

Sayı (Number): 2



İklim Değişikliği ve Kuraklık

Zekâi Şen

Ocak (January) 2017
İstanbul - Türkiye

KURAKLIK KÜLLİYESİ
TURKISH WATER FOUNDATION
DROUGHT FACULTY

KURAKLIK BÜLTENİ : SAYI 2

İklim Değişikliği ve Kuraklık

Zekai ŞEN

©2017 SU VAKFI

Tüm yayın hakları anlaşmalı olarak Su Vakfı'na aittir.
Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir, izinsiz çoğaltılamaz, basılamaz.

Basıma Hazırlayan :
Muhiddin YENİGÜN



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doęanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr

İklim Değişikliği ve Kuraklık

Zekâî Şen

Su Vakfı

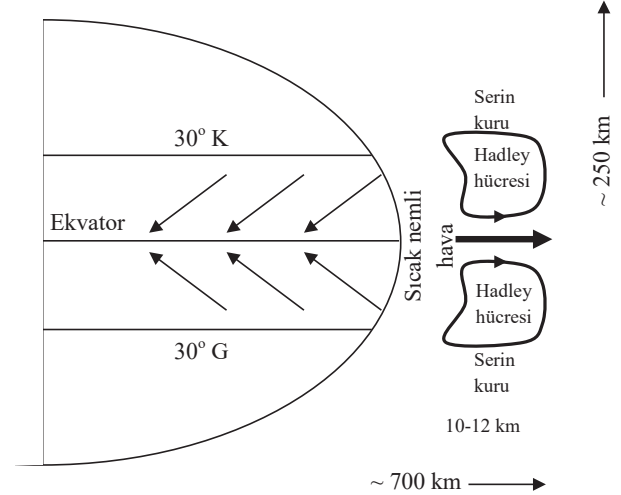
1 Giriş

İklim değişiklikleri dünyanın yaratılışında beri her zaman var olan bir olaydır. Bu değişiklikler doğal olayların kendi aralarındaki dengenin bir ölçüye kadar bozulması ile ortaya çıkmıştır. İklim biliminin en önemli göstergesi olan sıcaklık geçmiş milyonlarca yıllar boyunca bazı dönemlerde artmış bazılarında ise azalmıştır. Buna göre iklim değişikliğinin gittikçe ısınan veya soğuyan etkileri ortaya çıkarmıştır. Gittikçe ısınma durumlarında buzulların erimesi ve kurak kuşakların kutuplara doğru kayması ve gittikçe soğumada ise buzulların ekvatora doğru ilerlemesi hareketleri rol oynamıştır. İklim değişikliğinin küresel ölçekte varlığı buzulların geri çekilmesi veya ilerlemesi ile ilgilidir. Aslında dünyanın ömrü boyunca ortaya çıkan iklim değişiklikleri bugünkü canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri için önemli kaynakların orta çıkmasına sebep olmuştur. İklim değişiklikleri olmasaydı bugün için faydalandığımız kömür, petrol, doğal gaz, maden servetleri gibi yeraltı zenginliklerinin ortaya çıkması da mümkün olamazdı. Buzulların ilerleme veya geri çekilmesi dünyanın küresel olarak ortalama sıcaklığının artması veya azalması ile ilgilidir. İnsan ve canlıların kendi bünyelerinde sıcaklık değişiminin onlarca °C olmasına karşılık dünyayı saran atmosferdeki sıcak-

lığın ortalamasının bu şekilde büyük sıcaklık farklarına karşı dayanıklılık göstermesi canlılar için oldukça zor şartların meydana gelmesine sebep olur.

2 İklim Kuşakları kayması

Meteoroloji açısından ortalama olarak küresel ısınmanın 1 °C derece artması halinde Su Vakfı (2006) tarafından yapılan basit bir hesaplama ile bugün için güneydeki kurak kuşakların 250 km kadar kuzeye kayması beklenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1 Kurak kuşakların kuzeye kayması

Bu durum Türkiye iklim bölgelerini yakından etkileyerek güney bölgelerimizin daha kurak hale gelmesine sebep olabilecektir. Bunun bütün olarak özellikle yaz aylarındaki etkisi Arap Yarımadası'nın devamı olarak Suriye kurak alanlarının Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Ege bölgeleri ile

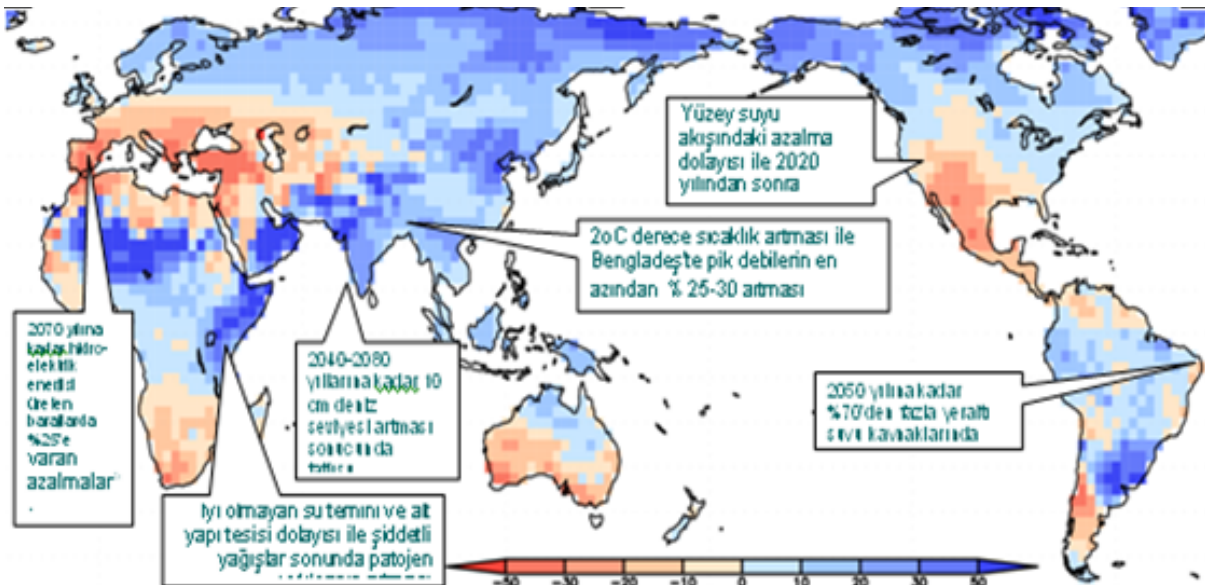
zaman zaman birleşerek daha yaygın ve etkin bir hale gelmesine de sebep olabilecektir.

Bugün sözü çokça edilen iklim değişikliğinin önceliklerinden en önemli farkı artık insanın kendi faaliyetleri sonucunda atmosferi kirleterek kimya bileşenini değiştirmesi ile ortaya çıkmasıdır. Bir başka deyimle doğal iklim değişikliği yanında bugün artık yapay iklim değişikliği de ortaya çıkmaktadır. Burada kısaca söylemek gerekirse eskiden (yaklaşık 25-30 sene önce) hidrolojik ve meteorolojik açıdan yapılan kayıtların gelecekte de aynı ortalama davranışları göstereceği kabul edilerek su tasarımlarının yapılması yoluna gidildi. Bugün insan kaynaklı etkilerin işine girmesi ile artık geçmiş verilerin geleceği olduğu gibi temsil edemeyeceğine karar verilmiştir. Artık geçmiş geleceğin aynası değildir. Bunun anlamı geçmişte hidro-meteoroloji olaylarının (yağış, taşkın, kuraklık, yeraltı suyu beslenmesi, vb.) davranış biçimlerini temsil eden parametrelerin gelecekteki davranışlarının önceliklerden daha farklı olacağı esasına dayanmaktadır.

