarının Rehabilitasyonu senaryo A2 ve *Sulama Sistemi Hatlarının Rehabilitasyonu ve Sulama Yöntemlerinin Değişimi* senaryo A5 öncelik sıralamasında üst sıralarda yer alamamıştır. Bunun en önemli nedeni her iki senaryonun da sadece sulamaya yönelik önlemleri kapsamasıdır. Havzanın karşılaştığı problemlerin oluşumunda sulama talep bölgelerinin yanısıra, Eskişehir ve Kütahya gibi içmesuyu talep bölgelerinin de bulunması, bu bölgelerin sorunlarının en az sulama talep bölgelerinkine kadar karmaşık ve zor olması, A2 ve A5 senaryolarının havzanın problemlerinin geneline çözüm bulamamasına yol açmıştır.

Özetlemek gerekirse Porsuk Havzası'nın sorunlarının çözümünde;

1. Su miktarı probleminin büyük olduğu mevcut durumun süregeldiği kabul edilen (BAU) durumda A7 senaryosu,
2. İyimser bir bakış açısıyla su miktarı probleminin daha az sıkıntılı olduğu kabul edilen iyimser (OPT) durumda A4 senaryosu,

seçimlerinin doğru olacağı yapılan Çok Kriterli Karar Verme yöntemi analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda su kaynaklarının güvenilir ve etkin yönetimi, entegre havza yönetim sistemlerinde DPSIR yaklaşımı gibi karar verme yöntemlerinin uygulanmasını gerektirmiştir. DPSIR yaklaşımı, sorunlu bir havza olan Porsuk Havzası üzerinde uygulanarak sürücü güçler (D), güçlerin sistem üzerinde oluşturduğu baskılar (P) ve sistemin baskı altındaki durumu (S) belirlenmiş, alternatif senaryolar oluşturularak sistemin etkileri (I) ve tepkileri (R) ortaya konmuştur. Yaklaşımdan elde edilen sonuçlara göre, gelecekte beklenen olası durumlarda Havza; su kirliliği ve su miktarı (kıtlığı) açısından kapsamlı bir şekilde QUAL2K ve WEAP modeli kullanılarak irdelenmiş, öngörüler yapabilmek için mevcut, iyimser ve kötümser durumu ifade eden üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Her üç senaryo için elde edilen sonuçlardan, havzanın 2050 yılındaki durumunun su kalitesi ve su kirliliği açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmadığı tespit edilmiştir. Alınması gereken önlemler ışığında havzanın mevcut (BAU) ve iyimser (OPT) durumuna ait olmak üzere alternatif yönetim senaryoları oluşturulmuştur.

2050 yılında havzada önemli oranda kayıp ve karşılanamayan su ihtiyacı, yoğun kirlilik taşıyan su, kirli ve çok kirli su sınıfına giren su kalite değerleri görülmüştür. Bu durum havzada acilen önlem alınmasını gerekli kılmıştır. Bu durumda havzada yapılması gerekenleri irdelemek amacıyla A0 (hiçbirşey yapmamak) dahil olmak üzere toplam 8 adet alternatif yönetim senaryosu oluşturulmuştur. Her bir alternatif senaryonun etkilerinin çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan incelenmesi için etkili göstergeler (indikatör) belirlenmiştir.

Sonuçlara göre, havzanın A0 durumunda, bir başka deyişle hiçbir önlemin alınmadığı durumda, çok büyük sıkıntılar oluşmaktadır. Kent içi içmesuyu dağıtım hatlarındaki yüksek oranda kayıplar, su kullanım taleplerinin artışı ve çeşitlenmesi, sulama alanlarındaki iletim hatlarının yetersizliği, kayıplarının fazlalığı, yanlış sulama yöntemlerinin seçimi gibi etkenler su miktarı yönünden; evsel, tarımsal, endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan ve “Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinin”

(SKKY) standardının çok üzerinde olan de arjlar da su kirlili i açısından problemler do urmu tur.

