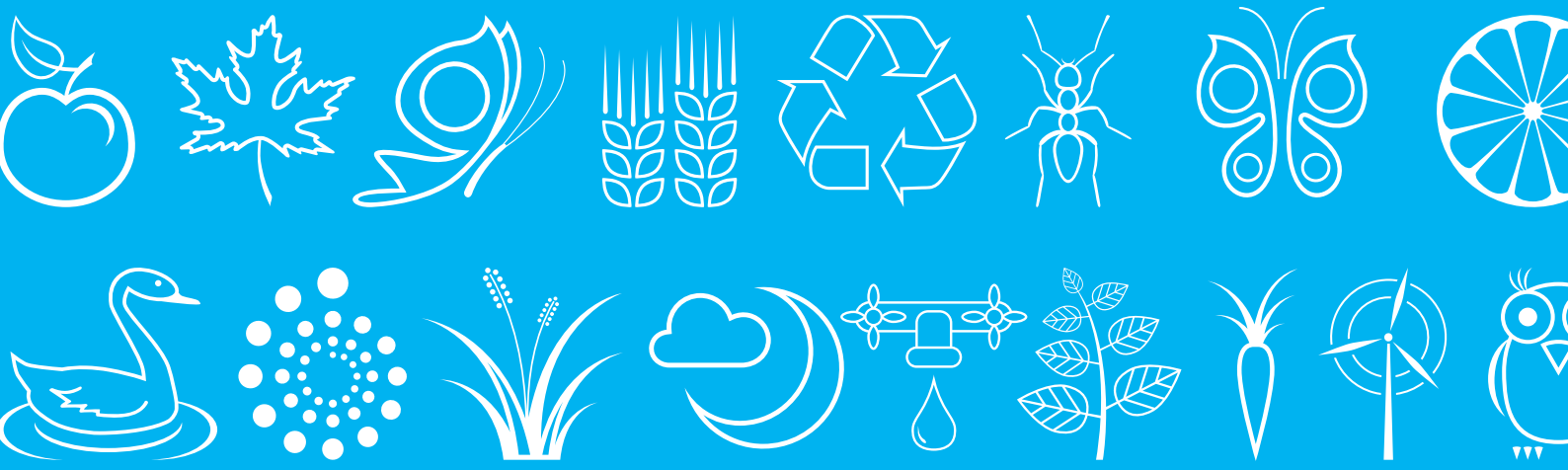




T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı
Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü

Sulak Alanlar

**© Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü,
Hassas Alanlar Dairesi Başkanlığı, Sulak Alanlar Şube Müdürlüğü, 2013**

Söğütözü Caddesi No: 14/E Beştepe, Ankara, Türkiye
Telefon: 0 312 207 59 10/ 0 312 207 59 07
Faks : 0 312 207 59 59
www.milliparklar.gov.tr

Bu kitabın her hakkı saklıdır.

Tamamen ya da kısmen çoğaltılması ve metindeki bilgilerin kullanılması yazılı izni alınmadıkça mümkün değildir. Bilimsel araştırma, tez, makale, kitap ve benzeri eserlerde, kitabın ve kurumun tam adı belirtilerek atıf yapılabilir. Bu yayın, sulak alanlar hakkında eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları kapsamında sulak alanlarla ilgili çalışan her kesimin bilgilendirilmesi ve bilinçlendirilmesi amaçlı hazırlanmıştır.

Editörler

Dr. B. Teoman MERİÇ
Serhan ÇAĞIRANKAYA

Katkı Verenler

Ramazan DİKYAR
Mehmet GÖLGE
İlknur KAYNAK
Yasin KÖYCÜ

Ön Kapaktaki Fotoğraflar

Ali İhsan GÜLCÜ, Ersan BERBEROĞLU, Mustafa Sabri TÜRKAY,
Osman ERDEM, Serhan ÇAĞIRANKAYA, Tamer YILMAZ

Basım

Kayıhan Ajans Turizm İnş. San. Tic. Ltd. Şti., Ankara, 2013

Hoşdere Caddesi No: 201/9 Çankaya-ANKARA
0 312 442 72 72 (pbx)/ 0 312 426 86 86
www.kayihanajans.com

Grafik Tasarım

Tuğçe Gür

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	3
1. Sulak Alan Kavramı, Sulak Alan nedir? Sulak Alan Sınıflandırması	7
<i>Serhan ÇAĞIRANKAYA</i>	
<i>Fatih KÖYLÜOĞLU</i>	
2. Sulak Alan Hidrolojisi.....	39
<i>Dr. Harun AYDIN</i>	
<i>Dr. Hüseyin KARAKUŞ</i>	
<i>Dr. B.Teoman MERİÇ</i>	
3. Sulak Alanların Önemi, İşlev ve Değerleri.....	67
<i>Osman ERDEM</i>	
4. Sulak Alan Mevzuatı	81
<i>Şerif HIZLI</i>	
<i>Yusuf CERAN</i>	
<i>Dr. B.Teoman MERİÇ</i>	
5. Türkiye’de ve Dünya’da Sulak Alanlar	97
<i>Burcu ÜNAL</i>	
6. Sulak Alanlarda Planlama	127
<i>Serhan ÇAĞIRANKAYA</i>	
<i>Dr. B. Teoman MERİÇ</i>	
<i>S. Hakan ERDEN</i>	
7. Sulak Alanların Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi	147
<i>Adem BİLGİN</i>	

2. SULAK ALAN HİDROLOJİSİ

2. 1. Giriş

Dünyamızda, canlıların yaşamını devam ettirmek için suyu kullanma ve kontrol altına alma isteği, insanlık tarihinin başlangıcından beri var olmuştur. Dolayısı ile yüzey, yeraltı ve atmosferde bulunan suyun, genel özelliklerini ve hareketini yöneten kuramları tanımlamak, oluşturabileceği tehlikeleri belirlemek ve bertaraf etmek ve en önemlisi sudan en iyi şekilde yararlanmaya yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Genel anlamda hidroloji, yer kürede (yeryüzünde, yeraltında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilim dalıdır. “Hidro” su ve “Loji” bilim hecelerinden oluşan “Hidroloji” su bilimi anlamına gelmektedir. Hidroloji bilimi, doğa bilimlerinin yanı sıra Matematik, Fizik, Kimya ve Biyoloji gibi temel bilimlerle yakın bir ilişki içindedir. Bu tanımla, disiplinler arası bir bilim özelliği taşıyan hidrolojinin, diğer bilim dalları ile sınırlarını kesin olarak çizmek çok güçtür. Atmosferdeki su ile meteoroloji, denizlerdeki su ile oşinografi, canlılarla biyoloji, su ve zemin ilişkileri ise hidrojeoloji/jeoloji ile yakından ilişki içindedir. Hidrojeoloji, jeoloji, meteoroloji, oşinografi, inşaat, çevre, biyoloji vb. bilim dalları ile ilgilenen bilim insanlarının ortak çalışma alanını oluşturmaktadır.

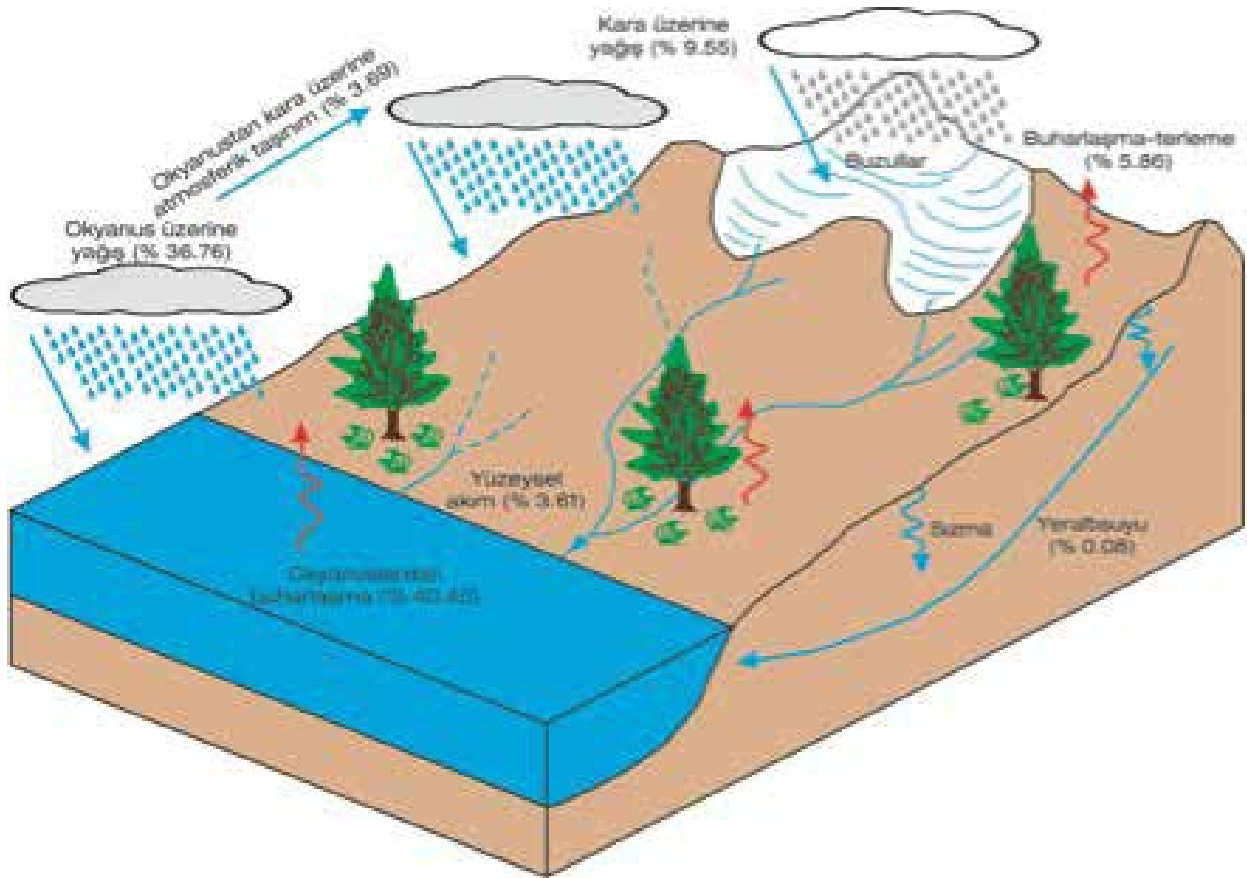
Hidroloji biliminin genel amacı, suyun yetersiz olduğu yerde suyun kullanımını, suyun fazla olduğu yerlerde ise suyun kontrolünü ve kirlenme tehlikesi olan bölgelerde ise suyun kirlenmesini önlemek yani eldeki suyun en uygun (optimum) kullanımını ve kontrolünü kapsamaktadır.

2. 2. Hidrolojik Çevrim

Hidrolojik çevrim, yeryüzünde, yeraltında ve atmosferde suyun varlığını ve hareketlerini tanımlayan bir döngüdür. Hidrolojik çevrimde ki su daima hareket halindedir, katı halden sıvı hale, sıvı halden gaz haline ve gaz halinden tekrar sıvı ve/veya katı hale dönen suyun bu hareketi süreklilik taşımaktadır. Genel olarak suyun yerkürenin çeşitli katmanları arasında katı, sıvı ve gaz hallerinde farklı yollar izleyerek sürekli bir hareket halinde olmasına “Hidrolojik Çevrim/Su Döngüsü” adı verilmektedir (Şekil 2.1).

Hidrolojik çevrim, genel olarak okyanus, deniz, göl, akarsu ve diğer su kütlelerinde bulunan suyun güneş ısısından dolayı buharlaşması yani gaz haline geçmesi süreci ile başlatılmaktadır. Buharlaşan su kütlesi, atmosfere yükselmekte ve atmosferin ilk katmanı olan troposferde küçük parçacıklar etrafında yoğunlaşarak bulutları oluşturmaktadır. Bulutları oluşturan gaz halinde ki su kütlesi, atmosferdeki süreçler sonucunda yer çekiminin etkisi ile yağmur, kar, dolu vb. gibi farklı yağış formlarında yeryüzüne ulaşmaktadır. Yağış şeklinde yer yüzüne düşen su kütlesinin bir kısmı yer yüzüne düşmeden sürtünme, atmosferik ısı vb. sebeplerden dolayı tekrardan buharlaşarak atmosfere yükselmektedir. Fakat bulutlardaki su kütlesinin, önemli bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu suların bir kısmı hidrolik eğim/gradyan yönünde yüzeysel akışa geçmekte, bir kısmı yağışın meydana geldiği bölgenin

jeolojik hidrolojik özelliklerinden dolayı yeraltına süzülmekte ve yeraltısularını oluşturmaktadır ve bir kısmı ise bu süreçte tekrardan buharlaşma-terlemeye maruz kalmaktadır. Yüzeysel akışa geçen sular mevsimsel ve/veya sürekli akarsuları oluşturmakta ve toplanan bu sular bölgesel hidrolik eğim yönünde akarsular aracılığı ile deniz, göl, baraj, sazlık-bataklık alan, vb. su kütlelerine ulaşmaktadır. Sonuç olarak yüzey suları ve yeraltısuları, son olarak okyanus, deniz, göl, baraj, vb. su kütlelerine ulaşmakta ve su döngüsü tamamlanmış olur. Hidrolojik çevrim bileşenleri, ABD Jeolojik Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından aşağıdaki 15 bileşen ile tanımlanmıştır. Bu bileşenler; okyanuslarda su depolaması, buharlaşma, atmosferde su, yoğunlaşma, yağış, buz ve kar içinde su depolaması, nehirlere erimiş kar suyu akışı, yüzey akışı, akarsu akışı, tatlı su depolaması, sızma, yeraltısuyu boşalımı, su kaynakları, bitki yapraklarından terleme ve yeraltısuyu depolaması olarak sıralanabilir.