Burada doğal iklim değişikliği yerine ona ilave olarak bir etkinliği olan yapay iklim değişkenliğinden (insan kaynaklı faaliyetler) de söz edilecektir. Bu tür iklim değişkenliğinin kuraklık süre, büyüklük ve şiddetlerine tesiri vardır.

Kuraklığın yağışa bağlı türlerinden birincisi sürekli kuraklık (çöl, kurak ve yarı-kurak bölgelerde), ikincisi mevsimlik kuraklık (astronomik etkiler), üçüncüsü düzgün olan kuraklık (doğal etkiler veya iklim değişikliği), dördüncüsü ve en belirsiz ve zararlı olanı düzgün olmayan (rastgele) kuraklıktır.

İklim değişikliği 4. Değerlendirme Raporunun 2. Çalışma Grubu iklim değişikliği konusunda yayınlanmış binlerce bilimsel eseri dünyaca uzman kişilerin süzgecinden geçirerek iklim değişikliğinin etkileri, uyarlama (adaptasyon) ve maruz kalma stratejilerini tatlı su kaynakları açısından belirlemiştir (Kundzewica vd., 2007) Sıcaklık, buharlaşma ve tartışmalı olan yağış değişimlerine göre yüzey akışı ve yeraltı suyu beslenmelerinde ortaya çıkabilecek değişimlerin dağılımları belirlenmiştir (Chiew, 2007). Hidrolojik süreçlere iklim değişikliğinin bazı etkileri belirlenerek geleceğe yönelik öngörüler de yapılmıştır (Rozenzweig, vd. 2007). Bu değişimler bölgesel ve mevsimlik olabilmektedir. Şekil 2 su bağlantılı iklim değişikliğine maruz kalabilecek hedef bölgelerin gelecek yıllardaki durumunu göstermektedir. Bu şekil çeşitli iklim değişikliği senaryolarından elde edilmiş sonuçların ortalamaları esas alınarak hazırlanmıştır (Nohara vd., 2006).



Şekil 2 Tatlı su kaynaklarına iklim değişikliğinin tesirini gösteren harita (Kundzewicz vd., 2007).

Bu haritaya göre yüzeysel su akışı bazı akarsu havzalarında iyileşirken bazılarında da kötü yönde etkilenme vardır. Böylece iklim değişikliğinin bazı yörelerdeki faydasına karşılık bazı yörelerde de zararları beklenmektedir. Bu asrın yarısına doğru yıllık ortalama nehir akışı ve su varlığının orta enlemlerdeki alt tropik ve tropik bazı kurak bölgelerde %10 ile %30 arasında azalması beklenirken sulak olan yüksek enlemlerde (kutup bölgelerine doğru) %10 ile %40 arasında artışların olması beklenmektedir (Milly vd., 2005). Bu durum Türkiye için de geçerlidir. Önceki cümle ve Şekil 2’de gösterilen iklim kuşakları kaymalarına göre Türkiye’nin güney kısımlarında kuraklık şiddet, süre ve etkileri artarken kuzey kısımlarında ise taşkınların artması beklenmektedir. Bugün için kurak ve yarı-kurak alanlarda mevcut olan su sıkıntılı sorunlar su kaynaklarının varlığında beklenen azalmalar dolayısı ile ilave zararlar görmesi de beklenmektedir.

Kış mevsimlerinde yağışların yağmurdan kara kayması sıcaklıklarında artması ile birçok kara ve dağlık bölgede yüzey akışlarının debilerinin tepe noktalarında zamanla daha erken ortaya çıkması söz konusudur. Bu durum kurak süreleri arttıracak bir etkiyi de beraberinde getirmektedir. İlkbahar kar erime zamanlarında görülen erkenleşme bu mevsimdeki yüzeysel akışın azalarak kış mevsimine doğru kaymasını göstermektedir. Küresel ısınma ile buzulların geri çekilmesi sonucunda yüzey akışı kısa zamanda artar ama buzulların ortadan kalkması ile de azalır. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde su miktarlarında azalmalar görülür. Böylece daha uzun süreli ve şiddetli kuraklıkların ortaya çıkması beklenir. Dünya nüfusunun yaklaşık altıda biri (bir milyardan fazla kişi) dağlardaki kar ve buzulların erimesi sonucu su kaynaklarının beslendiği bölgelerde yaşar ve buralarda yüzey sularının akış zamanında ortaya çıkan kaymalar sonucunda su

kaynaklarının kullanımında bazı sorunlar da belirir. Bu durum, Türkiye’de Dicle ve Fırat nehirlerinin debilerinin gerek miktarını gerekse tepe debisi görünme zamanını etkileyecektir. Uzun vadede miktarda azalma tepe debisi ortaya çıkma zamanında ise öne çekilme durumu gözlenecektir.

Taşkın ve kuraklık sıklık ve şiddetlerinde de değişikliklerin olması şimdiden öngörülmektedir. Şiddetli yağışlardan sonra ortaya çıkan yüzey akışının hacminde artmalar beklenmektedir. Özellikle ekvator ve kutup bölgelerinde yağışların sıklık ve şiddetlerinde artışlar olacaktır. Yağış şiddetinde artış beklenen bölgelerde taşkın miktar ve sıklıklarında da artışların ortaya çıkması beklenmektedir. Buna karşılık yağış şiddetinin azalacağı birçok bölgede kuraklık sıklık ve şiddetinin artması beklenmektedir. Genel olarak, bu asrın sonlarına doğru kuraklığın etkilediği alanlar artacak ve bugüne göre daha aşırı kuraklığa maruz kalacak bölgelerin nispeti ise 10 kat artacaktır. Bazı su toplama alanlarında da taşkın ve kuraklıkların birbiri ardına sıra ile artması da mümkündür.

3 Kuraklıkların Etkileri

Taşkın ve kuraklık gibi uç değerler iklim değişikliği veya değişkenliğine bağlıdır. İklim değişikliği bazı alanların olağandan daha sıklıkla kuraklığa maruz kalmasına sebebiyet verirken diğer alanlarda da taşkınların daha sıklıkla ortaya çıkmasına sebep olur. Tüm bu etkilerin su kaynakları üzerine tesirleri görülür. Mesela, kuraklık dolayısı ile yeraltı sularına talep artar ve yeraltı suyu seviyelerinde düşmeler baş gösterir ama taşkınlar sayesinde de gerekli beslenmeler olur. İşte bu su çekimleri ve beslenmeler arasında bir dengenin tesis edilememesi insan kaynaklı etken olarak iklim değişikliği veya kuraklık dolayısı ile yeraltı suları yerine tesirini gösterir. Kuraklıkların en önemli etkilerinden birisi yeraltı suyunun kirlenmesi ve kalite bozukluklarının ortaya çıkmasıdır.

İklim bilimi ve hidroloji ile uğraşanlar bölgesel iklimlerin taşkınların tarihlerinde ve kuraklıkların anlaşılmasında önemli rol oynadıklarını bilmektedir. Bizim artık alışmaya başladığımız iklim değişikliği hissiyatımızla taşkın ve kuraklıkların önceden yapıldığı üzere sadece bir nokta veya küçük alanları göz önünde tutarak incelememiz yerine dünya ölçeğindeki iklim değişikliği etkilerini de işin içine katmamız gereklidir. Başlangıç olarak taşkınlar daha kısa zaman (gün, ay, mevsim) aralıklarında ortaya çıkarak etkisini oldukça ani gösterir ama kuraklıkların etkisini hissetmek için oldukça uzun zaman ve bu zaman içinde değişik olaylara dikkat etmek gereklidir.