Alternatif yönetim senaryolarından içmesuyu hatlarının rehabilitasyonunu içeren A1 senaryosunun öngördü ü içmesuyu yatırımları, su miktarı problemlerinin çözümü açısından çok önemli bir yere sahiptir. Kentlerdeki içmesuyu kayıplarının büyük oranda azaltılmasıyla, içmesuyu açısından önemli miktarda tasarruf sa lanmaktadır. Tasarruf edilen içmesuyunun; ekonomik tutarı, tasarruf edilen miktar kadar daha az suyun arıtılması ve beraberinde arıtma bedelindeki azalı , yatırımın ekonomikli ini arttırmaktadır. Elde edilen sonuçlar, A1 senaryosunun gelirlerinin yüksekli i nedeniyle yatırımın rantabl ve geri dönü yılının çok kısa oldu unu göstermi tir.

Kütahya ilinin su ihtiyacını kar ılayan ve Porsuk Çayı'na mansaplanan Porsuk Kaynakları'nın gelecekte yetersiz kalaca ı görülmü tür. Bu nedenle, Kütahya ilinin içmesuyu ihtiyacının kar ılanması amacıyla yeni su kaynaklarının tespitine yönelik planlamaların yapılması gerekli olmaktadır. çme ve kullanma suyu iletim ve da ıtım hatlarındaki yakla ık %60 seviyesindeki kayıpların, yapılacak rehabilitasyon ve yenileme çalı malarıyla azaltılması, Porsuk Kaynakları gibi i letme maliyetleri artırılmı suyu göre daha dü ük kaynakların daha uzun süre kullanılmasını sa lamaktadır. Ayrıca yapılan bu çalı malar, Devlet Su leri (DS) ile Eski ehir Büyük ehir Belediyesi arasındaki protokoller uyarınca Eski ehir Kentinin çme ve kullanma ihtiyacı için Porsuk Çayı'ndan ayrılan 100 hm³/yıl sudan Eski ehir ilinin faydalanma süresini artırmaktadır.

A2 sulama sistemi hatlarının rehabilitasyonu ve A3 sulama yöntemlerinin de i imi senaryoları; tarımsal talep bölgelerinin su ihtiyaçlarının kar ılanması açısından önem arz etmektedir. Etkin sulama, su tasarrufu sa lamanın yanında beraberinde ürün çe itlili i ve ürün artı ı getirmekte, ekonomik açıdan katkı sa lamaktadır. Ancak tez çalı masında ekonomik açıdan de erlendirme yapılırken, sadece tasarruf edilen suyun sulama bedeli üzerinden tutarı gelir olarak de erlendirilmis tir. Ürün çe itlili i, ürün artı ı ve beraberinde getirdi i gelir de göz önüne alındı ında, A2 ve A3 senaryolarının fayda/masraf oranlarının tez

çalı masında belirlenenlerden daha yüksek olacağı düşünülmektedir. Sulama kayıplarının azalması, ayrıca tarımsal kaynaklı de arjları azaltmakta, su kirliliği problemlerinin çözümünde yardımcı olmaktadır. Etkin sulamanın demografik ve sosyal boyutu da değerlendirildiğinde senaryoların önemi bir kat daha artmaktadır. A2 ve A3 senaryolarına göre; Eskişehir ve Kütahya sulamalarında iletim ve dağıtım hatları kayıplarının, yapılacak iyileştirmelerle azaltılması ve halihazırdaki klasik sulama sistemlerinden daha az kayıplara sahip borulu sulama sistemlerine geçilmesi, talep bölgelerinde oluşacak kısıtları azaltacaktır.