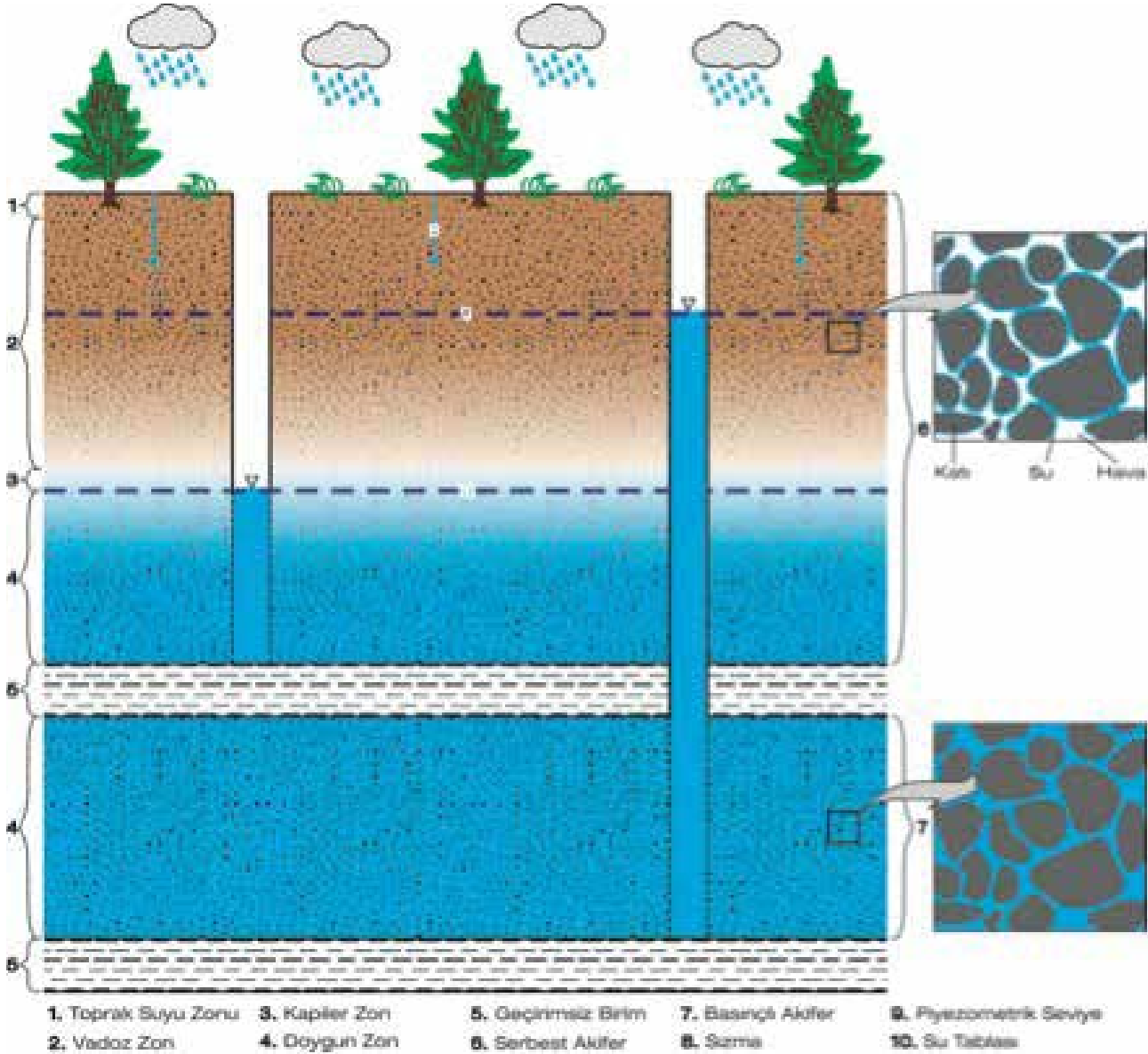


Şekil 2. 1. Hidrolojik çevrim/su döngüsü (Fitts, 2002'den değiştirilerek alınmıştır). Parantez içindeki rakamlar, küresel ölçekte hidrolojik çevrim bileşenlerinin oranını ifade etmektedir (Maidment, 1993).

Hidrolojik çevrim içinde yerçekimi etkisi ile yeraltına süzülen sular, bitkilerin yetişmesi için gerekli zemin nemini arttırmakta ve daha derinlere süzülerek yeraltısuyunu oluşturmaktadır. Sızma, yüzeysel akışı azaltan bir faktör olmasının yanında, yeraltısuyunun en önemli kaynağı olmasıyla da hidrolojik çevrimde önemli bir yer tutmaktadır. Yeraltısuyu, yüzey altında geçirimli (jeolojik formasyon) birimlerin, suya doymun bölgesinde bulunan ve kuyuları, kaynakları, akarsu, göl ve deniz gibi su kütlelerini besleyen sular olarak tanımlanmaktadır. Yeraltısuyunun düşey yönde genel dağılımı Şekil 2.2 'de verilmektedir.

Yeraltına süzülen sular, ilgilenilen alanda bulunan birimlerin (jeolojik) gözeneklerinde ve/veya kırık-çatlak sistemlerinde depolanmaktadır. Genel anlamda yeraltısuyu depolayan

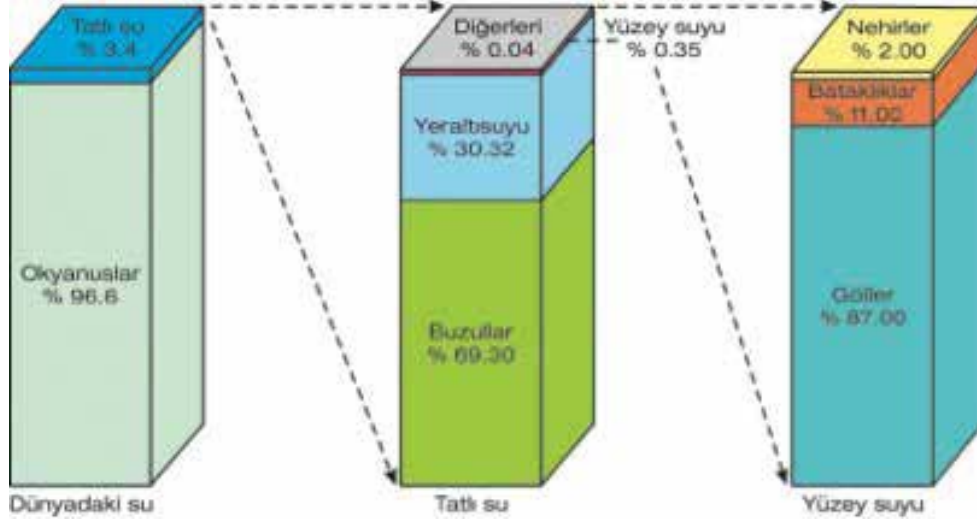
ve bu suyu doğal hidrolik eğim altında iletebilen jeolojik formasyonlar akifer olarak adlandırılmaktadır. Yüzeyden itibaren bitki köklerinin ulaşabildiği derinlik, toprak suyu bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Yeraltına sızan su, ilk önce toprak suyu bölgesinde depolanmakta, daha sonra sızan su miktarının artmasına bağlı olarak yerçekimi etkisi ile düşey yönde hareket etmektedir. Yeraltısuyunun düşey yönde hareket ettiği bölge, vadoz zon (doygun olmayan bölge) olarak adlandırılmakta olup, bu zonda ki gözenekler ve/veya kırık-çatlaklar arasındaki boşluklar hava ve su ile doludur. Yeraltındaki boşlukların tamamen su ile dolu olduğu bölge ise doygun bölge olarak tanımlanmaktadır. Serbest akiferlerde, doygun olmayan bölge ile doygun bölge arasındaki sınıra su tablası denir. Yeraltısuları (doygun bölgedeki sular), doğal hidrolik eğim yönünde kaynaklar aracılığı ile yüzeye çıkabilir veya deniz, göl, baraj, akarsu, vb. su kütlelerini besleyerek, hidrolojik çevrime dahil olmaktadır.



Şekil 2. 2. Yeraltısuyunun düşey yönde dağılımı.

Hidrolojik çevrim içinde ki toplam suyun ($1.386 \times 10^9 \text{ km}^3$) % 96. 6'sı okyanuslarda ve denizlerde yer alırken, % 3. 4'ünü ise tatlı sular oluşturmaktadır (Şekil 2.3). Dünya üzerindeki tatlı suları; buzullar (% 69. 30), yeraltısuyu (% 30. 32), yüzey suyu (% 0. 35) ve diğer sular (% 0. 04) şeklinde sınıflandırılmıştır. Yüzey sularının % 87. 0'si göllerde, % 11. 0'i sazlık-bataklık

alanlarda ve % 2'si ise akarsular ve nehirlerde yer almaktadır. Canlıların günlük hayatta her gün kullandığı su kaynağının, çoğunu nehirler ve göller oluştururken kısmen de olsa yeraltı suyundan faydalanılmaktadır. Dünya üzerinde içme ve kullanım amaçlı kullanabildiğimiz su miktarı $2.548 \times 10^6 \text{ km}^3$ olup hidrolojik çevrimde ki toplam su miktarının % 0.18'ine karşılık gelmektedir.



Şekil 2. 3. Hidrolojik çevrimde ki su dağılımı (Madiment, 1993; Shiklomanov, 1993).

2. 3. Sulak Alan ve Hidroloji

Hidrolojik çevrimin bir parçası olan doğal veya yapay oluşabilen sulak alanlarda; sular durgun veya akıntılı olabilmekle birlikte sürekli veya mevsimsel su bulunduran tatlı, acı veya tuzlu özellikler gösterebilmektedir. Bataklık, sazlık, turbalık, sulak çayır, denizlerin 6 m derinliğe kadar olan kesimi gibi tüm su kütleleri, sulak alan olarak tanımlanmaktadır (RAMSAR, 1971). Bir sulak alanın, varlığını (oluşumunu), boyutunu ve özelliklerini hidrolojik süreçler kontrol etmektedir (Carter, 1996). Başka bir ifade ile sulak alanların temel yapı taşı, su oluşturmakta ve subilimi olarak tanımlanan hidroloji ise sulak alanların can damarı olarak kabul edilebilir. Sulak alanlar, küresel ölçekte sucül ve karasal ekosistemler arasındaki geçişi (köprüyü) oluşturmaktadır. Dolayısı ile sulak alanların hidrolojik yapısında, kısa ve/veya uzun vadede meydana gelebilecek her hangi bir doğal ve/veya yapay değişiklik, dolaylı olarak bu alanlara bağımlı diğer ekosistemlerin hidrolojik yapısını da değiştirecektir. Hidrolojik yapıdaki değişiklikler, öncelikle bu alanlarda bulunan suların miktar, kalite, seviye, vb. fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmekle birlikte sulak alanların varlığını tehdit edecek ve sağladığı faydaları (işlevlerini, ürünlerini ve niteliklerini) doğrudan ve/veya dolaylı olarak etkileyecektir. Çünkü bu özelliklerin varlığı ve devamlılığı hidrolojik sisteme bağlıdır. Hidrolojik süreçlerin önemli bir parçası olan sulak alanların, işlevleri, ürünleri ve nitelikleri Çizelge 2.1’de özetlenmiştir. Bir sulak alan ekosistemine ait en uygun (sürdürülebilir) yönetim planının gerçekleştirilmesi, bu sulak alanın içinde bulunduğu hidrolojik sistemin ayrıntılı bir şekilde tanımlanmasını gerektirmektedir.

Özellikle son yüzyılda gelişen endüstriyel ve tarımsal faaliyetlere paralel olarak artan sera gazı salınımı, iklimsel koşulları olumsuz yönde etkilemiş, yerel ve bölgesel ölçekte yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının miktar ve kalite açısından kullanılabilirliği ile birlikte sulak alanların varlığını önemli derecede tehdit eden bir baskı unsuru olmuştur. Ayrıca yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarında değişik boyutlarda gözlenmeye başlayan değişimler (miktar ve kalite), ekosistemdeki dengelerin korunması ve insan sağlığı için şimdi ve gelecek açısından büyük

tehlike oluşturmaya başlamıştır. Bu durum yüzyılın en önemli sorunlarından bir olan temiz su kaynaklarının kontrolsüz bir şekilde azalması ve su yoksulluğunun giderek artması anlamına gelmektedir. Bundan dolayı, yaşamın temel kaynağı olan su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliği için yüzey veya yeraltısu akım sistemlerinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal süreçlerin ve bu süreçleri etkileyen parametrelerin tanınmasını ve tanımlanmasını gerektirmektedir.

	Halçiler	Magrovlar	Açık Kıyılar	Taşkın Ovaları	Göller	Tatlısu Bataklıkları	Turba Alanları	Bataklık Ormanları
İşlevler								
Yeraltısu Reşarjı	X	X	X	Δ	Δ	Δ	✓	✓
Yeraltısu Deşarjı	✓	✓	✓	✓	Δ	✓	✓	Δ
Taşkın Kontrolü	✓	Δ	X	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Erozyon Kontrolü	✓	Δ	✓	✓	Δ	X	X	X
Kıyı Şeridi Stabilizasyonu	✓	Δ	✓	✓	Δ	X	X	X
Zehirli Madde Alıkoyma	✓	Δ	✓	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Besin Alıkoyma	✓	Δ	✓	Δ	Δ	✓	Δ	Δ
Biyolojik Madde İhracı	✓	Δ	✓	Δ	✓	✓	X	✓
Fırtına Koruması	✓	Δ	✓	X	X	X	X	✓
Mikro İklim Stabilizasyonu	X	✓	X	✓	✓	✓	X	✓
Su Taşımacılığı	✓	✓	X	✓	X	✓	X	X
Eğlence ve Turizm	✓	✓	Δ	✓	✓	✓	✓	✓
Ürünler								
Orman Kaynakları	X	Δ	X	✓	X	X	X	Δ
Doğal Hayat Kaynakları	Δ	✓	✓	Δ	Δ	✓	✓	✓
Dalyanlar	Δ	X	✓	Δ	Δ	Δ	X	✓
Yem Kaynakları	✓	✓	X	Δ	Δ	X	X	X
Tarımsal Kaynaklar	X	X	X	Δ	✓	✓	✓	X
Su Temini	X	X	X	✓	✓	Δ	✓	✓
Nitelikler								
Biyolojik Çeşitlilik	Δ	✓	✓	Δ	✓	Δ	✓	✓
Kültürel Miras	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

X: yok veya istisna; ✓: Mevcut; Δ: söz konusu sulak alan tipinin ortak ve önemli değeri

Çizelge 2. 1. Sulak alanların, işlevleri, ürünleri ve nitelikleri (Dugan, 1990)