Ortaya çıkmadan önce kuraklıklar daha ısrarlı hava desenlerinin belirmesini gerektirirler. Bir bölgedeki kuraklıkların sıra ile ortaya çıkan değişik meteorolojik şartların ortak veya birbirini takip ederek tamamlayan davranışlarının bir etkisi olduğu bilinmektedir. Kuraklık ve taşkınlar normal hava şartlarının dışındaki şartlar altında meydana gelirler. Ne de olsa iklim sürekli olan bir meteorolojik olaylar dizisinin sonucunda değil oldukça karmaşık ve kesikli bir dizi meteorolojik olayların bölge ve küresel ölçekte değişkenliği sonucunda çıkar. Taşkın ve kuraklığın ortaya çıkmasının esas sebebi yerel, bölgesel veya küresel ölçekte kısa zaman dilimlerinde iklim değişkenliği ve uzun zaman dilimlerinde (onlarca yıl) iklim değişikliğinin etkisidir. Taşkın ve kuraklıkların geçmiş ve gelecek davranışlarının incelenmesinden önce göz önünde tutulan havzanın veya bölgenin coğrafya konumu, yüzey şekilleri ve özellikle meteorolojik şartları hakkında bilgi toplanması gereklidir. Bu bilgilerin sadece havza sınırları içine hapsedilmemesi ve onun etrafındaki bölgelerde meteorolojik davranış biçimlerinin düşünülmesi lazımdır. Mesela, iklim sisteminde okyanusların üzerinde thermohaline (yoğunluk farkı dolayısı ile ortaya çıkan geniş okyanus dolaşimleri)

denilen ani değişiklik, uzun yıllar boyunca süren kuraklık etkileri, hızlıca kar ve buzların erimesi kuraklık ve taşkın etkilerinin artmasına sebep olurlar.

3.1 Düşük Akım ve Kuraklıkta Değişimler

İklim değişikliğinin öncelikle yağış, sıcaklık ve potansiyel terleme+buharlaştırma (evapotranspirasyon) ve bunların birlikteki davranışları sonucunda kuraklıkların ortaya çıkması ve şiddetini de etkilemesi beklenmektedir. Ancak kuraklığın ortaya çıkmasında iklim değişikliği, onyıllık iklim değişkenliği ve insan etkilerinin hangisinin veya hangilerinin ne oranda rol oynadığını ayırt etmek pek mümkün değildir. Yirmi birinci yüzyılda geçmiş yıllardan daha fazla sıklık ve şiddette ortaya çıkan kuraklıkların insan ve faaliyetlerini de öncekilere göre daha fazla etkilediği küresel olarak görülmektedir. Bu kuraklıkların sıcaklık artması ve yağış azalmalarına bağlı olduğu değişik araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Zhang et al., 2007). Kuraklıklar için olan bu durumlar sıcaklık dalgalarının artması için de geçerlidir. Batı Avrupa'da 2003 yılında görülen yüksek basınç sistemi batıdan gelen nemli hava kütlelerini engelleyerek Kuzey Afrika'dan gelen sıcak ve kuru hava kütlelerinin kuzeye doğru hareket etmesine sebep olmuştur. Bunun sonucunda büyük yağış eksiklikleri ve rekor kıran sıcaklık artışları Orta ve Güney Avrupa üzerinde etkisini göstererek, o yılın Mart ayından Eylül ayına kadar kurak şartların hüküm sürmesine sebep olmuştur. Gözlenmiş ve tamin edilen hidrolojik kuraklıklar üzerine yapılmış çeşitli çalışmalar vardır (an Lanen et al., 2007; Huntington, 2005; Hisdal et al., 2001; Tallaksen et al.,(2007). Avrupa'da 2003 yılında ortaya çıkan ısı dalgası ve kuraklıklara ilave olarak 300 mm'ye kadar varan yağış eksikliği de bu olayların süre ve şiddetini artırmıştır. Tarım ürünleri üretiminde düşüş ve bunların yerini doldurmak için yapılan harcamalarda ise artışlar görülmüştür. Birçok nehir yüzyıllardır ilk defa en

düşük seviyelerinde akış göstermiştir. Bunun sonunda iç gemi ulaşımı, sulama ve enerji-üretim termik santral soğutmalarında sorunlar ortaya çıkmıştır (Beniston and Díaz, 2004; Zebisch et al., 2005). Buzullar tarafından kısmen beslenen nehirler buzulların erimesi ile fazlaca akışa maruz kalmış ve bu sırada terleme+buharlaşıma artmıştır. Son 30 yılda kuraklıklar daha kapsamlı, şiddetli ve uzun süreli olmaya başlamıştır. Bunun sebebi azalan kara yağışları, fazlalaşan terleme+buharlaşıma ve kuru hava şartlarıdır. Özellikle tropik bölgelerde ortaya çıkan kuraklıkların kapsamı deniz yüzü sıcaklıklarından, atmosfer dolaşımaları ve yağış deseninden tespit edilebilmiştir.

3.2 Hidroloji ve Su Kaynakları

Yakın dönemdeki kanıtlar ayrıca gittikçe artan kuraklıktan en çok etkilenen kurak (kurak bölge yıllık olarak düşen yağmur miktarı 25 cm'nin altında olan) bölgeleri tanımlamak için kullanılır. Çok kurak bölge ise çok az yağmur düşen ve maki türü bitki örtüsüne sahip bölgeleri ifade eder. Çok kurak bölgelerinde bulunduğunu ve bu bölgelerin zaten sıcak ve kuru bir iklime sahip olmasından kaynaklandığını göstermektedir. Son

yirmi yıl içinde sıcak mevsim boyunca dağlık bölgelerdeki yoğun ve ağır yağmur sebebi ile ani taşkınlar ve toprak kaymalarında belgelenmiş bir artış görülmektedir. Küresel ölçekte yüksek kuzey boylamlarında gözlemlenen sızamamış su miktarındaki artış ve bazı alt tropik bölgelerdeki kuraklık son dönemdeki küresel yağmur gidişleri (trendleri) ile çakışmaktadır. Bazı göl su seviyelerinde yükselme, bazılarında ise alçalma görülürken, ısınma sebebi ile epishelf (epishelf bir buz tabakası ardında sıkışarak kalmış tatlısu yapısıdır) veya donmuş kontrollü göllerde de azalma veya kaybolma görülmektedir.

Bugüne kadar bölgesel iklim değişikliklerinin etkileri sınırlı ekonomik sonuçlar doğurmuştur. Ekonomik sektör uyarlanabilirlik (adapte olma) yeteneği kapsamı içinde görünmektedir. Ancak hem tarım hem de ormancılık ısınma ve kuraklık olaylarında son zamanlarda görülen aşırılıklara karşı ne kadar korunmasız olduğumuzu göstermektedir.