A4 de arjlardan oluşan kirliliğin azaltılması senaryosu, havzanın su kirliliği problemlerinin çözümü açısından kaçınılmazdır. SKKY sınıflarına göre su isteniyorsa mutlaka arıtma yapılmalıdır. Diğer senaryolar (A1, A2, A3), kullanılan su miktarlarını azaltmalarına rağmen su kirliliği açısından pek önemli etki yaratmamaktadırlar. Elde edilen sonuçlara göre, kirlilik sorununun çözümü için alınması gereken öncelikli önlemin, özellikle kent çıkışında de arj edilen yoğun kirliliklerin etkili arıtma sistemleriyle azaltılması, kabul edilebilir seviyelere getirilmesi olduğu düşünülmektedir. Özellikle organize sanayi bölgelerinden gelen endüstriyel de arjları kirlilik yükü açısından azaltmak ve arıtma kullanımını özendirmek için teşvik edici kararların alınması gerekmektedir. Porsuk Çayı su kalitesinin düzelmesi, özellikle Eskişehir ili çıkışından sonraki sulamalarda sulama oranlarını arttırmak ve daha sağlıklı sularla sulama yapmak açısından önemlidir. Ayrıca içmesuyu kaynağı olarak kullanılan ve gelecekte bazı talep bölgeleri için de kullanılması düşünülen Porsuk Çayı hamsu kalitesinin yüksek olması, içmesuyu arıtma maliyetinin azalmasına yüksek seviyede katkı sağlamaktadır.

A1, A2, A3 ve A4 senaryolarının her birisinin tek başına uygulanmasının yanı sıra A5, A6 ve A7 senaryolarıyla senaryoların birlikte uygulanması seçenekleri değerlendirilmiştir.

A5 senaryosu, A2 ve A3 senaryosunun birlikte uygulanmasını içermekte, havzanın sulama bölgelerinden kaynaklanan sorunlarına çözüm bulmaya çalışmaktadır. Sulama bölgesine ait önlemleri içeren A5 senaryosu, içmesuyu

ihtiyacı ve kirliliğe yönelik sorunların çözümünde bağımlı olamamı , senaryoların öncelik sıralamalarında son sıralarda yer almı tır.

A6 senaryosu ise A2 ve A3 senaryolarının yanında içmesuyu rehabilitasyonunu da içeren A1 senaryosunun da katılımıyla bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Su miktarı açısından sorunların çözümünde oldukça etkili olmu , bunun yanında su kirliliği açısından A7 ve A4 senaryosu kadar bağımlı olamamı tır.

Bir önceki bölümde sunulan sonuçlardan da görüleceği gibi, en iyi veya en uygun seçenek A1, A2, A3 ve A4 senaryolarının birlikte uygulandığı A7 senaryosudur. A7 senaryosu, içmesuyu hatları ve sulama sistemi hatlarının rehabilitasyonu ile sulama yöntemlerinin de iyileştirilmesi ve de arızaların kirliliğinin azaltılmasının birlikte uygulandığı hem miktar hem kalite yönünden etki eden senaryoların bir araya getirildiği, ilk yatırım bedeli yüksek ancak en etkili sonuçları veren senaryo seçeneğidir.

Yukarıda belirtildiği üzere, Havzanın sorunlarına kapsamlı ve uzun süreli çözümler bulabilmek ve havzayı sürdürülebilir kılmak için A7 senaryosunun uygulanması en etkin çözüm olacaktır. Bu senaryo ile, ilave açılacak sulama alanları ve ekstrem nüfus artımları nedeniyle oluşacak muhtemel taleplerin karşılanması ve su kalitesinin kabul edilebilir sınıflarda olması mümkün olabilecektir. Alternatif yönetim senaryo sonuçlarının etkilikçi, çevresel, sosyal ve ekonomik bakımlarıyla değerlendirilmesiyle, karar vericinin farklı yönlerden değerlendirme yapabilmesi fırsatını sağlamaktadır.