Bu noktada, su kaynaklarından en uygun oranda yararlanmak ve bu kaynakların oluşturduğu sulak alanların sürdürülebilirliği için bu kaynakların yer aldığı yüzey veya yeraltısu akım sistemlerine ait etkin bir koruma ve yönetim modelinin “hidrojeolojik kavramsal model” çerçevesinde oluşturulması gerekmektedir. “Hidrojeolojik kavramsal model” ilgilenilen sistemin, fiziksel (jeoloji, tektonizma ve morfoloji) ve dinamik (yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım ve depolama) özellikleri arasındaki ilişkilerin aydınlatılması olarak tanımlanabilir. Bu noktada, özellikle yüzey ve yeraltısu akım sistemlerinde, su

kalitesini ve miktarını kontrol eden hidrolojik (fiziksel ve kimyasal) süreçlerin tanımlanması en önemli aşamalardan birini oluşturmaktadır. Bu süreçlerin ortam koşullarına bağlı olarak tanımlanabilmesi için yüzey ve yeraltısuyu akım hareketinin meydana geldiği sistemde, akım hareketini kontrol eden sınır koşullarının tanımlanması ve bunun için de sistemi oluşturan jeolojik birimlerin ve bu birimlerde etken olan tektonizma, morfoloji gibi yapısal unsurların belirlenmesi gerekmektedir. Bununla beraber sistemdeki su miktarı ile sistemin dinamik (yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım, depolama) özellikleri arasındaki ilişkilerin sağlıklı bir şekilde tanımlanması ve bu ilişkilerin hidrolojik çevrim içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sulak alanlarda beslenme, depolama ve boşalım süreçleri, yüzey suyu-yeraltısuyu etkileşimleri, dönemsel su seviye değişimleri, ekosistemin neredeyse tüm işleyişini kontrol eden temel hidrolojik süreçleri kapsamaktadır. Unutulmaması gereken en önemli nokta, hiçbir hidrolojik sistem bir diğeriyle aynı özellik sergilememektedir. Örneğin Uluabat ve Manyas (Kuş) gölleri ile Akyatan ve Tuzla lagün göllerinde olduğu gibi, morfolojileri, bulundukları bölge, habitat türler, yağış rejimleri ve hatta hacimleri bile aynı olabilir. Ancak, bu alanlardaki hidrolojik süreçlerin farklılığından kaynaklanan değişimler söz konusudur. Örneğin Manyas Gölünde mevsimsel su seviye değişimlerine bağlı olarak gelişen su basar ormanlar, kuşlar için güvenli üreme ve yaşam alanı oluştururken, Uluabat Gölü, kuşlar tarafından bu amaç ile çok fazla tercih edilmemektedir. Bu durum Manyas Gölündeki mevsimsel su seviye değişiminin başka bir ifade ile hidrolojik süreçlerin, kuşlar için güvenli bir üreme alanı sağlamasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan Akyatan lagün gölüne yapay kanallar ile tatlı su girdisi, lagündeki suların hem kalitesini (aşırı seyrelme) hem de deniz suyu bağlantısını etkileyerek lagündeki balık üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Fakat Tuzla lagün gölünde böyle bir durum söz konusu değildir. Bu örnek sulak alan ekosisteminin hidrolojik yapısına yapay müdahaleye iyi bir örnek teşkil etmekle birlikte hidrolojik yapının aynı bölgede ve bir birine yakın sulak alan ekosistemlerinde farklı olabileceğine de örnek teşkil etmektedir. Dolayısı ile her sulak alan ekosisteminin hidrolojik yapısının, o sulak alan özelinde ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Sulak alan ekosisteminin kendine özgü hidrolojik davranışının belirlenmesi amacı ile yapılması gereken çalışmalar özelde farklılık gösterse de, genel anlamda hidrolojik çevrimin (su döngüsü) bir parçası olduğu için benzerlik göstermektedir. Bir sulak alanın, hidrolojik yapısının ortaya konması için, öncelikle sulak alanın içinde bulunduğu hidrolojik çevrim bileşenlerinin ve bu çevrimdeki yapay bileşenlerin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla öncelikle ofis çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, ilgili kurum/kuruluş, internet, vb. ortamlarda alanla ilgili haritaların (topoğrafik, jeolojik) ve uzaktan algılanmış görüntüleri (hava fotoğrafı, uydu görüntüsü) derlenmesi, drenaj/havza sınırlarının belirlenmesi, yağış, akım, sıcaklık, buharlaşma, vb. mevcut gözlenmiş verilerin toplanması, sulak alan ekosistemine yapay etkilerin (drenaj ve tahliye kanalları) belirlenmesi ve elde edilen verilerin ön değerlendirilmesi gibi çalışmalar yapılmalıdır. Yapılan ön değerlendirme sonucunda elde edilen bilgiler çerçevesinde arazi çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Arazi çalışmaları kapsamında ise derlenen verilerin, sulak alan sisteminin fiziksel yapısı ile uyumu kontrol edilmeli ve gerek olması durumunda hidrolojik gözlemler (akım, yağış, seviye, vb.) gerçekleştirilmelidir.

2. 3. 1. Bazı Sulak Alan Tiplerinin Hidrolojik Davranışı

Sazlıklar ve bataklıklar; yağış, yüzeysel akış ve yeraltısuyu ile beslenmelerinin yanı sıra taşkınlar/seller sazlıkların en önemli beslenme kaynağını oluşturmaktadır. Göreceli olarak hidrolik eğimin düşük olduğu alanlarda bulunan sulak alanlar çevresinde yer alan tatlı su

ve tuzlu su sazlıkları ile bataklıklar, taşkın esnasında taşkınlarla birlikte taşınan ince taneli sedimentlerin (kum, kil, silt, vb.), sazlıklar arasına çökmesine ve sulak alan sisteminin sedimentler ile dolmamasını sağlamaktadır. Bu çökelim süreci sazlıkların ve bataklıkların bulunduğu alanlardaki birimlerin geçirimsizlik ve iletimsizlik değerlerinin göreceli olarak çok düşük, gözenekliliklerinin ise çok yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu tür ortamlar hidrojeolojik açıdan geçirimsiz veya yarı geçirimli ortamlar olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, sazlıklar dahil su içi bitkilerinin yetiştiği alanlarda toprak suyu bölgesinde depolanan suyun daha çok olması anlamına gelmektedir. Kurak dönemlerde sazlıkların bulunduğu alanların nemli olmasının nedeni, sazlıkların yetiştiği birimlerin yukarıda bahsedilen jeohidrolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile sazlıkların bulunduğu alanlarda yağışlardan itibaren yeraltına süzülen ve toprak suyu bölgesinde depolanan sular, sazlıklar dahil su içi bitkiler için büyük önem taşımaktadır. Bataklıkların sazlıklara oranla daha çukur alanlarda bulunmaları nedeni ile bu alanlardaki yeraltısuyu seviyesi yüksek hatta yüzeyledir. Bataklık alanlardaki jeolojik birimlerin geçirimsizlik derecesine göre yeraltına sızma hızı düşük olur veya sızma gerçekleşmez. Sızma miktarı ve hızı aynı zamanda bataklığın depolayacağı organik madde miktarını da belirlemektedir.

Sığ göller; yağış, yüzeysel akış, yeraltısuyu ve diğer su kütlelerinden beslenmektedirler. Derinlikleri genellikle 2. 0 m'den az olan sığ göllere bağlı gelişen sulak alan ekosistemin varlığını ve devamlılığını, bu sistemde etken olan hidrolojik süreçler kontrol etmektedirler. Söz konusu hidrolojik süreçlerin en önemlisini su seviye değişimi oluştururken, yağış, sıcaklık ve buharlaşma ise su seviye değişimini kontrol eden en önemli doğal hidrolojik süreçlerdir (Aydın ve diğ., 2012). Bunun yanı sıra hidrolojik yapıya doğal süreçler dışında yapay müdahale sonucunda da sığ göllerin su seviye değişimi söz konusu olabilir. Aşırı yeraltısuyu kullanımı, drenaj ve/veya sulama kanalları ile sistemin hidrolojik yapısını olumsuz yönde etkileyecek oranda su alınması veya sisteme ihtiyacından fazla su verilmesi, sulak alan hidrolojisine yapay müdahaleye örnek gösterilebilir. Örneğin Sultan Sazlığı'nın (Erdem, 2004) bulunduğu alanda aşırı yeraltısuyu kullanımı ile Kızılırmak Deltasında (OSİB, 2008; Aydın ve diğ., 2011a) açılan drenaj kanalları ile yeraltısuyunun alandan uzaklaştırılması, bu alanlardaki göllerin su seviyesini olumsuz yönde etkilemiştir ve hatta dönem dönem göller kurumıştır. Bunun yanı sıra Akyatan Lagünü'ne (Demir, 2008) drenaj kanalları ile verilen yüksek miktarda ki tatlı su, lagündeki gelgit etkisini indirgemiş ve lagün sularının aşırı oranda seyrelmesine sebep olmuştur. Dalyan Lagünü'nde ise taşkın kontrolü amacı ile yapılan taşkın koruma seddesi, Ceyhan Nehri ile Dalyan Lagünü arasındaki tatlı su bağlantısını kesmiş ve lagün suyunda aşırı tuzlanma gözlenmiştir (Aydın ve diğ., 2011b). Her ikinde durumda da sulak alan ekosistemi olumsuz yönde etkilenmiştir. Son iki örnekte verilen lagün örnekleri sulak alan sistemine gereğinden fazla su verilmesinin veya alınmasının ekosistemdeki su kalitesini nasıl etkilediğine iyi bir örnek teşkil etmektedir. Dolayısı ile sığ göller, doğal hidrolojik süreçlere, iklimsel değişimlere ve yapay etkilere son derece hassas olup, bu alanlarda gerçekleştirilmesi planlanan çalışmaların fizibilite aşamasında, sığ göllerin hidrolojik yapısı göz önünde bulundurulmalıdır.

Taşkın ovaları; adından da anlaşılacağı üzere, bu alanların oluşumunu ve temel beslenimi mevsimsel taşkınlarla gerçekleştirmektedir. Özellikle yağışlı dönemlerde akarsuların getirdiği taşkın suları, düşük eğimli düz alanlara yayılır ve taşıdıkları sedimentleri süspansiyon ilkesine göre bu alanlara depolarlar. Taşkın ovalarının boşalımı ise yeraltına sızma, buharlaşma ve drenaj kanalları gerçekleştirmektedir. Ülkemizde uluslararası öneme sahip bir çok sulan alan (Kızılırmak Deltası, Gediz Deltası, Akyatan ve Tuzla Lagünleri, Yelkoma Lagünü, vb.) taşkın ovalarında bulunmaktadır. Örneğin Üst Pliyosen sonlarında Adana bölgesinde meydana gelen çöküntü alanlarının, daha sonra oluşan akarsu ve kolları (Ceyhan ve Seyhan

Nehirleri) tarafından getirilen malzemelerle Kuvaterner’de dolması sonucu, Çukurova Deltası oluşmuştur (Şenol ve diğ., 1998). Akyatan ve Tuzla sulak alan sisteminin Ceyhan ve Seyhan Nehirlerinin mansabında yer alması ve bu sistemlerin taşkın ovalarında bulunmasından dolayı, bu alanlardaki litolojik yapının (kil, silt, kum, çakıl, vb.) heterojen bir yapı kazanmasına neden olmuştur. Bu tür ortamlar hidrojeolojik açıdan yarı geçirimli/geçirimsiz birimler olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte hidrolik gradyanın/eğimin düşük olduğu taşkın ovaları, yüksek enerjiye sahip sel sularının enerjisinin azaltılması aşamasında ve erozyonun en az düzeye indirgenmesi sürecinde önemli bir fonksiyona sahiptir.

2. 3. 2. Sulak Alanların Depolama Kapasitesi

Bir sulak alanın depolama kapasitesi, genel olarak sulak alanın hidrolojik özellikleri, su seviye değişimleri ve suyun sulak alanda tutunma süresi olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır (EPA, 2008). Sulak alanın depolama kapasitesi, sulak alanın kıyı kenar çizgisine kadar olan hacmi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile sulak alanın su seviye değişimi olarak ifade edilen depolama kapasitesi, sulak alana ait kıyı kenar çizgisinin yıl içinde referans düzlemine (deniz seviyesi) göre değişimi olarak ifade edilmektedir. Acosta ve Perry (2001) sulak alanlardaki su seviye değişimlerini, zaman içerisinde sulak alan ve/veya çevresinde etken olan hidrolojik süreçlerin ayırt edici bir özelliği olarak tanımlamışlardır. Sulak alanın depolama kapasitesi, ekolojik açıdan ve çalışmanın hassasiyetine bağlı olarak statik rezerv (kurak dönem) ve dinamik rezerv (yağışlı dönem) olarak iki kısımda değerlendirilmektedir. Jeolojik ve morfolojik yapı, toprak örtüsü, yeraltısuyu seviyesi, yeraltısuyu akım yönü, yüzeysel akış, yağış, serbest su yüzeyinde buharlaşma, buharlaşma-terleme, sızma, bitki örtüsü, gibi faktörler sulak alanda depolanacak su miktarını ve kalitesini etkilemektedir.

Doğal hidrolojik çevrim içinde sulak alanlardaki su seviyesi, genellikle yağışlı ve kurak dönemlere paralel bir şekilde artmakta ve azalmaktadır. Sulak alan bölgesinde ve/veya drenaj alanında yağışlı döneme bağlı olarak gelişen yüksek yüzeysel akış, sulak alan su seviyesini de arttıracaktır. Kurak dönemde ise tam tersi durum söz konusudur. Ülkemizde genel anlamda yağışlı dönem Kış ve İlkbahar ayları ile temsil edilirken, kurak dönem ise Yaz ve Sonbahar ayları ile temsil edilmektedir. Dolayısı ile İlkbahar döneminde gerçekleşen yağışlar ve artan sıcaklıklara bağlı kar erimesine sonucu oluşan yüzeysel akım miktarı artmakta ve sulak alanların su seviyesi yükselmektedir. Kurak dönemde ise yağışların ve yüzeysel akım miktarının azalması ile buharlaşmanın artmasına bağlı olarak da sulak alanların su seviyesi azalmaktadır. Sulak alan sisteminde depolanan su miktarı da, söz konusu hidrolojik süreçlerdeki değişimlere bağlı olarak azalacak veya artacaktır. Bu durum yağışlı dönemde sulak alanda besin miktarının artmasına, su kalitesinin değişmesine ve gelen yeni suyun sulak alanda bulunan eski su ile yer değiştirmesine neden olacaktır. Bununla birlikte sulak alana doğrudan ve/veya dolaylı olarak bağlı olan ekosistem ise bu koşullara uyum sağlamış bir şekilde varlığını sürdürecektir. Dolayısı ile bir sulak alan sistemindeki bitki ve hayvan türlerinin varlığını, söz konusu sulak alanda meydana gelen su seviye değişimleri kontrol etmekte ve sulak alan ve çevresindeki bitki ve hayvan türlerinin varlığı ise su seviye değişimlerinin göstergesi olarak değerlendirilmektedir (EPA, 2008).