Kuraklıktaki yakın dönem gidiş (trend) gözlemleri ve yağışın değişen karakteri (Trenberth 2003) Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1 Kuraklıkta gözlemlenen değişiklikler

Yazarlar	Dönem	Yer	Gözlemlenen değişiklik
Dai (2004)	1970'lerden bu yana	Küresel	Çok kurak bölgelerde (PKŞG < -3.0) ~%12'den %30'a yükseldi
Shabbar (2004)	1940'lardan yakın döneme kadar	Kanada	1995 yazından sonra PKŞG ortalamasında bütün ülke için daha kurak şartlar
Barlow (2002)	1980'den sonra	Orta ve Güney Batı Asya Ortadoğu	Ağır kuraklık
Dai (2004)	1950'den bu yana	Batı Afrika Sahili	1990'larda yağmurun 2003 yılında tekrar düzelmesine karşın 1960'ların sonlarında başlayan kuraklık bitmedi ve sıcak ve kuru iklim sebebi ile kuruma var Azalan yağmur ve artan sıcaklık sebebi ile kuruma
Dai et. al. (2004)	1960'dan bu yana	Batı Rusya Orta Kuzey Çin	Çok yıllık aşırı kuraklıkla birlikte ardı ardına gelen yağışlı yıllar
Peter (2003) Wang (2003) Ma and ve Fu (2003) Pagano (2005)	20. Yüzyıl 1980'lerden bu yana 1980'lerden bu yana	Batı ABD	1998'den günümüze en ağır kuraklık içinde ENSO ile ilişkili kuraklıkların yoğunlaşması
Andreadis (2005)	1915-2003	Batı ABD	
Fauchereau (2003)	20.yüzyıl	Güney Afrika	

Birkaç bölgede yüksek ısıdan kaynaklanan yaz kuruması görülmektedir. Bu durum uzun süreli düşük yağışla birleştiğinde potansiyel buharlaşmanın itici gücü meydana gelmektedir. Üstelik genel olarak kar örtüsündeki azalma düşük toprak nemine ve yaz aylarında düşük nehir akışlarına sebep olmaktadır.

Meteorolojik kuraklık (uzun süren yağış eksikliği) tipik olarak hidrolojik kuraklığın (yerüstü sularının nehirler, göller ve yeraltı suyu düşük seviyesinin), tarımsal kuraklığın (düşük toprak nemi seviyesi ve bunun yetiştirilen bitkiler üzerindeki ters etkisi) ve çevresel kuraklığın (eko-sistemler üzerindeki etkiler) kaynağıdır. Su ve su ile bağlantılı ekonomik mallar ve hizmetlere (hidro-elektrik enerji, balık, su kültürü, sulanan tarım, bahçecilik ve ormancılığa) talebin arzı aştığı zamanlarda ortaya çıkar. Su kıtlığının bazı yönleri sosyo-ekonomik faaliyetler ve politika ile ilişkili olabilir. Mesela, kent bölgelerinde hem kaynağın fizik kıtlığı hem de yetersiz hizmet sunumu su sıkıntısına yol açabilir.

Son zamanlarda birkaç bölgede geniş alanı etkileyen kuraklıklar meydana gelmiştir. Kuraklıklar geniş alanları (kıta altı ölçeğine kadar) etkileyebilir ve yapıları itibarıyla zaman bakımından aylardan yıllara ve on yıllara kadar uzanabilir. Özellikle, Güney Afrika Sahil bölgesinde yağmurdaki düşüş ve bunun sonucu olarak toprak nemindeki, göl ve nehir seviyesindeki düşüşlerdir. Bu bölge henüz 1960'lerde başlayan kuraklığı atlatamamıştır. 1990'lardaki izole yağışlı yıllar uzun vadeli eksikliğini gidermeye yetmemiştir (L'Hote, 2002; Ozer vd., 2003).

Kuraklık ve bazı insan faaliyetlerinin kombinasyonu korunmaya muhtaç bölgelerin çölleşmesine yol açabilir. Afrika'da kuraklık ve çölleşme her zaman mevcut olmakla birlikte yayılan Sahil bölgesi kuraklığı demografik baskı ile birleştiğinde toprak

ve biyo-üretici kaynakların daimi olarak bozulduğu korunmaya muhtaç alanların çölleşmesi sürecini dramatik biçimde hızlandırmıştır. Sahil kuraklığı için çeşitli ve açıkça belirlenebilen insan kaynaklı faktörler bulunmaktadır (aşırı ekim, aşırı otlama, vs.). Sahil bölgesinde geleneksel hayat biçimi olan göçebeliliğin yerini, hayvan çiftliği ve üretim programlarına sahip sürekli yerleşim yerlerinin alması, su kaynaklarının aşırı sömürülmesine yol açmıştır (Kundzewicz vd., 2002).

Gelişmiş ülkelerde bile aşırı kuraklık önemli çevre, ekonomik ve sosyal kayıplara sebep olabilir. Avrupa'da 2003 yazında çok ağır, yaygın ve uzun süren bir yaz kuraklığı yaşanmıştır. Bu kuraklık yağış kıtlığı ve bazı Avrupa ülkelerinde 40°C'yi aşan ve ulusal kayıtları geçen, rekor derecede yüksek hava sıcaklığının ortak etkileşiminden doğmuştur. Güney Avrupa'daki sıcaklık dalgası, yetersiz yağışla birleştiğinde yabanî yangınlara, su temininde ve enerji üretiminde sorunlara ve ürün başarısızlıklarına yol açmıştır. Bu durum sera iklimindeki yazların eşdeğeri olabilir (Beniston, 2004; Beniston ve Diaz, 2004; Schär vd., 2004; Schär ve Jendritzky, 2004). Bir çok nehirde yıllık minimum günlük akış zaman dizini karmaşık bir davranış gösterir. Zhang vd. (2001) yıllık minimum günlük ortalama akışın Güney Kanada'da azalırken kuzey bölgesinde (Kuzey İngiliz Kolombiyası ve Yukon Bölgesi) arttığını saptamışlardır. Douglas vd. (2000) ABD'nin orta batısında ve daha küçük ölçekte olmak üzere ABD'nin üç küçük bölgesinde düşük akışlarda yukarı doğru bir gidişin (trendin) bulgularını ortaya çıkarmışlardır. Eğer bölgesel kıyaslamalı paralellik gözardı edilmiş olsaydı dramatik biçimde farklı bir yorum ortaya çıkabilirdi (o zaman çok daha fazla örnekte önemli gidişler bulunabilirdi). ABD nehir akış verisinin Lins ve Slack (1999) tarafından yapılan analizi 1924-1993 arası 70 yıllık bir dönem-

de analiz edilen yıllık en küçük (minimum) günlük ortalama zaman dizinlerinin yaklaşık yarısı (34 örnek) önemli gidiş gösterirken, 32 gidişin artma yönünde ve yalnızca 2 gidişin azalma yönünde olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Seller ve kuraklıkların etkisi birçok sektörde görülebilir. Tarımda (yağmurla besleme, sulama), enerjide (hidro-enerji, soğutma), taşımacılıkta (deniz taşımacılığı, demir, kara ve hava seyahatlerinde kesinti) yerleşim yerleri ve alt yapıda (kentsel su temini, atık su, yapı güvenliği), sağlık ve insan refahında (ishal, salgınlar, sıkıntılar), sigorta ve finansal hizmetlerde (maddi zarar, ölümler, ticarete kesintiler).