Sonuç olarak, Porsuk Havzası'na benzer havzaların sorunlarının çözümünde; konunun Entegre Yönetim yaklaşımıyla bir bütün olarak ele alınması; su miktarı (kısıtlı) ve su kirliliği konularının farklı bakımlarıyla birlikte değerlendirilmesi; çözüm arayışında ilgili devlet kurumları, belediyeler, özel sektör, sivil toplum örgütleri gibi mümkün olan tüm paydaşların süreçte yer almasının sağlanması; çözüm için yapılması gerekenlerin en kısa sürede ve en etkili şekilde gerçekleştirilmesi; sonuçların sürekli olarak takip edilmesi ve en önemlisi de su sorunları hakkında toplumsal bilincin oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Ambrose, R., Wool, Tıw, A. ve Martin, J.L. (1993). *The water quality analysis simulation program WASP 5: Model documentation*. Environmental Research Laboratory US EPA. Athens, Georgia, USA.
- Akkaya, C., Efeoğlu, A. ve Yeşil, N. (2006). Avrupa Birliği su çerçeve direktifi ve Türkiye’de uygulanabilirliği. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, 195-204.
- Algan, N. ve Dündar, AK. (2005). Türkiye’nin çevre konusunda verdiği sözler. *Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, Sayı 8, Tubitak Matbaası, Ankara*.
- Armacost, L.R., Componation, P.J., Mullens, M.A. ve Start ,W. (1994). An AHY framework for prioritizing customer requirements in QFD: an industrialized housing application. *IIE Transactions*, 26.
- Bayazıt, M. (1998). *Hidrolojik Modeller*. İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Blackmore D.J. (1995). Murray Darling Basin Comission: A case study in integrated catchment management. *Permagon, Water Science and Technology* ,32(5-6), 15-26.
- Bowen, R. ve Riley, C. (2003). Socio-economic indicators and integrated coastal management. *Ocean Coastal Management*, 299-312.
- Brans, J.P. ve Vincke, P. (1985). A preference ranking organization method: The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, (31).
- Brown, L.C. ve Barnwell, T. (1987). The enhanced stream water quality models QUALE-2E-UNCAS: Documentation and user manual. *Environmental Research Laboratory US EPA. Athens, Georgia, USA*.

- Camp, A., Dresser, H. ve Mc Kee, L. (1972). *Stream water quality models QUALE-2*. US EPA. Athens, Georgia, USA.
- Carr, E.R., Wingard, P., Yorty, S., Thompson, M., Jensen, N. ve Roberson, J. (2007). Applying DPSIR to sustainable development. *international journal of sustainable development world ecology*, 543-555.
- Cave, R.R., Ledoux, L., Turner, K., Jickells, T., Andrews, J.E ve Davies, H. (2003). The Humber catchment and its coastal area: from UK to european perspectives. *The Science of the Total Environment (314-316)*, 31–52.
- Chapra, S.C., Pelletier, G.J. ve Tao, H. (2007). *QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality, version 2.07: Documentation and Users Manual*.
- Chapra, S. ve Pelletier, G. (2003). *QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality. Documentation and users manual*. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University.
- Chen, Y.C., Lien, H.P. ve Tzeng, G.H. (2010). Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model. *Expert Systems with Applications (37)*, 926–938.
- Chen, S.J. ve Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer –Verlag- Berlin.
- Cobourn, J. (1999). Integrated watershed Mmanagement on the Truckee River in Nevada. *Journal of the American Water Resources Association. (35)*, 623-632.
- Coşkun, Z., (2008). Basınçlı sulama yöntemleri ve su tasarrufu. 5. *Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları Sulama-Drenaj Konferans Bildiri Kitabı, Adana, 279-293*.