Suyun sulak alanda tutunma süresi, yağış ve yüzeysel akış ile sulak alan sistemine giren suların, sulak alandan çıkışı arasında geçen zaman olarak ifade edilmektedir. Suyun sulak alanda tutunma süresi ‘ t ’, sabit hacim ‘ V ’ ve sabit boşalım ‘ Q ’ arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır ($t=V/Q$; EPA, 2008). Söz konusu eşitlik; Sulak alan sisteminde; (1) dengeli akım, (2) piston benzeri akım (ilk giren ilk çıkar), (3) bir girişin ve bir çıkışın olması ve (4) hiçbir atmosferik ve yeraltısuyu etkileşiminin olmadığı koşullarda geçerlidir (Himmelblau ve Bischoff 1968). Suyun sulak alanda kalış süresi için önerilen eşitlik, birden fazla girdinin ve/veya çıktının olduğu sistemlerde geçerliliğini yitirmektedir. Örneğin Akyatan Lagün

sisteminde drenaj kanalları ile lagün gölüne giren tatlı su noktası ile lagün gölünün deniz ile bağlantısı, lagün gölünün doğu kesiminde bir birlerine yakın konumda yer almaktadır. Bu durum lagün gölünün doğu kesiminde hidrolik yükü arttırmakta, denizden gel-git etkisi ile gelen su miktarını azaltmakta, lagün gölünün batı kesimindeki sular yenilenmemekte ve su kalitesi ile taze besin girdisini olumsuz yönde etkilemektedir (OSİB, 2010a; Aydın ve diğ., 2011b). Buna karşın Işıklı Göl-Gökgöl sulak alan sisteminde ise Menderes Nehri ile Dinar dolaylarından gelen yüzey suları bu sistemi doğu ve Kufi Çayı ile kuzeyden gelen sular ise kuzey-kuzeybatı kesiminde beslemekte ve sistemin boşalımı ise batı kesimde gerçekleşmektedir. Dolayısı ile Işıklı Göl-Gökgöl sulak alan sisteminde yıl içinde depolan su miktarı yenilenmekte ve taze besin girdisi sağlanmaktadır (OSİB, 2010b; Aydın ve diğ., 2011c). Sonuç olarak sulak alanda suyun tutunma veya geçiş süresi, sulak alandaki su kalitesini ve besin miktarını kontrol etmektedir. Bu durum doğrudan ve/veya dolaylı olarak sulak alan ekosistemine bağlı canlı yaşamının varlığını ve sürekliliğini etkilemektedir.

2. 4. Sulak Alan Hidrolojisi

Sulak alan hidrolojisi çalışmalarında, ilk önce yapılması gereken işlem, sulak alan sisteminin sınır koşullarının, alanın fiziksel yapısı ile uyumlu bir şekilde belirlenmesi aşamasında başlamaktadır. Çünkü sulak alan ekosisteminde hüküm süren hidrolojik süreçler ve sulak alan ekosistemine bağlı yaşam formları, bu sınırlar içinde meydana gelen hidrolojik olayların sonucunda var olmakta ve varlıklarını devam ettirmektedir. Bir sulak alan sisteminin sınırını; sulak alan ekosisteminin içinde yer aldığı drenaj (havza) alanı, alt drenaj alanı, serbest su yüzeyi, sazlık-bataklık alan, vb. gibi sınırlar oluşturmaktadır.

2. 4. 1. Drenaj Sınırı

Dağ ve/veya tepe gibi doğal yapılarla çevrelenmiş, tüm yüzey sularını ve yüzeye çıkan yeraltısularını toplayarak daha düşük kotlara ileten, doğal sınırlardan oluşan ve hidrolojik sistemi kontrol eden yeryüzü parçasına '*havza veya drenaj*' sınırı denir (Şekil 2.4). Başka bir ifade ile yağışlardan itibaren meydana gelen yüzeysel akışı, akarsu üzerinde alınan bir noktaya, göllere, denizlere veya okyanuslara ulaştıran alanlara denir. Hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalarda; bölge, alt bölge, drenaj alanı, su toplama alanı, drenaj havzası, hidrolojik havza, yüzeysel drenaj alanı, vb. kavramlarda havza tanımı yerine kullanılmaktadır. Fakat söz konusu kavramlar, aynı fiziksel olayı tanımlamakla birlikte, kapladıkları yüzey alanların boyutundan dolayı farklı isimlerle adlandırılmaktadır. Bir akarsuyun veya nehrin drene ettiği alanın büyüklüğü dikkate alınarak gerçekleştirilen hidrolojik sınıflamada bu alan; bölge, alt bölge, havza, alt havza, drenaj alanı ve alt drenaj alanı olmak üzere altı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 2. 2; Seaber ve diğ., 1987). Bir havza içinde, ana akarsu kollarını oluşturan yan kollara ait birden fazla alt drenaj alanı bulunabilir.

Sınıf Adı	Seviye	Kapladığı Alan (km ²)
Bölge	1	> 43500
Alt Bölge	2	27500 - 43500
Havza	3	1800 - 27500
Alt Havza	4	600 - 1800
Drenaj Alanı	5	100 - 600
Alt Drenaj Alanı	6	< 100

Çizelge 2. 2. Drenaj alanı sınıflaması (Seaber ve diğ., 1987).

Drenaj alanı sınırları, eş yükselti eğrilerini içeren topoğrafik haritalar kullanılarak belirlenir. Yüzey morfolojisi göz önünde tutularak belirlenen drenaj alanı sınırları, genellikle yüzeysel

akışı meydana getiren akarsu ağları dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Drenaj alanının belirlenmesi amacı ile (1) drenaj alanı belirlenecek alanının, çalışmanın içeriğine bağlı olarak belirlenen uygun ölçekteki topoğrafik haritası sağlanmalı, (2) akarsu ağı dikkate alınarak topoğrafik harita üzerinde çalışılan alanın çevresindeki yüksek noktalar, tepeler ve sırtlar belirlenmeli ve (3) belirlenen bu noktalar birleştirilerek drenaj alanı elde edilmelidir (Şekil 2.4). Drenaj alanı belirleme çalışmalarında, 1/25000 veya daha düşük ölçekli topoğrafik haritaların altlık olarak kullanılması daha uygundur.

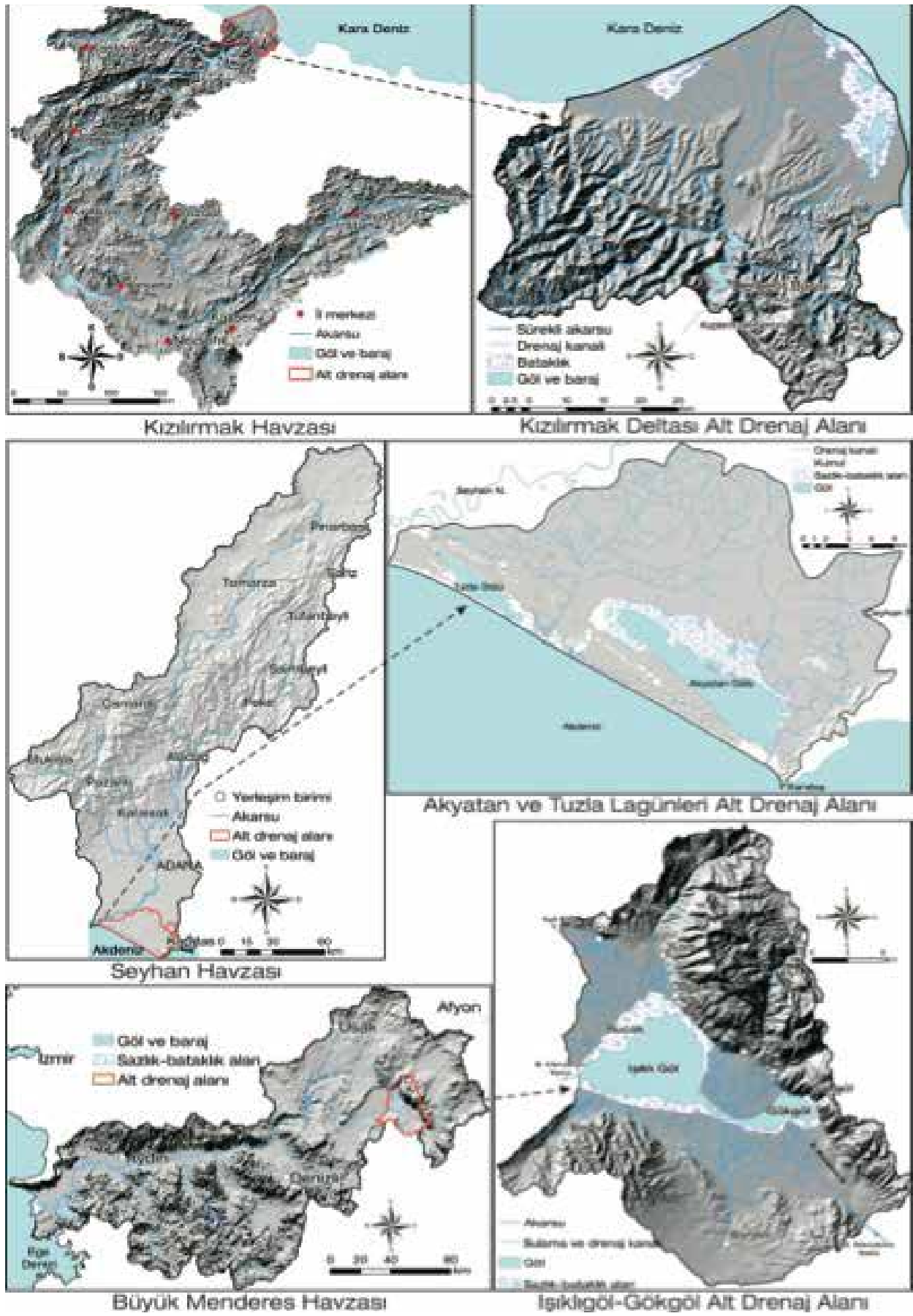


Şekil 2. 4. Drenaj alanı ve topoğrafik kesiti © Harun AYDIN

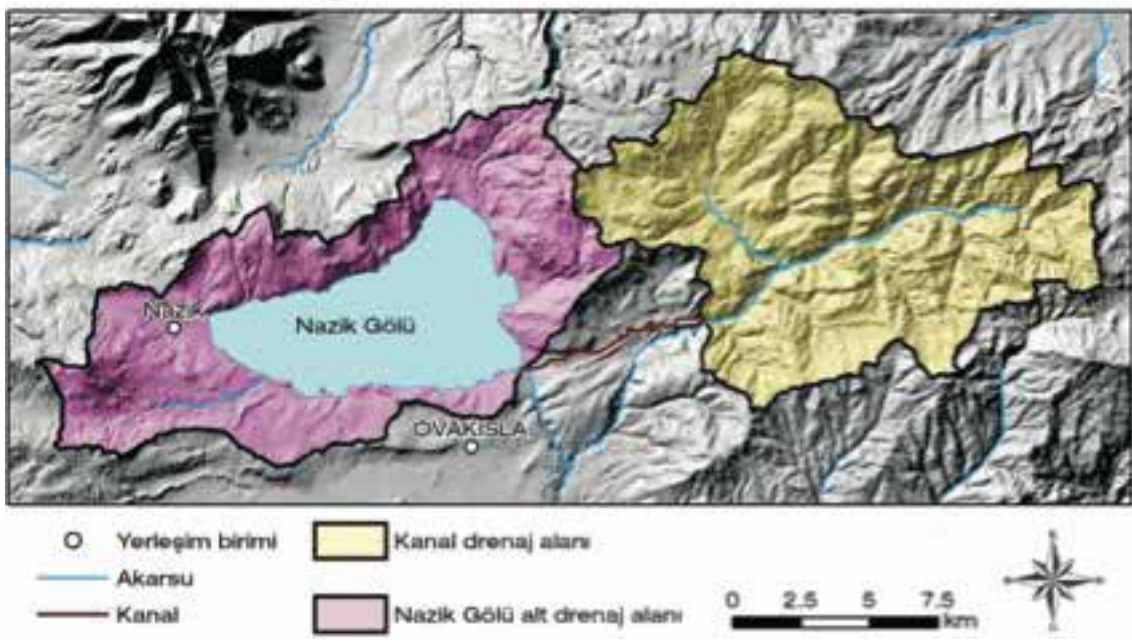
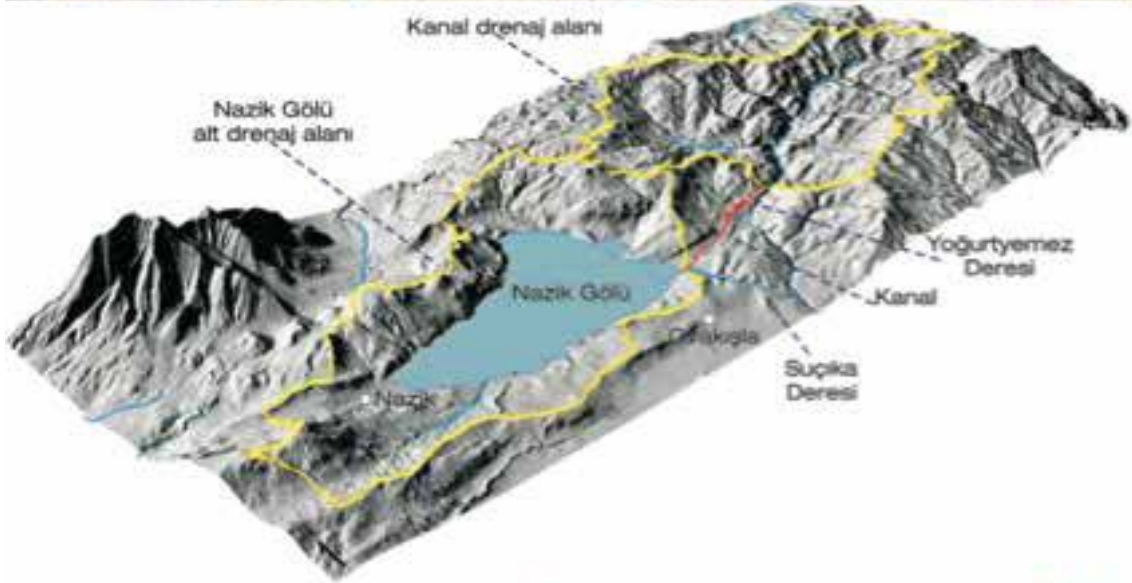
Birbirine komşu iki havzanın drenaj alanlarını ayıran sınır, su ayırım çizgisi veya su bölüm hattı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.4). İki komşu havza arasındaki sınır çoğunlukla dağları, tepeleri ve sırtları takip etmektedir. Bir drenaj alanının veya havzanın akış yukarısı, memba, beslenme alanı veya yukarı havza olarak adlandırılırken, akış aşağısı ise mansap, boşalım bölgesi veya aşağı havza olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte yüzey sularının, dağlardan denizlere ve göllere doğru drene edildiği bir havzada, yeraltısuyu akım yönü yüzey sularının akım yönüne paralel bir şekilde gerçekleşmektedir. Başka bir ifade ile yüzeysel drenaj alanı ile yeraltı drenaj alanı çakışmaktadır. Fakat yukarıda yapılan drenaj alanı tanımlaması, karstik alanlarda (karbonatlı kayaçların yüzeylendiği alanlar) geçerliliğini yitirmektedir. Çünkü karstik alanlarda yüzeysel drenaj alanı ile yeraltı drenaj alanı bir biri ile çoğunlukla çakışmamaktadır. Bu durum karstik alanlarda meydana gelen karstik kanallar, iyi gelişmiş kırık-çatlak sistemleri ve mağara sistemlerinin varlığından kaynaklanmaktadır. Bu tür alanlar için drenaj alanı belirleme çalışmaları, boya izleme deneyi, izotop hidrolojisi, vb. gibi özel hidrojeolojik çalışmalar sonucunda elde edilebilmektedir. Ülkemizin yaklaşık 1/3'ünde karstik kayaçlar yüzeylenmektedir (Eroskay ve Günay, 1979; Ekmekçi, 2003). Beyşehir Gölü, Eğirdir Gölü, Avlan Gölü, Konya Ovası Obrukları ve Hotamış sazlıkları gibi alanlar karstik kayaçların yüzeylendiği alanlarda bulunan sulak alanlara örnek gösterilebilir.