Dünya'da su güvenliğinin sağlanması ve kuraklık etkisinin en aza indirilmesi için aşılması gerekli görülen temel sorunlar şu başlıklar altında tanımlanmıştır:

1. Temel ihtiyaçların karşılanması: Güvenli ve yeterli içme, konut ve atık su sistemlerine ulaşmanın temel insan ihtiyaçları olduğunu, sağlık ve refah için temel teşkil ettiğini tanımak, insanları, özellikle kadınları, su yönetiminin katılımcı süreci vasıtasıyla yetki sahibi kılmak,
2. Eko-sistemlerin korunması: Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi vasıtasıyla eko-sistemlerin bütünselliğini güvence altına almak,
3. Gıda arzı güvenliğinin sağlanması: Gıda üretimi için suyun daha verimli bir şekilde temini ve kullanımını yanında daha hakça tahsisi sağlanarak, özellikle yoksulların ve korunmasız insanların gıda güvenliğini geliştirmek,
4. Su kaynaklarının paylaşımı: Mümkün olduğu zaman devletlerin kendi bünyesinde sınır ve sınıraşan suların varlığı halinde ilgili devletler arasında sürdürülebilir nehir havzası yönetimi veya diğer yaklaşımlar vasıtasıyla barışçı

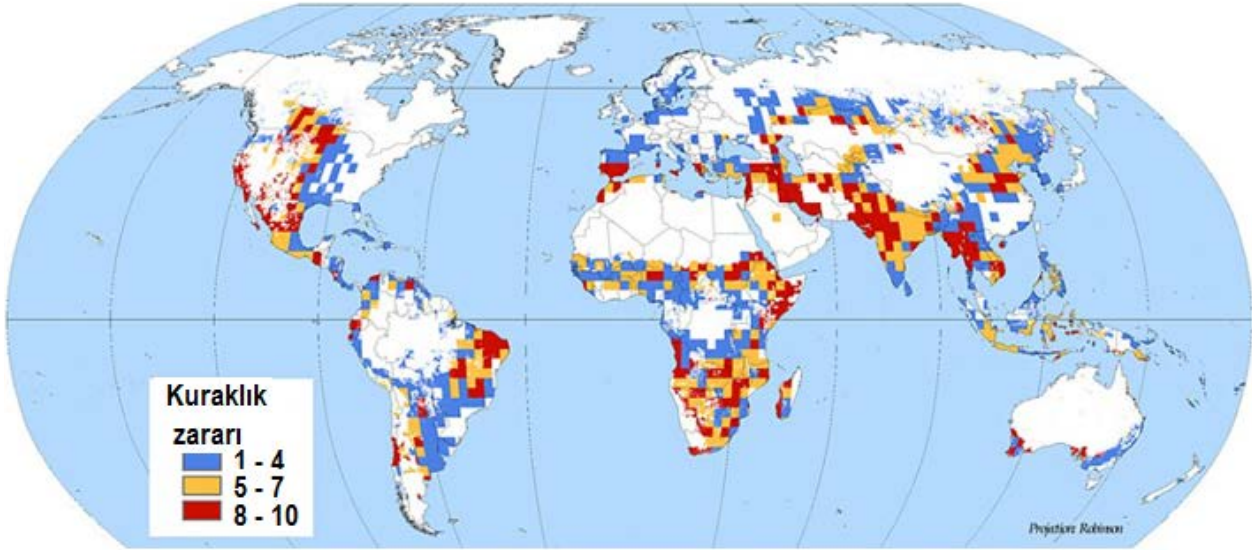
işbirliğini ilerletmek ve her düzeydeki değişik kullanım türleri arasında dengeli bir etkileşimi geliştirmek,

5. Risklerin yönetilmesi: Kuraklıklara, taşkınlara, kirlenme ve su ile ilgili zararlara karşı güvenlik sağlamak,
6. Suyun ekonomik değerinin tayini: Bütün kullanım türleri için suyun ekonomik, sosyal, çevresel ve kültürel değerlerini yansıtarak su yönetimini gerçekleştirmek ve su temini maliyetini yansıtacak şekilde su hizmetlerinin fiyatlandırılması yolunda ilerlemek,
7. Suyun akılcı kamusal yönetimi: Halkın katılımı ve bütün ilgili grupların çıkarlarının su kaynakları yönetimi kapsamına sokulduğu iyi bir kamusal yönetimi güvence altına almak.

4 Kuraklıklar

Dünya Bankası, yakın tarihli bir raporunda dünya çapında bildirilen afetleri ve bu afetlerle ilişkili ekonomik kayıplar ve can kayıplarını analiz etmektedir (Dünya Bankası, 2005). Şekil 3 1980 ila 2000 yılları arasındaki dönemde kuraklık sıklığı ve mekân dağılımını göstermektedir. Bu durum mevcut kuraklık riski olarak yorumlanabilir. Bu şekil bildirilen kuraklık olaylarının sayımını sunmakta ancak olayın yoğunluğunu değerlendirmemektedir. Burada kuraklığın ortalama yağış kalıbından sapma olarak tanımlanan *meteorolojik kuraklık* olarak belirlendiğine dikkat edilmelidir. Hidrolojik kuraklıkların sonuçları bölgesel/yerel şartlara (toprak tipi, ürün tipi, yeraltı suyunun mevcudiyeti ve derinliği, su depolaması vs.) bağlıdır.

Bu şekil 2,5x2,5 dk şebekeli veriler Standart Yağış Ağırlıklı Anomalisi (WASP) kullanılarak IRI tarafından 1980 ila 2000 döneminde 2,5 derecelik çözünürlükteki aylık ortalama yağıştan yararlanılarak yapılmıştır. WASP belirli sayıda ay üzerinden yağış eksikliği ya da fazlasını yağıştaki mevsim



Şekil 3 Küresel kuraklık zararı sıklığı ve dağılımı (Dünya Bankası, 2005).

döngü değişkenliğinin boyutu ile ölçerek değerlendirmiştir. Yağış verisine üç aylık ortalama akış uygulanmış ve her bir düğüm noktası için 21 yıllık yağış ortalaması hesaplanmıştır. Üç aylık ortalama yağışın günde 1 mm'den az olduğu düğüm noktalarını elemek için bir süzgeçleme (filtreleme) uygulanmıştır. Aylık yağış eksikliğinin birbirini izleyen üç veya daha fazla ay için uzun vadeli ortalama değerinin yüzde 50'sine denk ya da daha az olması halinde kuraklık olayları belirlenmiştir. Sonra düğüm hücreleri yaklaşık olarak aynı sayıda düğüm hücresine sahip olacak on sınıfa bölünmüştür. Daha yüksek hücre değerleri kuraklığın daha yüksek sıklıkta meydana geldiğini göstermektedir.

İklim değişikliği yağışta azalma ile birlikte buharlaşma+terlemede (evapotranspiration) bir artışa sebep olmakta ve bu yüzden şimdiden kuraklık çeken bölgelerin büyük bir kısmında kuraklık durumunu artırmaktadır. Değişen iklim şartları altında bir de tarım ve nüfus yoğunluklarındaki artışlar kuraklık şartlarına daha fazla katkıda bulunmaktadır.

Türkiye'de ortalamalara göre yıllık yağış değişimleri oldukça sık rastlanılan bir olaydır. Uzun yıllarda Türkiye üzerine düşen yağışın ortalamalardan daha fazla olduğu

yılların sayısı ve yağış miktarları ortalama-dan daha düşük olanlardan fazladır. Türkiye'de ortalamadan düşük yılların gerekli su açığını karşılamak için yağışlar sonrası akışların depolanmasına yani barajların yapılmasına gerek vardır. Mesela, Türkiye'de en fazla uzun yıllar yağış kayıtlarının olduğu yer İstanbul Kandilli Rasathanesi'dir. Buna göre şimdiye kadar en az yıllık yağış miktarı 1921 yılında 389 mm iken en yüksek yıllık yağış ise 1977 yılında 1067 mm olarak ölçülmüştür. Türkiye geçmişte yıllık yağışlardaki bu değişimlerin sonucunda 1928, 1932 ve 1940 yıllarında kuraklık tehlikesi atlatmıştır.