- Çakmak, B., Yıldırım, M. ve Aküzüm, T., (2008). Türkiye’de tarımsal sulama yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, 215-224.
- Çetin, H. C. ve Harmancıoğlu, N. (2007). Porsuk Havzası entegre yönetiminde DPSIR yaklaşımının uygulanması. *V. Ulusal Hidroloji Kongresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.*
- Çetinkaya, C.P., Fıstıkoğlu, O., Fedra, K. ve Harmancıoğlu, N. (2007). Optimization methods applied for sustainable management of water-scarce basins. *Journal of Hydroinformatics.*
- Çetinkaya, C.P. (2007). *Spatial optimization of hydrologic monitoring networks on rivers optimization, PhD Thesis.* Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University.
- Dağdeviren, M. ve Eraslan, E. (2008). PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der. (23-1).*
- Dalkılıç, Y. ve Harmancıoğlu, N. (2008). Avrupa Birliği su çerçeve direktifinin Türkiye’de uygulama olanakları. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, 415-424.
- Di Toro, D. M. (1983). *Water quality analysis program.* Environmental Research Laboratory US EPA. Athens, Georgia, USA.
- DSİ [Devlet Su İşleri], (2004). *2004 yılı DSİ’ce işletilen ve devredilen sulama tesisleri değerlendirme raporu.* Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- DSİ [Devlet Su İşleri], (2001). *Porsuk Havzası su yönetim planı projesi raporu.* Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir; Su/Yapı Mühendislik-Müşavirlik A.Ş., Ankara.

- DSİ [Devlet Su İşleri], (1999). *Porsuk Havzasında 1997-1998 yılları su kalite değerlendirmeleri*. Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü-Eskişehir.
- Duman S., (2010). *Değerlendirme-görüş*. Devlet Su İşleri 23. Şube Müdürlüğü İşletme ve Bakım Baş Mühendisi, Uşak.
- EC, (2000). *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the council of 23 october, establishing a framework for community action in the field of water policy*. Water Framework Directive.
- Eder, G., Duckstein, L. ve Nachtnebel, H.P. (1997). Ranking water resource projects and evaluating criteria by multicriterion Q-analysis: An Austrian case study. *Journal Of Multi-Criteria Decision Analysis*, (6), 259-271.
- EEA, (1999). *Environmental indicators: typology and overview*, "European Environmental Agency". European Environmental Agency Technical Report No.25.
- Efelerli, S. ve Büyükerşen, Y. (2006). Porsuk Havzası su yönetimi ve Eskişehir örneği. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, 451-459.
- Eroğlu, V., Erşen, R., Yinanç, A., Ceyhan, M., Özdemir, Ö. ve Özçakıl, M. (2002). İstanbul Tuzla Havzası çevre koruma projesi. *I. Türkiye Yerel Yönetimler Su Sorunları Kongresi, Su Vakfı, İstanbul*, 105-109.
- Ertuğrul, Z. (2002). İçmesuyu temini. *I. Türkiye Yerel Yönetimler Su Sorunları Kongresi, Su Vakfı, İstanbul*, 105-109.
- Ertürk, O., (2007). Gelecek nesillerin kusur istemeyen mirası:su. *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi-TİKDEK, İstanbul*, 161-167.

- EUROCAT (2000). River/Coast Integration in European Regional Seas, “European Catchments Catchment Changes and Their Impact on the Coast” (EUROCAT), cofunded by the European Commission FP5 Programme.
- Fan, C., Ko, C.H. ve Wang, W.S. (2009). An innovative modeling approach using QUAL2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on river water quality simulation. *Journal of Environmental Management* (2009), 1–9.
- Finnemore, E.J. ve Franzini, J.B. (2002). *Fluid Mechanics with Engineering Applications*. 10th Ed. New York, McGraw, Hill.
- Giupponi, C., Crimi, J., ve Mysiak, J. (2006). Participatory approach in decision making processes for water resources management in the Mediterranean Basin. *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Papers*, 7.
- Giupponi, C. (2002). from the DPSIR reporting framework to a system for a dynamic and integrated decision making process. *MULINO conference on “European Policy and Tools for Sustainable Water Management” Italy*.
- Göncü, S. (2001). *Seydi Suyu ’nda azot ve fosfor döngüsünün modellenmesi*. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Grigg, N.S. (1999). Integrated water resources management: Who should pay?. *Journal of American Water Resources Association*, (35), 527-534.
- Grontmij (2003). *Uygulama el kitabı, su çerçeve direktifinin Türkiye’de uygulanması*. Grontmij Advies & Techniek bv Vestiging UtrechtHouten, Revision F1.
- Hajkowicz, S. ve Higgins, A. (2008). Decision support a comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research* (184-2008), 255–265.