Topladığı suları denizlere ileten akarsuların bulunduğu havzalar açık havza olarak tanımlanırken, denizlere iletmeyen başka bir ifade ile havza içinde suyun gidebileceği en düşük kotu oluşturan göl, sazlık-bataklık, vb. alanlara ileten akarsuların bulunduğu havzalar ise kapalı havza olarak tanımlanmaktadır. Ancak havza büyük ölçekte bir hidrolojik sistemi sınırlayan ve tüm yüzey suların toplandığı geniş bir alanı temsil etmektedir. Örneğin Seyhan Havzası, Kızılırmak Havzası, Fırat Havzası, Büyük Menderes Havzası, vb. gibi havzalar büyük ölçekte su toplama alanlarını ifade etmektedir (Şekil 2.5). Bu tür havzalardaki nehirler aracılığı ile drene olan yüzey ve yeraltısuları denizlere ulaşmakta ve açık havzaya örnek teşkil etmektedir. Diğer taraftan Van Gölü, Tuz Gölü (Konya), Erçek Gölü, vb. havzalarda yer alan nehirler ve akarsular aracılığı ile drene olan yüzey ve yeraltısuları Van Gölü'ne, Tuz Gölü'ne ve Erçek Gölü'ne ulaşmaktadır. Bu havzaların denizlerle bağlantısı bulunmamaktadır. Su kaynakları sisteminin, havza ölçeğinde tanımlanması ve yönetim planının oluşturulması, sistemin sınır koşullarının ortaya konmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla sulak alan sisteminin, içinde yer aldığı drenaj sınırlarının, bir bütün olarak ele alınmasını gerekmektedir. Bu durum hidrolojik sistemi etkileyen süreçler arasındaki ilişkilerin, doğru olarak ortaya konmasına yardımcı olacaktır. Bu sayede sistem daha kolay anlaşılacak ve sistemin değişik etkilere karşı vereceği tepkiler de en uygun şekilde analiz edilecektir. Ayrıca varlığı su kaynakları ile paralel gelişen birçok canlı için havza, bir ekolojik sınır özelliği göstermektedir. Bir sulak alan ekosisteminin doğrudan etkileyen yüzeysel akışın toplandığı kara parçası alt drenaj alanı olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.5).

Havza veya drenaj alanı, hidrolojik sistemi kontrol eden doğal sınırlarla çevrili bir alan olmasına karşın bazı durumlarda, drenaj alanı sınırlarına yapay müdahaleler söz konusu olabilmektedir. Bu tür müdahaleler, drenaj alanı sınırını değiştirmektedir. Bu durum, yapay kanallar ile drenaj alanına havza dışından su alınması ve/veya drenaj alanından havza dışına su verilmesi şeklinde gerçekleşebilmektedir. Yapılan müdahale sonucunda drenaj alanının hidrolojik rejimi değişmekle birlikte su bütçesi ve hidrolojik rejime bağlı ekosistem etkilenecektir. Dolayısı ile bu tür durumların gözlendiği alanlarda, drenaj alanına yapay müdahaleler belirlenmeli ve gerçekleştirilecek hidrolojik çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin ülkemizin doğusunda yer alan Nazik Gölü (Bitlis) bu duruma örnek teşkil etmektedir. Nazik Gölü'nün doğusunda yer alan Yoğurtyemez köyünün yaklaşık 5.0 km güneybatısında Süfresor Deresi üzerine kurulan regülatör ile alınan sular, Ovakişla-Ahlat Sulama Projesi kapsamında yapay bir kanal ile Nazik Gölü'nü beslemektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2. 5. Kızılırmak, Seyhan ve Büyük Menderes havzaları ve bu havzalarda yer alan bazı sulak alanların alt drenaj alanları.



Şekil 2. 6. Nazik Gölü alt drenaj alanı ve kanal drenaj alanı © Harun AYDIN

Bununla birlikte Nazik Gölü'nün, güneydoğu kesiminde yer alan Suçikan Deresi üzerine inşa edilen regülatörden de kontrollü olarak sulama projesi için bu dereye su verilmektedir (Şekil 2.6). Dolayısı ile Nazik Gölü sulak alan sistemi için yapılacak hidrolojik hesaplamalarda, yapay kanalın drenaj alanından gelen akımlar ile Suçikan deresine kontrollü bırakılan akımlar dikkate alınmalıdır.

Sulak alanların sahip olduğu işlev ve değerler, bu alanların drenaj alanlarına ve dolayısı ile hidrolojik işleyişine müdahaleleri doğurmuştur. Ülkemizde yer alan bir çok sulak alanın hidrolojik yapısına müdahale söz konusudur. Örneğin Kızılırmak Deltasında açılan drenaj kanalları ile bu alanda yüzeyde veya yüzeye yakın olan yeraltısuyu seviyesi düşürülmüş ve söz konusu sular tahliye kanalları ile Karadeniz'e deşarj edilmektedir (OSİB, 2008; Aydın ve diğ., 2011a). Bu durum Kızılırmak deltasında yer alan göllerin su seviyesinin düşmesine ve/veya kurummasına neden olmakla birlikte, sulak alan ekosisteminin hidrolojik yapısını değiştirmiştir. Bu duruma; Akyatan Lagünü'ne drenaj kanalları ile su verilmesi (OSİB, 2010a; Aydın ve diğ., 2011b), Işıklı Göl-Gökgöl sulak alan sistemine, Kufi Çayı'nın drenaj kanalı ile yönlendirilmesi (OSİB, 2010b; Aydın ve diğ., 2011c), Erzurum Bataklıkları'nın drenaj kanalları ile tahliye edilmesi (Ceren, 2006), Yelkoma Lagünü'nün Ceyhan Nehri ile bağlantısının kesilmesi (Aydın ve diğ., 2011b), vb. gibi bir çok örnek gösterilebilir.

Bir akarsu havzasında meydana gelen yağış, yüzeysel akış, vb. hidrolojik süreçleri etkileyen parametreler, havza karakteristikleri (Bayazit, 2011) olarak tanımlanmaktadır. Bu parametreler; jeolojik ve hidrojeolojik yapı, havzadaki bitki örtüsü, havza büyüklüğü, havzanın ortalama kotu, havzanın eğimi, havzanın alanı ve şekil parametreleri ile havza alanının, çıkış noktasına olan uzaklığa göre dağılımı şeklinde sıralanmaktadır. Drenaj alanı bilgisi; ortalama yağışın, sıcaklık, buharlaşma, vb. hidrolojik parametrelerin hesaplanmasında, hidrolojik bütçe (su bütçesi) çalışmalarında, hidrolojik hesaplamaların (akım gözlemleri istatistiği) gerçekleştirilmesinde, beslenme alanlarının belirlenmesinde, su kalitesi çalışmalarında, drenaj şebekelerinin projelendirilmesinde, baraj, gölet, regülatör ve benzeri su yapılarına gelecek akımların hesaplanmasında, vb. çalışmalarda kullanılmaktadır.

2. 4. 2. Su Bütçesi

rtan nüfus artışı, sanayileşme, iklim değişimi, vb. nedenlerden dolayı gerek yüzey gerekse yeraltısuyu kaynaklarının, sürdürülebilir yönetiminin önemi artmaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi; hidrolojik çevrim içerisinde suyun, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerini dikkate alan, hem miktar hem de kalite açısından en verimli şekilde kullanımını gözeten sistematik bir yapıyı ifade etmektedir. Su kaynakları sürdürülebilir yönetimi sadece sorunlu olan bölgelerde kullanılması veya göz önünde bulundurulması gereken bir yöntem olarak düşünülmemelidir; sorunlu olmayan bölgelerde de su kaynaklarının sürdürülebilir yönetim planlarının yapılması gerekmektedir. Sürdürülebilir potansiyel olarak da tanımlanan bu kavram, ilgilenilen sistemin sınır koşullarını (drenaj alanı, serbest su yüzeyi, vb.) ve su bütçesini (hidrolojik bütçe) dikkate almaktadır.

Düzenli bir şekilde birbirleriyle ilişkili olan ve çevresinde belirli sınırlar ile ayrılan bileşenler takımı olarak tanımlanan sistem kavramı, hidrolojik çalışmalarda önem taşımaktadır (Şekil 2.7; Bayazit, 2011). Çünkü sistemin sınırları içinde, hidrolojik olaylarda meydana gelen her hangi bir değişikliğin etkisi, sistem içinde ve/veya çıkışında gözlenebilecektir. Bu durum, bir sulak alan ekosistemindeki canlıların varlığını ve sürekliliğini de etkileyecektir. Dolayısı ile hidrolojik sistemin, her hangi bir noktasında yapılacak baraj, gölet, drenaj kanalı, vb. yapay faaliyetin, sistemde meydana getireceği olumlu veya olumsuz etki, fizibilite aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır. Bir sistemin sınırı/sınırları, ilgilenilen alanın ve/veya problemin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Sistemin sınırı, bir akarsu koluna ait alt

drenaj alanı olabileceği gibi, bir havzanın tamamı da olabilir. Göl, baraj, vb. su kütleleri ile ilgili çalışmalarda ise söz konusu su kütlelerinin serbest (açık) su yüzeyi, sistemin sınırını oluşturabilir. Örneğin havza bazında hidrolojik hesaplama gerçekleştirilecek ise sistemin sınırını, havzanın yüzeyel drenaj alanı, bir gölün su bütçesi yapılacak ise sistemin sınırını gölün serbest (açık) su yüzeyi oluşturacaktır.

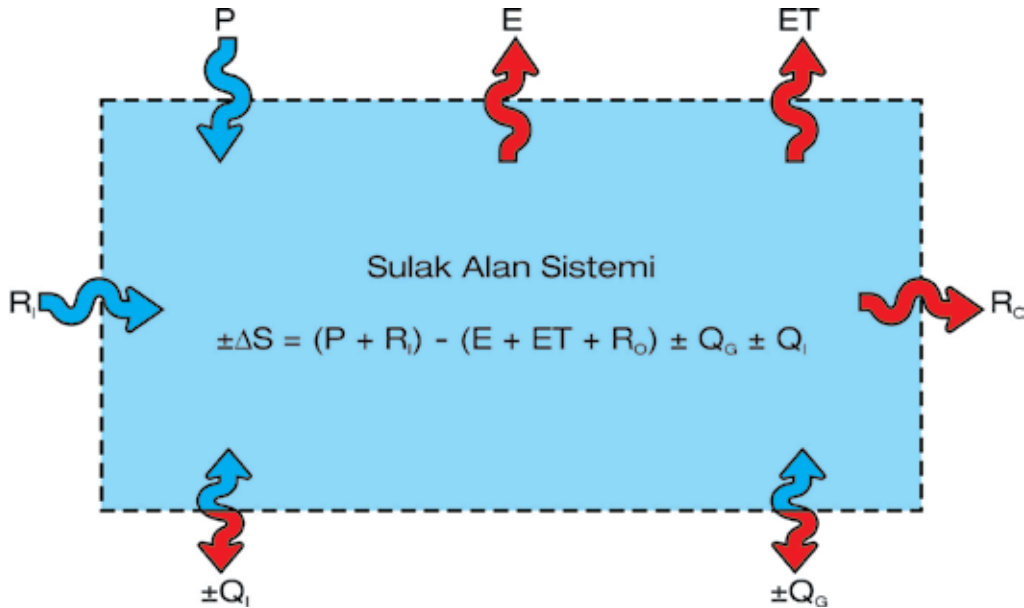


Şekil 2. 7. Sistem kavramı.

Su bütçesi, sınırları tanımlanan bir sistemde, beslenme kaynakları ile boşalım kaynakları arasında bir denge kurulması ilkesine dayanmaktadır. Bu bağlamda su bütçesi, sisteme giren ve sistemden çıkan su bileşenlerinin uzun dönem ilişkilerini analiz edilerek, hidrolojik yapıda istenmeyen etkiler yaratmadan ve çevresel ihtiyaçları da karşılayabilecek bir potansiyel olarak tanımlanmaktadır. Sınırları tanımlanan bir sistemin su bütçesi, hidrolojik çevrimin bileşenlerinden (yağış, buharlaşma, akış, sızma, vb.) oluşmaktadır. Bir sistemin su bütçesi, sistemdeki toplam beslenme, sistemdeki toplam boşalım ve depolamadaki değişimi dikkate alan ve bütün fiziksel olaylar için geçerli olan 'kütle korunumu' ilkesine göre gerçekleştirilmektedir. Su bütçesi hesaplamalarında, kütle korunumu, sistemde suyun ne yok olduğu, ne de yoktan var olduğunu ifade eden süreklilik denklemidir. Girdi ve çıktı arasındaki negatif ve pozitif fark ise depolamada değişim olarak ifade edilmektedir. Bu denkleme;

veya

şeklinde yazılabilir. Bu denklemden, Q_R ; sisteme birim zamanda giren toplam su miktarı, Q_D ; birim zamanda sistemden çıkan su miktarı ve ΔS ; ise birim zamanda sistemin depolamasında meydana gelen değişimi ifade etmektedir. Bir sulak alana ait genelleştirilmiş su bütçesi Şekil 2.8'de verilmektedir.



Şekil 2. 8. Bir sulak alan sisteminin genelleştirilmiş su bütçesi bileşenleri (kısaltmaların açıklaması metin içinde verilmektedir).

Bir sulak alana ait Şekil 2.8'de verilen genelleştirilmiş su bütçesi denkleminde; sistem üzerinde meydana gelen alansal toplam yağış (P) ve sisteme yüzeysel akım ile giren toplam su miktarı (R_g) sistemin ana girdilerini veya beslenme kaynaklarını oluşturmaktadır. Sistemin başlıca çıktıları veya boşalım noktalarını ise serbest su yüzeyinde meydana gelen toplam buharlaşma (E), sazlık-bataklık alanlarda meydana gelen toplam buharlaşma-terleme (ET) ve yüzeysel akım ile sistemden çıkan toplam su miktarı (R_o) oluşturmaktadır. Bunlarla birlikte sulak alanın bulunduğu sistemin hidrojeolojik özelliklerinden dolayı, sisteme yeraltısuyundan katkı, sistemden yeraltısuyuna beslenme veya her ikisinin olduğu durumlar da ($\pm Q_g$) gözlenebilir. Ayrıca, ülkemizde sıklıkla karşılaştığımız, sulak alanların doğal hidrolojik yapısına müdahaleye örnek olabilecek tahliye veya drenaj kanalları ile sulak alan sistemindeki yeraltısuyunun uzaklaştırılması ve/veya söz konusu kanallar ile sulak alan sistemine su verilmesi ile içme-kullanım suyu, sulama suyu, sanayi suyu, vb. kullanım amaçlı sulak alanlardan alınan sular da (Q) bütçe denklemi içinde yer almalıdır.