Ülkemizde kuraklık süresi olarak beş yıl alınması depolama tesislerinin boyutlandırılmasında ekonomik yöntem olarak makul çözümler getirmektedir. İşletme çalışmaları yapılırken akım serilerinin bir kuraklık süresi esas alınarak bu sürede ard arda gelen beş yıllık en kurak süreçte herbir yıl belli esaslarda kısıntı yapılarak ihtiyaçların karşılanması hedeflenmektedir. Söz konusu beş yıllık süreç içerisinde aşağıdaki noktalar göz önünde tutulmalıdır.

1. En kurak yılda su ihtiyaçlarının %65'inin karşılanması,
2. İşletme süresinin tamamında su ihtiyaçlarının %95'inin karşılanması,

3. Ard arda gelen 5 yıl süre ile kısıntı yapılabilmesi,
4. En kritik sürekli 5 yılda sulama suyu ihtiyaçlarının %75'nin karşılanması,
5. İşletme süresinin en az %50'sinde tam sulama yapılması ilkelerinin uygulanması depolama tesislerinin boyutlandırılmasında ve işletme aşaması için akılcı bir özellik olarak değerlendirilmektedir.

Ülkemizin coğrafya ve iklim şartları sebebi ile mevcut yağış ve buna bağlı olarak da akışların yetersiz olduğu mevsim, yıl ve kurak sürelerde başta sulama suyu ihtiyaçlarında olmak üzere içme-kullanma, endüstri ve hidro-elektrik amaçlı enerji üretiminin karşılanmasında kullanılmaktadır.

5 İklim Değişikliğinin Türkiye Etkileri

Ülkemizde su kaynaklarının geliştirilmesinden sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarının 2000 yılı sonu itibariyle geliştirdikleri projeler sonucu çeşitli amaçlara yönelik su tüketimi 6,0 milyar m³ü yeraltı suyundan 33,3 milyar m³ü ise yüzey suyundan olmak üzere 39,3 milyar m³e ulaşmıştır. Bu suyun 29,3 milyar m³ü (%75) sulama; 5,8 milyar m³ü (%15) içme-kullanma suyu 4,2 milyar m³ü (%10) ise endüstri suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan bu suyun içinde yeraltı suyundan temin edilen imkanlarla 2,1 km³ su sulamada 1,9 km³ içme-kullanma suyunda ve 2,0 km³ suda endüstri amaçlı kullanımlarda tüketilmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2 Türkiye'de 2000 yılına kadar fiili su kullanımının gelişimi

Yıl	Toplam su kullanımı (x10 ⁶ m ³)	Geliştirilme (%)	Su kullanımı					
			Sulama		İçme-kullanma		Endüstri	
			(x10 ³ m ³)	(%)	(x10 ³ m ³)	(%)	(x10 ³ m ³)	(%)
1990	30 600	28	22 016	72	5 141	17	3 443	11
1999	38 900	35	29 200	75	5 700	10	4 000	11
2000	39 300	36	29 300	75	5 800	15	4 200	10
2030	110 000	100	71 500	65	25 300	23	13 200	12

Geçmişteki iklim değişikliklerinde olduğu gibi bölge ve zaman farklılıkları olabilmektedir. Mesela, gelecekte dünyanın bazı bölgelerinde kasırgalar, kuvvetli yağışlar ile onlara bağlı sel ve taşkınlar gibi meteorolojik afetlerin şiddetlerinde ve sıklıklarında artışlar olurken, bazı bölgelerinde uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar ve bunlarla ilişkili yaygın çölleşme olayları daha fazla etkili olabilecektir.

Türkiye alt-tropikal kuşakta kıtaların batı bölümünde meydana gelen ve Akdeniz iklimi olarak adlandırılan bir büyük iklim bölgesinde yer almaktadır. Üç yanı denizlerle çevrili ve ortalama yüksekliği yaklaşık 1100 m olan Türkiye'de birçok alt iklim tipi vardır. İklim tiplerindeki bu çeşitlilik Türkiye'nin yıl boyunca kutup ve tropikal (ekva-

tor) kuşaklardan kaynaklanan çeşitli basınç sistemleri ve hava tiplerinin etki alanına giren bir geçiş bölgesi üzerinde yer alması ile bağlantılıdır. Buna topoğrafya özelliklerinin karmaşıklığı ve kısa mesafelerde değişme eğiliminde olması vb. fiziki coğrafya özellikleri de eklenebilir.

Türkiye, küresel ısınmanın özellikle su kaynaklarının zayıflaması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalar gibi öngörülen olumsuz yönlerinden etkilenecektir. Küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından risk grubu ülkeler arasında bulunmaktadır (IPCC, 2007). Atmosferdeki sera gazı birikimlerinin artışına bağlı olarak önümüzdeki son yıllarda gerçekleşebilecek bir iklim değişikliğinin Türkiye'de sebep olabileceği çevre

ve sosyo-ekonomik etkiler şunlardır (Türkeş, 1994).

1) Sıcak ve kurak devrenin uzunluğundaki ve şiddetindeki artışa bağlı olarak, orman yangınlarının sıklığı, etki alanı ve süresi artabilir.

2) Tarım üretimi potansiyeli değişebilir (bu değişiklik bölge ve mevsimlik farklılıklarla birlikte, türlere göre bir artış ya da azalış biçiminde olabilir).

3) İklim kuşakları, yerküre'nin jeolojik geçmişinde olduğu gibi ekvator dan kutuplara doğru yüzlerce kilometre kayabilecektir (Şekil 5.1) ve bunun sonucunda da Türkiye, bugün Orta Doğu'da ve Kuzey Afrika'da egemen olan daha sıcak ve kurak bir iklim kuşağının etkisinde kalabilecektir. İklim kuşaklarındaki bu kaymaya uyum gösteremeyen böcek çeşitliliği (fauna) ve bitki türleri (flora) yok olacaktır.

4) Doğal kara eko-sistemler ve tarım üretimi sistemleri hastalıklardaki artışlardan zarar görebileceklerdir.

5) Hassas dağ ve vadi-kanyon eko-sistemleri üzerindeki insan baskısı artabilecektir.

6) Türkiye'nin kurak ve yarı-kurak alanlarındaki özellikle kentlerdeki su kaynakları sorunlarına yenileri eklenecek, tarım ve içme amaçlı su ihtiyacı daha da artabilecektir.

7) İklimin kendi doğal değişkenliği açısından Türkiye'de su kaynakları üzerindeki en büyük baskıyı Akdeniz ikliminin olağan bir özelliği olan yaz kuraklığı ile öteki mevsimlerde hava anomalilerinin yağışlarda sebep olduğu yüksek rasgele değişkenlik ve kurak devreler ortaya koymaktadır. Bu yüzden kuraklık riskindeki olumsuz bir değişiklik iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisini şiddetlendirebilir.

8) Kurak ve yarı-kurak alanların genişlemesine ek olarak yaz kuraklığının süresinde ve şiddetindeki artışlar, çölleşme süreçleri-

ni, tuzlanma ve aşınımı (erozyonu) destekleyecektir.

9) İstatistik dağılımının yüksek değerler yönündeki ve özellikle sayılı sıcak günlerin (tropikal günlerin) sıklığındaki artışlar, insan sağlığı ve biyolojik üretkenliği etkileyebilir.

10) Kent ısı adası etkisinin de katkısı ile özellikle büyük kentlerde sıcak devredeki gece sıcaklıkları belirgin bir biçimde artacaktır. Bu da havalandırma ve soğutma hedefli enerji tüketiminin artmasına sebep olabilecektir.

11) Su varlığındaki değişiklikten ve ısı baskısından kaynaklanan hastalanmalar özellikle büyük kentlerdeki sağlık sorunlarını artırabilir.

12) Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları üzerindeki etkiler bölgelere göre farklılık gösterecek olmakla birlikte rüzgâr esme sayısı ve kuvveti ile güneşlenme süresi ve şiddeti değişebilir.

13) Deniz akıntılarında, deniz eko-sistemlerinde ve balıkçılık alanlarında, sonuçları açısından aynı zamanda önemli sosyo-ekonomik sorunlar doğurabilecek bazı değişiklikler olabilir.

14) Deniz seviyesi yükselmesine bağlı olarak Türkiye'nin yoğun yerleşme, turizm ve tarım alanları durumundaki alçak taşkın-delta ve kıyı ovaları ile haliç tipi kıyıları sular altında kalabilir.

15) Ormanların ve denizlerin CO₂ tutma ve salma kapasitelerindeki değişiklikler doğal hazne ve yutakların (sink) zayıflamasına sebep olabilir.

16) Mevsimlik kar ve kalıcı kar-buz örtüsünün kapladığı alan ve karla örtülü devrenin uzunluğu azalabilir ve ani kar erimeleri ile kar çığları artabilir.

17) Kar erimesinden kaynaklanan akışın zamanlamasında ve hacmindeki değişiklik

su kaynakları, tarım, ulaştırma ve tatil (piknik, eğlence) sektörlerini etkileyebilir.

18) Ayrıca iklim değişikliği Türkiye'nin özellikle çölleşme tehdidi altındaki yarı-kurak ve yarı-nemli bölgelerinde (İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinde) ormancılık ve su kaynakları açısından olumsuz etkilere yol açabilir.

Son yıllarda Türkiye ormanlarında artış kaydeden toplu ağaç kurumaları ve zararlı böcek salgınları vb. afetlerin başlıca sebepleri kuraklık, hava kirliliği ve asit yağmurları olduğuna dair kuvvetli bulgulara rastlanmıştır. Yalnız 1993-94 yılları arasında yaklaşık 2 milyon m³ ağaç serveti böcek yıkımı sebebi ile kesilmiştir. Bunun yanı sıra belki de 1970'li yıllardan başlayarak Akdeniz Havzası'nda etkili olan normalden daha kurak koşullara bağlı olarak Ege ve Akdeniz bölgelerinde kitlesel boyutlarda olmasa da gözle görülür ağaç kurumaları gözlenmektedir. Ayrıca ağaçların zayıf düşmesi, ormanların fırtına, kar, çığ ve benzeri meteorolojik afet etkilerine karşı direncini de düşürmektedir. Bunun sonucunda ağaçlarda devrik ve kırık miktarı artmaktadır. Bu da ormanın yapısını diğer zararlılara karşı dayanıksız hale getirmektedir. Bu olumsuz etkiler ormanlarımızın biyolojik çeşitliliğini, gen depolarını ve karbon tutma kapasitelerini olumsuz yönde etkilemektedir.

6 Yeraltı Suyu

Kuraklık sürelerinde yeraltı suları çokça aranır. Yeraltı suyu ve iklim birçok yönden bağlantılıdır. Yeraltı suyu sistemleri iklim şartlarındaki değişkenliğe yer üstü suyu sistemlerinden daha yavaş tepki verirler. İklim ve yeraltı suyu sistemleri arasındaki bağlantı iklim değişikliği ve değişkenliği araştırmalarının bir parçası olarak daha yüksek bir ilgi görmelidir. Hızlı akış unsurunun yeraltı su taban akışı üzerindeki egemenliği sebebi ile su toplama bölgeleri (Meuse nehri), iklim değişikliğine diğerlerinden daha duyar-

lıdır (De Wit vd. 2001). Tarihi hava sıcaklığı zaman dizinlerinin bulunduğu Kanada'nın Winnipeg bölgesindeki bir araştırmada, yağış ve yeraltı suyu seviyeleri çözümlenmiş (analiz edilmiş) ve yeraltı su seviyelerindeki değişkenliğin %75'ten fazlasının, 105 yılda %6 artan, 3 yılda bir değişen ortalama yıllık yağıştaki değişkenlikle açıklanabileceğini gösterilmiştir (Chen vd., 2004). Ortalama yıllık hava sıcaklığı ne kadar yüksek olursa hava sıcaklığının yeraltı suyu seviyesi üzerindeki etkisi de o kadar güçlü olmaktadır. "Daha sıcak ve daha kurak" bir dönemdeki yeraltı suyu seviyelerinin "daha soğuk ve daha sulak" bir dört yıllık dönemle karşılaştırılmasında (sıcaklık farkı 0,4 °C, yağış 600 mm/yıl yerine 500 mm/yıl), yeraltı suyu seviyelerindeki ortalama düşme 1,7 m olup, bu oran 1 ila 6 m arasında değişmektedir. İklim değişikliğinin güney Kanada'daki yüksek oranda geçirgen alüvyonlu katmanlardan meydana gelen fizik sınırı olmayan su içeren kayalıkları üzerindeki etkisi, nehir akışındaki (aşamalarındaki) değişikliklerin yeraltı suyu seviyelerini yeraltı suyu deposundaki değişikliklerden daha fazla etkilediğini ortaya koymaktadır (Allen vd. 2004). Bu durumun ana sebebi nehir ve yeraltı suyu arasındaki hidrolik bağlantı ve yarı-kurak havzalardaki oldukça düşük tekrar dolma oranlarıdır. Oldukça yüksek hidrolojik değişkenliğe sahip bölgelerin iklim değişikliğine mutlaka daha fazla duyarlı olması gerekmez. Zengin depolamalarla (düşük baskı) ve yüksek basınçla (yüksek baskı) ilişkili olarak geçirken katmanların (yeraltı suyu yükselmesine uygun) yeri bir alanın iklim değişikliklerine karşı duyarlılığını etkilemektedir (Schmidt ve Dikau, 2004).

Azalan yeraltı suyu seviyeleri gidişleri (trendleri) artan kuraklık gidişleri ile (iklim değişimiyle) bağlantılıdır (Jorgensen ve el-Tikiry, 2003). Yeraltı suyu izotop içeriğinin zamanla ilgisi, yağmurlu dönemlerin bölgedeki iklim döngülerinin bir parçası ol-

masına karşın, bir yağmur döneminden diğere, nemin kaynağındaki iklim şartlarında önemli bir değişiklik var gibi görünmektedir (Bajjali ve Ebu Cebel, 2002; Şen, 2008).

İklim değişikliğinin sonucu olarak dünyadaki bir çok akiferde ilkbahar dolumu aşağı yukarı aynı oranda kışa doğru kaymaktadır. Yaz dolumu ise dramatik olarak azalmaktadır. İklim değişikliği yeraltı su kaynaklarının hem niceliği hem de niteliği üzerinde etkiye sahiptir. İklim değişikliğinin yeraltı suyunun niceliği üzerindeki dolay etkileri iklimin başlattığı yeraltı suyu çekimi ve kullanımını değişikliklerinden kaynaklanabilir. İklim değişikliği bitkileşme değişikliklerine yol açarak yeraltı suyu beslenmesini etkileyebilir. Herhangi bir anahtar iklim değişkenindeki değişiklikler büyük akifer sistemlerinin yeniden beslenme oranlarını önemli ölçüde değiştirebilir ve böylece bölgedeki sürdürülebilir yeraltı suyu teminini değiştirebilir. Sığ akiferler için hava sıcaklığı yeraltı suyu seviyeleri üzerinde yağıştan daha fazla etkiye sahiptir. Güney Manitoba'da yakın dönemde yapılan bir araştırma iklim gidişlerinin yeraltı suyu seviyesi değişiklikleri ile iyi bir paralellik gösterdiğini ortaya koymuştur (Chen vd., 2002). Sonuçlar, bu bölge için küresel iklim modellerinin tahmin ettiği gibi artan hava sıcaklığı gidişinin (trendinin) net dolumu ve yeraltı suyu seviyelerini azaltabileceğini göstermektedir (Chen vd., 2004). Yosoff vd (2002) doğu İngiltere'deki bir kireç akiferi üzerinde iklim değişikliğinin etkisini araştırmış ve benzer sonuçlara varmıştır. Yaz mevsiminde aylık ortalama yeraltı suyu dolumu ve akarsu akışı %50 oranında azalarak potansiyel olarak yeraltı suyu kalitesi, yeraltı suyu çekilmesi ve hidrolojik enerji üretimi açısından sorunlara yol açmıştır (Eckhardt ve Ulbrich, 2003). Hava sıcaklığındaki yükselme ve yağıştaki azalma özellikle güney doğu Avrupa'da yeraltı su dolusunda (Eitzinger vd., 2003) ve yeraltı su seviyesinde (Lalikin ve