- Harmancıoğlu, N., Fedra, K. ve Barbaros, F. (2008). Analysis for sustainability in management of water scarce basins: the case of the Gediz River Basin in Turkey. *Desalination*, (226, 175–182.
- Harmancıoğlu, N. (2004). Su kaynaklarının yönetiminde sürdürülebilirlik göstergeleri. *IV. Ulusal Hidroloji Kongresi Hidrolojide Yeni Yöntemler Semineri, İT İsaat Fakültesi, İstanbul.*
- Harmancıoğlu, N., Fıstıkoğlu, O., zkul, S., Onuluel, G., Gül, A. ve etinkaya, C. (2003). *Su kaynakları yönetimi ders notları.*
- Harmancıoğlu, N. ve zkul, S. (1996). Su kaynakları yönetiminde bilgisayar modellerinin kullanılması. *İT İsaat Fakültesi İsaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı V. Sempozyumu.*
- Hasgl S. (2010). *Analitik Hiyerari Ders Notları.* Osmangazi Üniversitesi, Eskiehir.
- Hassanin, S.A.K. (2007). Evaluation of water quality of Elnasr-3 main drain in Egypt Using QUAL2K model. *Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11 2007 Sharm El-Sheikh, Egypt.*
- Hirsch, R.M. ve Slack, J.R. (1984). A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, (2-6-1984), 727-732.
- Hwang, C.L. ve Yoon P. (1981). *Multiple attribute decision making in: lecture notes in economics and mathematical systems.* Springer-Verlag-Berlin.
- Johannesburg Summit, (2002). World summit on sustainable development, Johannesburg, South Africa. Deliverable, <http://www.johannesburgsummit.org>.

- Joubert, A., Stewart, T. ve Eberhard, R. (2003). Evaluation of water supply augmentation and water demand management options for the city of CapeTown. *Journal Of Multi-Criteria Decision Analysis* (12), 17–25.
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R ve Pelletier G.J. (2007). Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. *Ecological Modelling* (202), 503-517.
- Kocamustafaoğulları, E. (8 Ocak 2007). *Çok amaçlı karar verme yöntemleri*. Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı (TEPAV) Kamu Yönetiminde Modern Karar Destek Araçları semineri, Ankara. 10 Aralık 2010, <http://www.tepav.org.tr>
- Kuruüzüm, A. ve Atsan, N. (2001). Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi* (1-2001), 83-105.
- Langeweg, F. (1998). The implementation of Agenda 21 ‘our common failure’?. *The Science of the Total Environment*, (218).
- Lourenço, N. (2001). Equity, human security and environment: key elements of sustainable development. *Coastin. A Coastal Policy Research Newsletter*.
- Maia, R. ve Schumann, A.H. (2007). DSS application to the development of water management strategies in Ribeiras do Algarve River Basin. *Water Resources Management* (2007-21), 897–907.
- Markland, R.E. (1989). *Topics in management science*. John Wiley&Sons Inc., New York.
- Mash, F.D. (1970). *Water quality model QUAL-1*. Texas Water Development Board, USA.
- Millet, I. (1998). Ethical decision making using the analytic hierarchy process. *Journal of Business Ethics*, 17.