Bu bölüm kapsamında verilen genel su bütçesi denklemi, karstik ortamlarda oluşmuş sulak alanlara dışında kalan diğer (gözenekli ve kırıklı-çatlaklı) ortamlarda oluşmuş tüm sulak alanlarda uygulanabilir. Su bütçesi denklemleri oluşturulurken, göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta, bütçesi oluşturulacak sistemin hidrolojik çevrimdeki bileşenlerinin, alanın fiziksel yapısı ile örtüşecek şekilde ortaya konması gerekmektedir. Genel su bütçesi denkleminde verilen parametreler, çalışılan sulak alanda olmayabilir. Bu bölüm kapsamında verilen örnekler dikkate alındığında, hidrolojik yapının aynı bölgede ve bir birine yakın sulak alan ekosistemlerinde farklı olabileceğini göstermiştir. Dolayısı ile bir sulak alan ekosisteminin su bütçesi denklemi, o sulak alan özelinde oluşturulması gerekmektedir. Su bütçesi denkleminin çözümü sonucunda elde edilen sonucu denge olarak tanımlar isek;

Denge = 0 ise sistemdeki, toplam girdi ile toplam çıktı birbirine eşittir, yani bütçe dengedir,

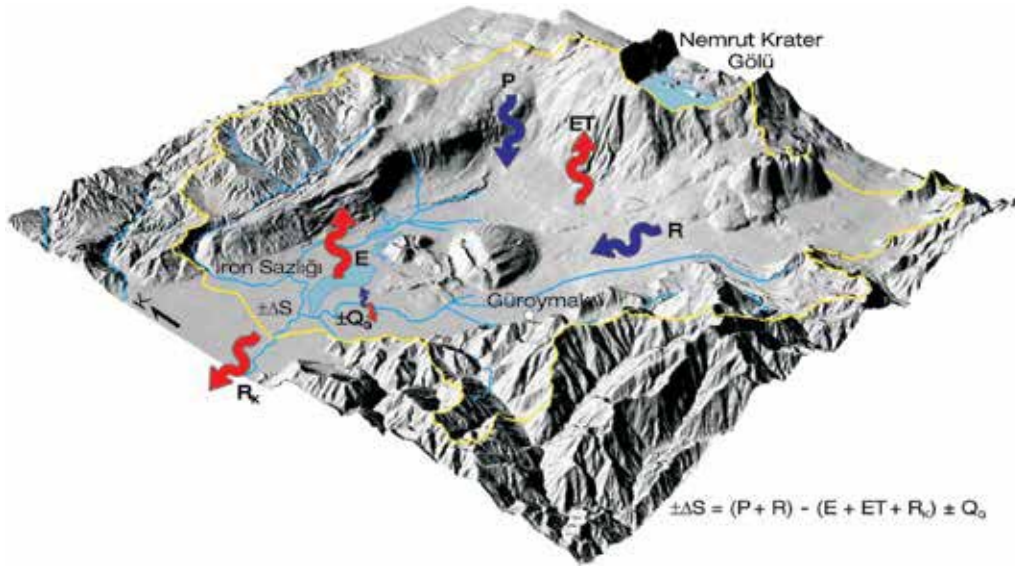
Denge > 0 ise sistemdeki, toplam girdi, toplam çıktıdan büyüktür. Başka bir ifade ile su bütçesi denkleminde dikkate alınan beslenme kaynaklarına ek olarak sistem, başka beslenme kaynaklarından ve/veya yüzeysel drenaj alanı dışından beslenmektedir,

Denge < 0 ise sistemdeki, toplam beslenme, toplam çıktılarından küçüktür. Bu durum su bütçesi denkleminde dikkate alınmayan boşalım noktalarının varlığını ve/veya sistemden yüzeysel drenaj alanı dışına katkı olmaktadır şeklinde yorumlanabilir.

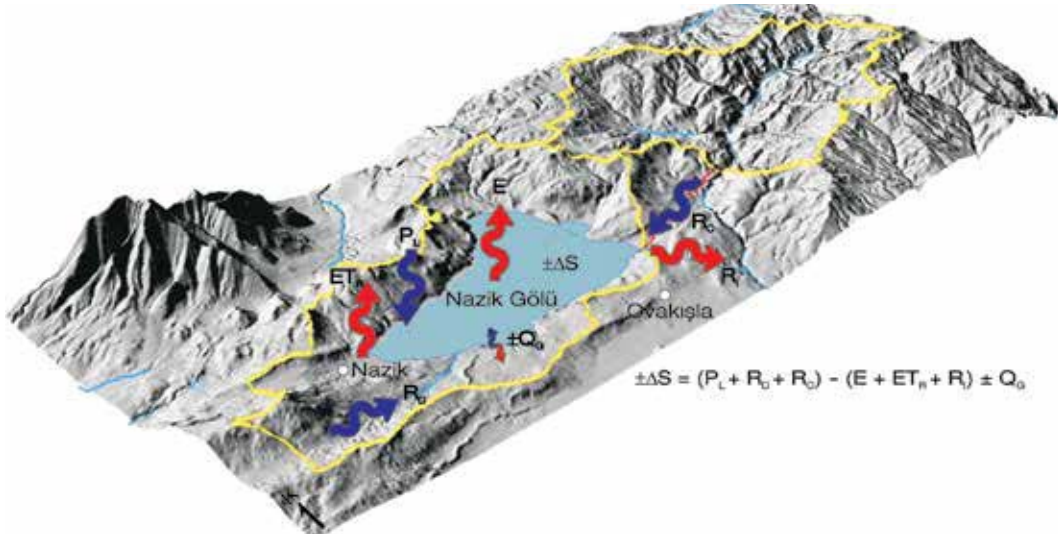
Su bütçesi denklemin uygulamasına doğal hidrolojik süreçlerin geçerli olduğu, İron Sazlığı ve Sazlıkbaşı (Muş) sulak alan sistemini örnek verecek olursak, alt drenaj alanı bazında sistemin su bütçesi denklemi; şeklinde yazılabilir (Şekil 2.9). Burada; ΔS depolamadaki değişimi (L^3/T), P drenaj alanı alan üzerine düşen alansal toplam yağış girdisini (L^3/T), R sisteme drenaj alanından yüzeysel akım ile giren toplam su miktarını (L^3/T), E serbest su yüzeyinden buharlaşma ile çıkan toplam su miktarını (L^3/T), ET drenaj alanından buharlaşma-terleme ile çıkan toplam su miktarını (L^3/T), R_k yüzeysel akım (Karasu Nehri) ile sistemden çıkan toplam su miktarını (L^3/T) ve Q_g sisteme yeraltısuyu girdisi ve/veya sistemden yeraltısuyu çıktısını (L^3/T) ifade etmektedir.

Drenaj, tahliye, vb. yapay etkinin söz konusu olduğu, Nazik Gölü (Bitlis) sulak alan sistemi için de su bütçesi denklemi ise; şeklinde ifade edilebilir (Şekil 2.10). Burada; ΔS depolamadaki değişimi (L^3/T), P_L göl ve sazlık bataklık alan üzerine düşen alansal toplam yağış girdisini (L^3/T), R_D sisteme drenaj alanından yüzeysel akım ile giren toplam su miktarını (L^3/T), E serbest su yüzeyinden buharlaşma ile çıkan toplam su miktarını (L^3/T), ET_R sazlık-bataklık alanda buharlaşma-terleme ile çıkan toplam su miktarını (L^3/T), R_C komşu havzadan kanal (Yoğurtyemez Deresi) ile sisteme giren toplam su miktarını (L^3/T), R_I sulama (Ovakışla

Sulama Projesi) amacı ile sistemden alınan toplam su miktarını (L^3/T) ve Q_G sisteme yeraltı suyu girdisi ve/veya sistemden yeraltı suyu çıkışını (L^3/T) ifade etmektedir.



Şekil 2. 9. Iron Sazlığı ve Sazlıkbaşı sulak alan sistemi su bütçesi (kısaltmaların açıklaması metin içinde verilmektedir).



Şekil 2. 10. Nazik Gölü sulak alan sistemi su bütçesi (kısaltmaların açıklaması metin içinde verilmektedir).

2. 4. 3. Su Bütçesi Bileşenleri ve Verilerin Sağlanması

Su bütçesi denklemlerinin ihtiyaç duyduğu yağış, buharlaşma, akım, vb. bileşenler, hidrolojik çevrimi oluşturan meteorolojik ve hidrolojik süreçlerden oluşmaktadır. Hidrolojik çalışmalar genellikle bu parametrelerin, ölçülmesi ve çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle eleştirilmesi, değerlendirilmesi ve alansal dağılımlarının belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Hidrolojik çevrimdeki süreçlerin sayısal olarak değerlendirilebilmesi, öncelikle meteorolojik ve hidrolojik ölçümlerin yapılmasına bağlıdır.

Su bütçesi denklemlerinin ihtiyaç duyduğu meteorolojik ölçümler; yağış, buharlaşma, sıcaklık, solar radyasyon, güneşlenme süresi, nem, rüzgar hızı, basınç, vb. şekilde sıralanabilir.

Hidrolojik çalışmalarında, meteorolojik ölçüm yöntemlerinin yanı sıra su kaynaklarının mevcut durumunu ve hareketini belirlemek için gerek yüzey suyu gerekse yeraltısuyu ölçüm ve gözlemlerinin (hidrolojik gözlemler) gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu ölçümler, akım ve seviye ölçümleri olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir. Hidrolojik bir sistemde ki yüzey suyu-yeraltısuyu ilişkisinin aydınlatılması amacı ile yeraltısuyu seviyesinin zaman içindeki konumu ve değişimi, kuyular, kaynaklar ve serbest su yüzeylerinde seviye gözlemlerinin yapılması ile sağlanmalıdır. Bununla birlikte, akarsular ve göllerde ise akım (debi) ve seviye bileşenlerinin zaman içindeki değişimini belirlemek için gözlenmiş veriler temin edilmeli ve/veya ölçümler yapılmalıdır.

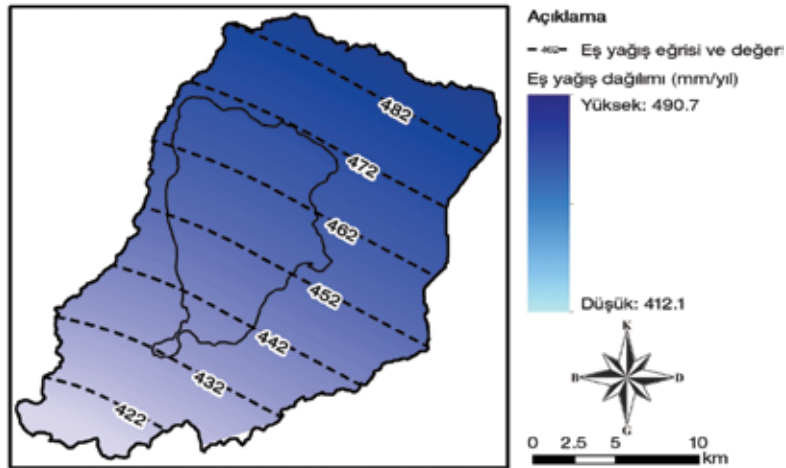
Ülkemizde hidrolojik çalışmalara temel oluşturan meteorolojik ve hidrolojik parametreler, Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) tarafından sistematik olarak yapılmaktadır. DMI tüm meteorolojik parametreleri, 1939 yılından beri bazı parametreleri saatlik aralıkta bazı parametreleri de en az günlük aralıkta kayıt altına almaktadır. DMI bu parametreleri, genellikle bütün il ve bazı ilçe merkezlerinde yer alan meteoroloji istasyonları ile havaalanlarında gerçekleştirmektedir. DMI tarafından gözlenen verilere <http://tumas.mgm.gov.tr> adresinden ulaşılabilir. EİE ülkemizde yer alan büyük akarsu havzalarında enerji üretilebilecek noktalarda akım gözlemini ve bir çok gölde ise seviye gözlemini 1945 yılından beri gerçekleştirmektedir (<http://www.eie.gov.tr>). DSİ ise hemen hemen tüm akarsu havzalarında akım gözlemlerini ve bazı göllerde ise seviye gözlemlerini 1950 yılından beri kayıt altına almaktadır (<http://www.dsi.gov.tr>). Ayrıca Ülkemizde, yeraltısuyu arama, işletme ve kullanım işlemleri DSİ tarafından gerçekleştirilmekte olup, yeraltısuyu seviye gözlemlerine bu kurumdan ulaşılabilir. Buna ek olarak az sayıda da olsa su tutma yapılarının projelendirme aşamasında, yağış ve buharlaşma gözlemler yapmak amacı ile DSİ tarafından işletilmiş ve/veya işletilen istasyonlar bulunmaktadır. Ayrıca kıyısız sulak alanların hidrolojik yapısı için önemli olan deniz seviyesi gözlemleri ise Seyir Hidrografi ve Oşinografi (SHOD) Dairesi Başkanlığı (<http://www.shodb.gov.tr>) tarafından gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte ülkemizde yer alan araştırma enstitüleri, belediyeler, kooperatifler, üniversiteler, vb. kurum ve kuruluşlar amaçları doğrultusunda meteorolojik ve hidrolojik gözlemler gerçekleştirmektedir.

Bir sistemin su bütçesi bileşenlerinin nasıl ölçüldüğü, analizi ile verilerin değerlendirilmesi için ihtiyaç duyulan istatistiksel ve matematiksel işlemlere, bu çalışma kapsamında girilmeyecektir. Fakat aşağıdaki aşamalarda ihtiyaç duyulan yöntemlere; Günay ve diğ. (1992), Gürer ve Yavaş (1992), Mutreja (1992), Maidment (1993), Aydın (2009), Bayazıt (2011) ve Bayazıt ve diğ. (2012) gibi hidroloji ve hidroloji uygulama kaynaklarından ayrıntılı olarak ulaşılabilir. Bir sistemin, su bütçesinin sağlıklı ve alanının fiziksel yapısı ile örtüşecek şekilde ortaya konması amacı ile aşağıda belirtilen adımların izlenmesi fayda sağlayacaktır. Bunlar;

- Alanın Şekil 2.8’de verilen hidrolojik kavramsal hidrolojik modelinin oluşturulması,
- Temsil edici ölçek (ölçüm noktalarının dağılımı), zaman dilimi (günlük, aylık, yıllık) ve gözlem süresi dikkate alınarak modelin ihtiyaç duyduğu ölçülmüş/gözlenmiş parametrelerin, ilgili kurum, kuruluş, vb. yerlerden temin edilmesi. Su bütçesi denkleminin ihtiyaç duyduğu meteorolojik ve hidrolojik parametrelerin gözlemlendiği istasyonlar noktasal olup, bu istasyonlar her zaman çalışma alanı içinde ve/veya çevresinde bulunmayabilir. Bu aşamada çalışma alanına en yakın konumdaki istasyonlar ve gözlem noktaları belirlenmeli ve bu istasyonlarda gözlenen parametreler temin edilmelidir.
- Hidrolojik verilerin temin edilmesi aşamasında dikkate edilmesi gereken bir diğer önemli husus ise, değerlendirmeye alınacak veri serisinin ne sıklıkta ve uzunlukta olması gerektiğidir. Bilindiği üzere hidrolojik çevrim bileşenleri, konum ve zaman içinde değişiklik göstermektedir. Örneğin Mardin meteoroloji gözlem istasyonunda, 1960-2009 yılları arasında kalan 50 yıllık sürede, uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış miktarı 685. 8 mm/

yıl olarak gözlenmiştir. Söz konusu veri serisinin, 1970-2009 (40 yıl), 1980-2009 (30 yıl), 1990-2009 (20 yıl) ve 2000-2009 (10 yıl) yılları arasındaki ortalaması ise sırası ile 657. 1, 639. 9, 587. 9 ve 532. 5 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Burada görüldüğü üzere 10 yıllık veri serisinin ortalaması 60 yıllık veri serisinin ortalamasından yaklaşık % 22 oranında daha düşük iken, 30 yıllık veri serisinin ortalaması ise % 6. 7 oranında daha düşüktür. Başka bir ifade ile Mardin meteoroloji gözlem istasyonunda gözlenen yağış değerlerinin 10 yıllık ortalaması ile gerçekleştirilecek bir su bütçesi hesaplamasında, 60 yıllık veri serisine göre % 22 oranında daha az yağış girdisi olacağı anlamına gelmektedir. Burada verilen örnekte gözlenen farklılık, buharlaşma, sıcaklık, akım, rüzgar, seviye, nem, vb. gibi diğer hidrolojik parametreler içinde geçerlidir. Diğer taraftan hidrolojik çalışmalarda gözlenmiş veri serisinin, ± 10 hata payına (ölçüm hatası, aletsel hata, vb.) sahip olması kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Dolayısı ile su bütçesinin ihtiyaç duyduğu, gözlenmiş parametrelerin sağlanması aşamasında elde edilecek veri serisinin uzunluğu, çalışmanın yapıldığı tarihten itibaren geriye doğru en az 30 yıl ve üstü olacak şekilde ilgili birimlerden talep edilmelidir.

- Alanla ilgili ölçülmüş parametreler söz konusu değil ise, alana yakın konumda yer alan gözlem istasyonlarından veri sağlanmalıdır. Elde edilen veriler; alan oranı, akış katsayısı, vb. yöntemler ile alan özeline taşınmalıdır. Bununla birlikte sistemde en az bir yıl olmak koşulu ile alanda eksik verilerin en fazla aylık aralıkta (daha sık olabilir) gözlenmesi gerekmektedir. Çünkü bir sistem üzerinde hüküm süren hidrolojik süreçlerde ki değişim saatlik, günlük, haftalık veya aylık aralıkta değişim göstere bilmektedir. Örneğin yağış gözlemleri; günlük, haftalık veya aylık aralıkta toplam yağış şeklinde kayıt altına alınmalıdır. Akım ile yüzey veya yeraltı suyu seviye gözlemlerinin, ilgilenilen sistemdeki değişime bağlı olarak günlük veya aylık olarak gözlenmesi gerekmektedir.
- Su bütçesi denkleminin en önemli çıktısını oluşturan buharlaşma parametresinin doğrudan gözlemi, süreç üzerinde etken olan meteorolojik parametrelerden dolayı çoğunlukla güçtür. Bu aşamada bir alanda meydana gelen buharlaşma miktarının hesaplanması için literatürde önerilen (Turc, Thorntwaite, Penman, vb.), buharlaşma eşitliklerinin kullanılması gerekmektedir. Bir sistem üzerinde meydana gelen buharlaşma miktarını, sistemdeki su seviyesi, bitki örtüsü dağılımı, jeolojik yapı, vb. gibi durumların varlığı etkilemektedir. Örneğin sistem serbest (açık) su yüzeyinden oluşuyor ise, bu alan üzerinde sadece buharlaşma gerçekleşecektir. Buna karşın alanda serbest su yüzeyi ve sazlık-bataklık alan var ise serbest su yüzeyinde buharlaşma gerçekleşirken, sazlık-bataklık alanda ise buharlaşma-terleme gerçekleşecektir. Dolayısı ile sistemin kavramsal hidrolojik modeli oluşturulurken, hangi alan için hangi buharlaşma eşitliğinin kullanılacağı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 2. 11. Erçek Gölü alt drenaj alanı alansal yağış dağılımı.

- Çalışmanın hedefleri ve amacı göz önünde bulundurularak temin edilen verilerin, işlenmesi, değerlendirilmesi ve alansal dağılımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşama, çeşitli matematiksel ve istatistiksel çalışmalara ihtiyaç duymakta olup kullanılacak veri serisinde; eksik verilerin tamamlanması, homojenleştirme, gerek duyulması halinde kayıtların uzatılması, alansal dağılımlarının belirlenmesi, vb. gibi analizleri kapsamaktadır. Söz konusu parametreler, gözlem istasyonlarında noktasal bazda ölçülmektedir. Fakat ilgilenilen sistemin herhangi bir noktada ölçülen yağış, sıcaklık, buharlaşma, vb. parametrenin tüm alanı temsil etmesi noktasında bazı belirsizlikler söz konusudur. Dolayısı ile bir sistemin içinde ve çevresinde gözlem yapan en az üç istasyonda gözlenen parametrenin (yağış, sıcaklık, buharlaşma, vb.) alansal dağılımının, sistemin sınır koşulları (drenaj alanı, serbest su yüzeyi, sulak alan su sınırı, vb.) ölçeğinde belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada, sistem içinde ve çevresinde gözlenen verilerin, çeşitli istatistiksel ve/veya matematiksel yöntemler (aritmetik ortalama, eş yağış/sıcaklık/buharlaşma eğrisi yöntemi, Thiessen poligon yöntemi, vb.) ile alansal dağılımı belirlenmelidir. Örneğin ülkemizin doğusunda yer alan Erçek Gölü sulak alan sistemi alt drenaj alanı içinde, yağış gözlemi yapan her hangi bir istasyon bulunmamaktadır. Erçek Gölü'nün su bütçesi hesaplamaları aşamasında, sulak alan sistemine yakın konumda yer alan Van, Muradiye ve Özalp meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen uzun yıllar yağış verisi temin edilmiştir. Bu istasyonlarda gözlenen yağış verisi, eş yağış eğrisi yöntemi ile değerlendirilmiş ve Erçek Gölü alt drenaj alanı üzerinde meydana gelen alansal yağış dağılımı elde edilmiştir (Şekil 2.11). Benzer işlem ile çalışmanın gerçekleştirileceği sistemin sınırları (drenaj alanı veya serbest su yüzeyi) dikkate alınarak buharlaşma, sıcaklık, derinlik, su seviyesi, vb. parametrelerin ilgilenilen sistem özelinde alansal dağılımı belirlenebilir.
- Hidrolojik sistemin girdi ve/veya çıktısını oluşturan akım gözlemleri he zaman sistemin girişi ve/veya çıkışında hatta sistemin drenaj alanı içinde bulunmayabilir. Yüzeysel akım ile sisteme girdi veya sistemden boşalım miktarlarının belirlenmesi amacı ile gözlem yapılan noktada ki gözlenen değer ile gözlemin yapıldığı drenaj alanı arasındaki alan-debi oranı veya akış katsayısı ilişkisi kullanılarak debi gözlemleri kestirilebilir.
- Verilerin değerlendirilmesi, işlenmesi ve alansal dağılımlarının belirlenmesi sonrasında, çalışılan alan özelinde elde edilen tüm veriler göz önünde bulundurularak birinci aşamada verilen sistemin hidrolojik kavramsal modeli gerekli ise revize edilmelidir. Sistemin hidrolojik kavramsal modeli dikkate alınarak, su bütçesi denklemi oluşturulmalı, sistem özelinde elde edilen veriler bütçe denkleminde yerine konmalı ve sistemin su bütçesi hesaplanmalıdır.

Bu bölüm kapsamında, sulak alanlarda su bütçesi bileşenlerinin belirlenmesine yönelik genel bilgiler verilmiş olup her sulak alanın kendine özgü su bütçesi olduğu göz ardı edilmemelidir. Dolayısı ile sulak alanlarda gerçekleştirilecek hidrolojik çalışmalar, söz konusu sulak alanın hidrolojik kavramsal modeli dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir.

2. 4. 4. Sulak Alanlarda Su Seviyesi Değişimleri

Hidrolojik bir sistemde su seviyesi değişimi (hidroperiyot), alınan bir referans düzlemine göre su seviyesinin belirli (günlük, aylık, mevsimsel, vb.) zaman aralığında salınımı (yükselmesi ve alçalması) olarak tanımlanmaktadır. Sulak alan ekosistemlerinde su seviyesi değişimleri, sistem üzerinde hüküm süren doğal hidrolojik süreçlere bağlı olarak değişebilmekle birlikte

yapay etkilere bağılı olarak ta değişebilmektedir. Yapay etkinin söz konusu olmadığı doğal sulak alanlarda su seviyesi değişimi, sulak alanın su bütçesi ile depolama kapasitesinin fonksiyonudur. Doğal hidrolojik süreçlerin etkin olduğu kıyı kesimlerde yer alan sulak alanlarda su seviye değişimi, dalga hareketlerine ve gel-git etkisine bağılı olarak günlük ve aylık olarak değişim göstermektedir. Kıta içi sulak alanlarında mevsimsel su seviye değişimleri, yıl içinde meydana gelen yağışlı ve kurak dönemlere paralel bir şekilde değişirken, uzun dönemli seviye değişimleri ise iklimsel değişimlere paralel bir şekilde gerçekleşmektedir. Yapay etkilerin söz konusu olduğu sulak alanlarda ise su seviye değişimini, hidrolojik süreçler etkilemekle birlikte, yapay etkiyi oluşturan drenaj ve/veya tahliye kanalları ile sulak alan sistemine verilen ve/veya alınan su miktarı ciddi anlamda etkilemektedir.

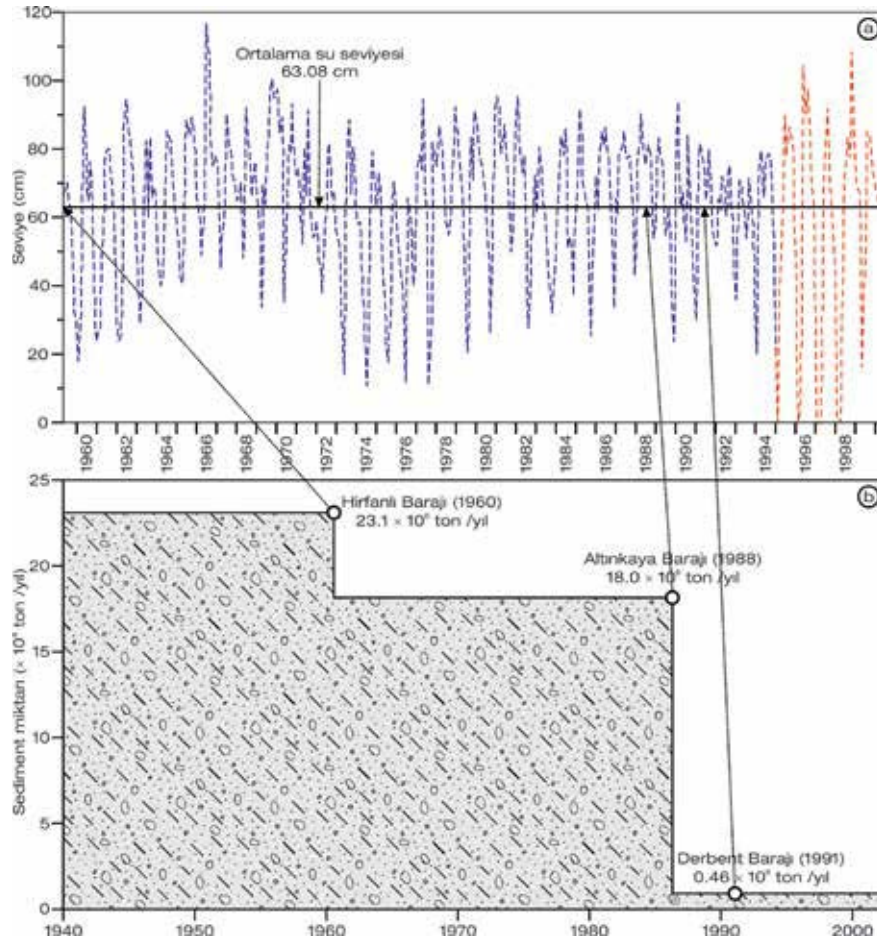
Hidrolojik çevrimin bir bileşenini oluşturan sulak alan ekosistemi, iklimsel değişimlere bağılı olarak hidrolojik çevrimde meydana gelen uzun dönem içindeki değişimlere uyum sağlayabilmektedir. Örneğin taşkınların oluşturduğu deltalarda yer alan sulak alanlarda, farklı zaman aralığında meydana gelen taşkınlar, sulak alanda ki su seviyesini değiştirmekle birlikte sulak alanda bulunan suları yenilemekte ve sulak alana besin girdisi sağlamaktadır. Bu durum sulak alan ekosistemini oluşturan canlılar için yeni besin kaynağı nedeniyle fayda sağlamaktadır. Buna ek olarak tüm sulak alanların taşkına maruz kaldığı anlamı çıkarılmamalıdır. Bazı sulak alanlarda hiç taşkın gerçekleşmediği de unutulmamalıdır. Van Gölü'nün kuzeydoğu kesiminde yer alan Bendimahı Sazlıkları ve doğu kesiminde yer alan Dönemeç Deltası sulak alan ekosistemlerine yapay etkinin az veya olmadığı alanlar olup doğal hidrolojik süreçlerin etkin olduğu sulak alan ekosistemine örnek gösterilebilir. Diğer taraftan sulak alan ekosistemini dikkate almadan, bu sistemi besleyen akarsu veya nehir yatağının, sulama, enerji üretimi, taşkın kontrolü, vb. amaçlar için set ile kesilmesi durumunda ise, bu sulak alanın ana beslenme girdisini yağışlar oluşturacak ve sulak alandaki su kalitesinde buharlaşmaya bağılı kötüleşme ve besin miktarında azalma olacaktır. Dolayısı ile sulak alana bağılı ekosistem bu değişimlerden etkilenecektir. Bu duruma örnek olarak ülkemizde drenaj ve tahliye kanallarının bulunduğu bir çok sulak alan ekosistemi örnek gösterilebilir.