- MULINO (2004). *Multi-sectoral, integrated and operational decision support system for the sustainable use of water resources at the catchment scale final report*. funded under the Fifth Framework Programme of the European Union (EVK1-2000-00082). Deliverable, <http://www.feem.it/web/loc/mulino/>.
- Munda, G. (2005). Multi-criteria decision analysis and sustainable development, in J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (eds.). *Multiple-criteria decision analysis. State of the art surveys, Springer International Series in Operations Research and Management Science, New York*.
- Mysiak, J., Giupponi, C. ve Rosato, P. (2005). Towards the development of a decision support system for water resource management. *Environmental Modelling & Software (20)*, 203-214.
- Mysiak, J. (2001). Development of transferable multicriteria decision tools for water resource management.
- OECD (1994). *Environmental indicators-OECD core set. Organisation for Economic Cooperation and Development*.
- OPTIMA, (2006). Regional Case Study: Gediz River Basin, Problem Analysis, "Optimisation for Sustainable Water Resources Management" (OPTIMA), cofunded by the European Commission FP6 Programme, 2002-2006. Project document: Deliverable D08.1, <http://www.ess.co.at/OPTIMA>
- Orhon, D., Sözen, S., Üstün, B., Görgün, E. ve Gül, Ö. (2002). *Su Yönetimi ve Sürdürülebilir Kalkınma Ön Rapor*. Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli.
- Önder, S., Kanber, R., Ünlü, M. ve Önder, D. (2008). Klasik ve modern sulama yöntemlerinin su kullanma randımanlarının incelenmesi. 5. *Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci DSİ Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları Sulama-Drenaj Konferans Bildiri Kitabı, Adana*, 53-66.

- Özkaynak, B. (2007). *Çok kriterli değerlendirme (multi-criteria evaluation)*. Sürdürülebilir Kalkınmanın Sektörel Politikalara Entegrasyonu Projesi Eğitim Programı, Ankara.
- Pallottino, S., Sechi, G. ve Zuddas, P. (2005). A DSS for water resources management under uncertainty by scenario analysis. *Environmental Modelling & Software (20)*, 1031–1042.
- Radif, A.A. (1999). Integrated water resources management (IWRM): an approach to face the challenges of the next century and to avert future crises. *Desalination, (124)*, 145–153.
- Rangone, A. (1996). An analytic hierarchy process framework for comparing the overall performance of manufacturing departments. *International Journal of Operation and Production Management, 16*.
- Raju, K.S. ve Kumar, D.N. (1999). Multicriterion decision making in irrigation planning. *Agricultural Systems (62)*, 117-129.
- Rekolainen, S., Kamari, J. ve Hiltunen, M., (2003). A conceptual framework for identifying the need and role of models in the implementation of the water framework directive. *Intl. J. River Basin Management, (1)*, 347-352.
- Rivertwin EU Programme, (2006). A regional model for integrated water management in twinned river basins (Rivertwin). funded by European Commission FP6 Programme.
- Roy, B. (1991). *The outranking approach and the foundation of ELECTRE methods*. Theory and Decision, (31), 49-73.
- Saaty, L. T. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. RWS Publications, Pittsburgh.

- Saaty, L. T. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill Comp., U.S.A.
- Samsunlu, A. (1999). *Çevre mühendisliği kimyası*. SAM-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- Scheren, P.A.G.M, Kroeze, C., Janssen, F.J.J.G, Hordijk, L. ve Ptasiniski K.J. (2004). Integrated water pollution assessment of the Ebrie' Lagoon, Ivory Coast, West Africa. *Journal of Marine Systems* (44), 1– 17.
- SEI, Stockholm Environment Institute (2007). *WEAP water evaluation and planning system (user guide for WEAP21)*. Stockholm Environmental Institute, U.S. Center.
- Sipahioğlu, A. (2008). *Analitik hiyerarşi süreci (AHP) ders notları*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- SKKY, (2008). *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Kıtaiçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri*. 13.02.2008 tarih ve 26786 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- SMART, (2005). Regional Case Study: Gediz River Basin, Turkey, “Sustainable Management of Scarce Resources in the Coastal Zone” (SMART), supported by 114 the European Commission FP5 Programme (Contract number: ICA3-CT-2002), 2002-2005. Project document: Deliverable D05.1, <http://www.ess.co.at/SMART>.
- Sowinski, M. ve Neugebauer, A. (2007). Calibration of water quality model “WODA” case study of the Warta River. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, (15-2), 93-98.