Ülkemizde yer alan sulak alanların hidrolojik yapısına, 1950'lerden sonra yapılan yapay müdahaleler, sulak alanların su seviye değişimlerini etkilemiş ve sulak alana bağımlı başta su kuşları ve balıklar olmak üzere bir çok türün beslenme, barınma ve yumurtlama alanları yok olmuştur. Sulak alanlarda su seviye değişimlerinin yanı sıra, sulak alan sisteminin su derinliği de önemli bir bileşen oluşturmaktadır. Sığ sulak alan sistemleri, derin sulak alan sistemlerine oranla su seviye değişimlerine daha hızlı ve hassa tepki vermektedir. Sulak alan ekosistemi göz ardı edilerek, bu sistemi besleyen akarsular üzerine barajların kurulması veya akarsu yataklarının değiştirilmesinin yanı sıra sulak alandan su temini veya çevresinde aşırı yeraltısuyu çekimi, sulak alanının hidrolojik yapısını etkilemekle birlikte, bu sisteme bağımlı ekosistemi de etkilemektedir. Örneğin Orta Anadolu'da yer alan Sultan Sazlığı, Seyfe Gölü, Ereğli Sazlıkları gibi pek çok sulak alan kurumuş, Eber, Akşehir, Kulu ve Tuz Gölü gibi pek çok sulak alan ise kuruma noktasına gelmiştir (Erdem, 2004; Erdem, 2009).

Kızılırmak Deltası sulak alan ekosistemi içinde yer alan göllerden biri olan Balıklı Göl'de, 1960-2000 yılları arasında aylık aralıkta su seviyesi gözlemleri gerçekleştirilmiştir (şekil 2.12a). şekilde görüldüğü üzere, Balıklı Göl'ün su seviyesi 1960-1994 yılları arasında mevsimsel olarak değişmekle birlikte, uzun yıllar salınım göstermektedir. Söz konusu zaman diliminde Balıklı Göl'ün su seviyesi 11.0 cm ile 115.0 cm arasında değişmekte olup ortalaması ise 63.7 cm olarak hesaplanmıştır. Başka bir ifade ile 34 yıllık zaman diliminde

Balıkli Göl'de, yılın her döneminde su bulunması ile birlikte bu sisteme bağlı canlı yaşam ise varlığını korumuştur. Fakat 1994 yılı ile 2000 yılları arasında Balıklı Göl'ün su seviyesi bazı dönemlerde 0.0 cm olarak kaydedilmiştir. Bu durum Balıklı Göl'ün kuruduğu ve bu göle bağımlı ekosisteminde etkilendiği anlamına gelmektedir. Balıklı Göl'ün su seviyesi salınımı, gözlem başlangıç tarihinden 1994 yılına kadar geçen dönemde, genel hidrolojik çevrim içinde açıklanabilirken, 1994-2000 yılları arasında kalan dönemde belirsizlik içermektedir. Kızılırmak Deltası hidrolojik yapısı incelendiğinde, söz konusu belirsizliğin, sistemin beslenme kaynakları üzerinde gerçekleştirilen, yapay etkilerden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Kızılırmak Deltasının beslenme kaynaklarını yağışlar, yeraltısu ve yüzeysel akış oluşturmaktadır (OSİB, 2008; Aydın ve diğ., 2011a). Aslan (2004; 2005; 2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen gözlemlerin değerlendirilmesi sonucunda; Kızılırmak Nehri'nin, deltadaki yeraltısını ve yeraltısının ise gölleri beslediği görülmektedir (OSİB, 2008; Aydın ve diğ., 2011a). Kızılırmak Nehri üzerinde yer alan mambadan mansaba doğru Hirfanlı, Altınkaya ve Derbet barajları ile delta üzerinde yer alan drenaj ve tahliye kanalları, sistemin yeraltısını ve yüzeysel akış ile beslenimi üzerinde yapay etkiler oluşturmuştur (OSİB, 2008). Akarsular üzerine yapılan barajlar, hidrolojik rejimi değiştirmekle birlikte aynı zamanda sulak alan sistemine sediment taşınımını engellemekte ve akarsuların denize döküldüğü yerlerde delta oluşumu durmakta, hatta kıyı erozyonu nedeniyle, denizin karaya doğru ilerlediği görülmektedir (Erdem, 2009). Dolayısı ile söz konusu etkiler Kızılırmak deltası sulak alan ekosisteminde su seviye değişimini veya hidroperiyodu etkilemiştir. Kızılırmak Nehri üzerine inşa edilen barajlar sonrasında, Kızılırmak Nehri ile deltaya taşınan sediment miktarında ciddi boyutlarda azalma gözlenmiştir (Savran ve Otay, 2002). Hirfanlı Barajı, 1960 yılında faaliyete geçmeden önce, Kızılırmak Nehri ile deltaya taşınan sediment miktarı yılda 21.3 milyon ton iken, bu değer 1988 yılında (Altınkaya Barajı) 18 milyon tona ve 1991 yılında Derbent Barajı faaliyete geçtikten sonra ise yılda 0.46 milyon tona düşmüştür (Şekil 2.12 b). Günümüzden yaklaşık 10 bin yıl önce Kızılırmak Nehrinin taşıdığı sedimentlerin, Kara Deniz kıyısında birikmesi sonucunda Kızılırmak Deltası oluşmuştur (Ardos, 1996). Son 60 yılda Kızılırmak Nehri üzerine yapılan su tutma yapılarından dolayı deltaya taşınan sediment miktarının bu ölçüde azalması; delta gelişimini negatif yönde etkilemiş ve aşınma süreçlerinin etkinleşmesiyle de günümüzde kıyı erozyonu gibi bazı sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Yılmaz, 2005). Deltayı besleyen, Kızılırmak Nehri'nin hidrolojik yapısına müdahale, deltanın hidrolojik rejiminin değişmesine neden olmuştur. Kıyı kenar çizgisinin deniz aşındırmasından dolayı gerilemesi, yeraltısu beslenme miktarının azalması, yeraltısu beslenme miktarında ki azalmaya bağlı olarak deltada ki göllerin kuruma noktasına gelmesi, sulak alanda depolanan suyun tutulma süresinin uzaması sonucunda su kalitesinde bozulma, taşkınların engellenmesi sonucunda organik madde veya besin miktarında azalma gibi değişimler, deltanın hidrolojik rejiminin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, bir sulak alan sisteminin drenaj alanı içinde, sulak alan sistemi göz ardı edilerek gerçekleştirilen yapay faaliyetlerin, sulak alanın hidrolojik yapısını ve dolayısı ile sistemin nasıl ve hangi oranda etkilendiğine güzel bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 2. 12. 1960–1999 yılları arası Balıklı Göl’de gözlenen su seviyesi (b: Savran ve Otay (2002)’den değiştirilerek alınmıştır).

Bununla birlikte bir sulak alan sisteminde suyun azalması sulak alan sisteminin olumsuz yönde etkilerken, suyun çok olması da sulak alan sisteminin olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Örneğin, ülkemizin batısında yer alan Manyas Gölü su seviye değeri 1969-1992 yılları arasında 14.5 m ile 16.0 m arasında değişirken, gölü drene eden, Karadere üzerine yapılan regülatör ile gölü su seviyesi 1993-1997 yılları arasında 15.4 m ile 16.8 m arasında tutulmuştur. Manyas Gölü hidroperiyodu dikkate alınmadan gerçekleştirilen bu faaliyet sonucunda, Kuşçenneti Milli Parkında kuşların kuluçka yaptığı söğüt ağaçlarının gövdeleri yıl boyunca su altında kaldığı için, 1997 yılında bu ağaçların tamamı kurumuştur (Şekil 2.13; OSİB, 2003; Erdem, 2009). Dolayısı ile sulak alan ekosisteminin beslenme alanında veya memba kesiminde yapılması planlanan faaliyetlerin fizibilite aşamasında, sulak alanın hidroperiyodu belirlenmeli ve söz konusu faaliyetin sulak alan ekosistemine etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 2.13. Kuş Gölü su seviye değişiminin sulak alan ekosistemine etkisi.

Son söz; sulak alan ekosistemlerinde başarılı bir yönetim planlaması için sulak alanların hidrolojik davranışları, sistemin fiziksel yapısını temsil edecek şekilde anlaşılmalı ve ortaya konmalı, alanda suyun kullanımına sistemin hidrolojik yapısını bozmadan yani sistemin zarar görmeyeceği düzeyde izin verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Acosta, CA., Perry, SA., 2001. Impact of Hydropattern Disturbance on Crayfish Population Dynamics in the Seasonal Wetlands of Everglades National Park, USA. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 11(1):45-57.
- Ardos, M., 1996. Türkiye’de Kuvaterner Jeomorfolojisi. Çantay Kitabevi Yayınları, İstanbul.
- Arslan, H., 2004. Bafra Ovası Sağ Sahil Sulaması Taban Suyu Raporu (01/10/2003-30/09/2004). DSİ VII. Bölge Müdürlüğü, Samsun.
- Arslan, H., 2005. Bafra Ovası Sağ Sahil Sulaması Taban Suyu Raporu (01/10/2004-30/09/2005). DSİ VII. Bölge Müdürlüğü, Samsun.
- Arslan, H., 2006. Bafra Ovası Sağ Sahil Sulaması Taban Suyu Raporu (01/10/2005-30/09/2006). DSİ VII. Bölge Müdürlüğü, Samsun.
- Aydın, H. 2009. Sulak Alanların Hidrolojik Davranışları. OSİB (ed.) Sulak Alan Bilinçlendirme Alt Projesi Eğitim Materyali. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Aydın, H., Karakuş, H., Meriç, B. T., 2011a. Sulak Alan Ekosistemlerinde Su Yönetimi: Kızılırmak Deltası Örneği. 9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 05-08 Ekim 2011, Samsun.
- Aydın, H., Erdem, O., Meriç, B. T., Karakuş, H., Gölge, M., 2011b. Akyatan ve Tuzla (Adana) Sulak Alan Sistemlerinde Su Yönetimi. II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran, 2011, Kırşehir.
- Aydın, H., Meriç, B. T., Karakuş, H., Çağırankaya, S., 2011c. Işıklı Göl-Gökgöl (Çivril-Denizli) Sulak Alan Sisteminin Hidrodinamik Yapısı. II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran, 2011, Kırşehir.
- Aydın, H., Karakuş, H., Meriç, B. T., 2012. Sulak Alan Yönetim Planlarında Hidroloji. Biyolojik Çeşitlilik Kongresi, 22-23 Mayıs 2012, Ankara.
- Bayazıt, M., 2011. Hidroloji. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Bayazıt, M., Avcı, İ., Şen, Z., 2012. Hidroloji Uygulamaları. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Carter, V., 1996. Wetland Hydrology, Water Quality and Associated Functions. Judy D. Fretweil, JD., Williams, JS., Redman, PJ. (eds.) National Water Summary on Wetland Resources. United States Geological Survey (USGS) Water-Supply Papers, No: 2424, Washington.
- Ceren, Y., 2006. Sulak Alanların Akılcı Kullanımı. Çevre ve İnsan Dergisi, Sayı: 66, 16-20 s.
- Demir, A., 2008. Akyatan Lagününde Tuzluluk ve Bazı Kirlilik Düzeylerinin Saptanarak Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Dağılımlarının Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Dugan, P J., 1990. Sulak Alanların Korunması (Wetland Conservation: A Review of Current Issues and Required Action), Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul.
- Ekmekçi, M., 2003. Review of Turkish Karst With Emphasis on Tectonic and Paleogeographic Controls. *Acta Carsologica*, 32(2), 205-218.
- Erdem, O., 2004. Sulak Alanlar, Önemi, Temel Sorunları, Türkiye’nin Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanları. Haber Ekspres Gazetesi, 28 Şubat 2004.
- Erdem, O., 2009. Türkiye’de ki Sulak Alanların Sorunlar. OSİB (ed.) Sulak Alan Bilinçlendirme Alt Projesi Eğitim Materyali. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Eroskay, SO., Günay, G., 1979. Tecto-genetic Classification and Hydrogeological Properties of the Karst Regions in Turkey. *Proceedings International Seminar on Karst Hydrogeology*, Oct. 9-19, 1979, Oymapınar, Antalya.
- EPA, 2008. Methods for Evaluating Wetland Condition, #20 Wetland Hydrology. United

States Environmental Protection Agency, EPA-822-R-08-024, Washington.

Fitts, CR., Groundwater Science. Academic Press, Amsterdam.

Günay, G., Kurttaş, T., Kaçaroğlu, F., Değirmenci, M., Denizman, C., 1992. Laboratory Manual for Hydrogeology. Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 10, Ankara.

Gürer, İ., Yavaş, ÖM., 1992. Hidroloji. Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 17, Ankara.

Himmelblau, DM., Bischoff, KB., 1968. Process Analysis and Simulation-Deterministic Systems. John Wiley & Sons, New York.

Maidment, DR., 1993. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill Inc., New York.

Mutreja, KN., 1992. Applied Hydrology. Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi.

OSİB, 2003. Manyas Gölü Sulak Alan Yönetim Planı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

OSİB, 2008. Kızılırmak Deltası Sulak Alan Yönetim Planı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

OSİB, 2010a. Akyatan-Tuzla Lagünleri Sulak Alan Yönetim Planı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

OSİB, 2010b. Gökgöl-Işıkli Gölleri Sulak Alan Yönetim Planı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

RAMSAR, 1971. Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat. Ramsar, Iran.

Savran, S., Otay, EN. 2002. Kızılırmak Deltası Kıyı Erozyonunun Sayısal Modellemesi. IV. Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Antalya.

Seaber, PR., Kapanos, FP., Knapp, GL., 1987. Hydrologic Unit Maps. United States Geological Survey (USGS) Water-Supply Papers, No: 2294, Washington.

Şenol, M., Şahin, Ş., Duman, TY., Albayrak, Ş., Akça, İ., Taşkın Ş., 1998. Adana-Mersin Dolayının Jeoloji Etüd Raporu (1/100. 000 Ölçekli Mersin O33 Paftası). Maden Tetkik ve Arama Kurumu, Derleme No: 10098, Ankara.

Shiklomanov, I., 1993. World Fresh Water Resources. Gleick, PH. (ed.) Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources, Oxford University Press, New York.

Yılmaz, C., 2005. Kızılırmak Deltası'nda Meydana Gelen Erozyonun Coğrafi Analizi. TURQUA Türkiye Kuvaterner Sempozyumu V, 2-5 Haziran 2005, İstanbul.