Srdjevic, B., Medeiros, Y.P ve Faria, A.S (2004). An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water Resources Management (18)*, 35-54.

Streeter, H.W ve Phelps, E.B. (1925). A study of the pollution and nutrial purification of the Ohio River. *US Public Health Service, Public Health Bulletin, (146)*.

SUMER (2006). *Gediz Havzası'nın İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde kalan bölümünde kirlilik etüdü projesi. II. Ara Rapor.*

Trajkovic, S., Avakumovic, D. ve Opricovic, S. (1997). Multicriteria optimization of an irrigation system. *University of Niš The Scientific Journal Facta Universitatis Series: Architecture And Civil Engineering (1-4)*, 547-552.

TUBİTAK (2012). *Havza koruma eylem planlarının hazırlanması projesi.* TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü, Gebze-Kocaeli. <http://www.mam.gov.tr/>.

Turkey Country Report (2003). *Turkey country report prepared for the 3rd world water forum march 2003.* Republic of Turkey.

UÇEP (1997). *Ulusal Çevre Eylem Planı-UÇEP.* Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

UN (2003). *The United Nations World Water Development Report.* World Water Assesment Programme.

UN (2000). *The United Nations millenium declaration.* The Millenium Assembly of the United Nations.

- UN (1997). *Division for sustainable development from theory environmental indicators: typology and overview*, "European Environmental Agency". European Environmental Agency Technical Report (25).
- UN (1992a). *The Dublin statement and report of the conference*. International Conference on Water and the Environment.
- UN (1992b). *Rio de Janerio-Report of the United Nations Conference on environment and development*. International Conference on Water and the Environment.
- Vargas, L. G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research*, (48), 2-8.
- Van Zyl, F.C. (1995). Integrated catchment management: Is it wishful thinking or can it succeed?. *Permagon, Water Science and Technology* ,(32-5-6), 27-35.
- Wind, Y. ve Saaty, T. (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management Science*, (26), 61-658.
- WRDMAP, Water Resources Demand Management Assistance Project (2007). *Water resources demand management assistance project status bulletin*. DFID, Department for International Development.
- WSM, Water Strategy Man Project (2001). Developing strategies fir regulating and managing water resources and demand in water deficient regions (WSM) - supported by the European Commission under the Fifth Framework Programme River Basin, Contract no, EVK1-CT-2001-00098.
- WWF5 (2009). *World water final report*. 5th World Water Forum, İstanbul.

- WorldWater5 (2009). *Dünya su forumu bülteni*. 5. Dünya Su Forumu Sekretaryası ve Uluslararası Sürdürülebilirlik Gelişme Enstitüsü.
- Yılmaz, B. (2009). *Multi criteria decision analysis for water resources management in the Gediz River Basin, PhD Thesis*. Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Yoon, K.P. ve Hwang, C.L. (1995). Multiple attribute decision making: An introduction. *Sage University Paper series on Quantative Applications in the Social Sciences, Thousand Oaks, CA*.
- Yurdakul, M. ve İç, Y.T. (2003). Türk otomotiv firmalarının performans ölçümü ve analizine yönelik TOPSIS yöntemini kullanarak bir örnek çalışma. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*(18-1).
- Yüceer, A. ve İnkayalı, N.G. (2004). Aşağı Seyhan Nehri su kalitesi değişiminin QUAL2E modeli ile incelenmesi. (14-3), 1-8.
- Zahedi, F. (1986). The analytical hierarchy process-a survey of the method and its applications. *Interfaces*, 16 (4), 96-108.
- Zarghami, M., Abrishamchi, A. ve Ardakanian, R. (2008). Multi-criteria decision making for integrated urban water management. *Water Resources Management* (22), 1017–1029.