Sirodov, 2004) azalmalara yol açmıştır. Kuzey Rhine-Westfalia'daki bir araştırma yeraltı suyu deposu değişikliğinin dağlık kısımlarda %30'a kadar bir azalmanın tahmin edildiği ovalardakinden daha az olacağını göstermektedir (Krüger vd., 2002). İngiliz Kolombiya'sının güney ve orta bölgesinde bulunan Grand Fork akiferinde istikrarlı şartlar altında modellenen farklı iklim depolama değişikliği senaryolarına göre görülen dolum değişkenlikleri, yeraltı su sistemi üzerinde akıntının vadiyi izlediği Kettle ve Granby nehirlerinin nehir aşama yükselmesindeki değişikliklerden çok daha azdır (Allen vd., 2004).

Yeraltı suyunun kalitesi de iklim değişikliğinden bir çok yönden etkilenmektedir. Genellikle, içme suyu kaynağı olarak kullanılan yeraltı suyunun nitrat kirlenmesi şansını ısınma artırmakta ve kuraklık azaltmaktadır (Wessel vd., 2004).

7 Türkiye ve Kuraklık

Türkiye kuraklık özelliklerinin belirlenebilmesi için bir taraftan ülkenin maruz kaldığı atmosferdeki büyük ölçekli genel dolaşım hareketlerine diğer taraftan bölgesel ve yerel hava hareketleri ile değişik meteoroloji istasyonlarından doğrudan alınmış sıcaklık, nemlilik, buharlaşma ve yağışın alansal dağılımlarına bakmak gereklidir. Türkiye alt tropikal bölgededir. Türkiye'nin yüzey şekilleri genel dolaşımdaki hava hareketlerine bölgesel ve yerel karakterler kazandırır.

Bir yerdeki sıcaklık değişimine tesir eden başlıca dört etken vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir.

1. Coğrafi enlem derecesi: Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş eğikliğine, dünyanın güneş ve kendi eksenini etrafında dönme hareketleri sonucunda mevsimlere göre değişir. Yine yapılan kayıtların sayısal değerlerine bakılırsa en fazla sıcaklıklar güney ve güneydoğu

Anadolu bölgelerinde bulunur. Genel olarak, sıcaklıkların batıdan doğuya ve güneyden de kuzeye doğru azaldığı dünya sıcaklık gidişi üzerinde bölge ve yerel sıcaklık değişimlerinin etkisi iç Anadolu'da karasallığın tesiri ile biraz daha fazladır,

2. Kara-deniz etkileşimi: Karaların daha çabuk soğuyarak ısınması, denizlerde ise bunun aksi olması karaların denizlere yakın kısımlarında topografyanın da uygun olması ile yerel sıcaklık değişimleri gözlenir. Türkiye'nin üç tarafı denizlerle sarılı olduğundan Karadeniz, Ege ve özellikle de Akdeniz kıyılarında bu etkileşim sonucunda sıcaklık farklılıkları meydana gelir,
3. Karasallık: Bu denizden uzak alanlara deniz etkisinin girememesi ve sadece karaların iklim üzerine etkili olması durumlarında ortaya çıkar. Buna en iyi misal dünyada tropikal bölgelerdeki çöller verilebilir. Buralarda karaların çabuk ısınması ve soğuması sonucunda gece ile gündüz arasında büyük sıcaklık farklılıkları ortaya çıkar. Türkiye'de İç ve Doğu Anadolu bölgelerinde sıcaklık değişimleri bu türdendir. Yaz aylarında bazı iç kısımlarda sıcaklık etrafına göre kıyı bölgelerinde olduğu kadar fazla olabilmektedir. Bu tür alanlara Doğu Anadolu'nun çukur kısımlarında ratlanılır. Yaz aylarında karasallığın etkisi ile Türkiye genelinde sıcaklıklarda fazlaca farklılıklar olmaz. Bunun anlamı, Türkiye üzerinde yaz aylarında değişik bölgeler arasında fazlaca sıcaklık farklılıklarının bulunmamasıdır,
4. Topografya ve bitki örtüsü: Aslında bir yerin sıcaklık değerleri denilince meteoroloji istasyonlarından alınan ölçümler bu dört çeşit etkenin toplam olarak meydana getirdikleri sıcaklık derecesi anlaşılır ki bunlara gerçek sıcaklık derecesi adı verilir. Karasallık ve yük-

seklik etkileri beraberce yaz aylarında Türkiye'deki sıcaklık değişimine etki eden iki önemli etkindir. Türkiye'nin topografya yapısı düşünüldüğünde genel olarak üç bölge ayırt edilebilir. Bunlar kuzey, batı ve güney sahil şeritleri, oldukça düz plato şeklinde İç ve Güneydoğu Anadolu ve yüksek engebelik Doğu Anadolu bölgeleridir.

Bir bölgedeki sıcaklıkların yukarıda sayılan ilk üç etkenden meydana gelişini belirlemek için gerçek sıcaklıkların deniz seviyesine indirgenmesi gereklidir. Bunlara indirgenmiş sıcaklık ve aynı sıcaklık noktalarının bir eğri ile birleştirilmesi sonucunda da eş-sıcaklık eğrileri elde edilir. Böyle bir indirgeme sonucunda enlem etkisi bariz bir şekilde ortaya çıkacağından eş-sıcaklık eğrileri enlemlere oldukça paraleldir. Şimdiye kadar yapılan kayıtlardan elde edilen ortalama sıcaklık derecelerine dayanarak en büyük ortalama sıcaklıkların daha ziyade Akdeniz sahillerinde ve özellikle İskenderun'da 20 °C civarında olduğu görülmektedir. En düşük ortalama sıcaklıklar ise 4 °C civarında ve doğu Anadolu yöresindedir. Buradan Türkiye'nin hiçbir yerinde ortalama sıcaklıkların 4 °C'nin altına düşmediği anlaşılır. Türkiye tropik ve kutup bölgelerinin oldukça kararlı olan sıcaklık karakterinin aksine yıl içinde sıcaklıklar 4 ayrı mevsimin etkilerini hissettirecek biçimde oldukça değişken olan bir sıcaklık kuşağındadır.

Kuraklık etkenlerinden ikinci derecede önemli olan yağış desenidir. Türkiye'de ortalama yağış çok değişkenlik göstermektedir. Doğu Karadeniz bölgesi Rize'de 2500 mm'ye varan yıllık ortalama yağış miktarları iç bölgelerde etrafı dağlarla çevrili yerlerde bu miktar 250 mm'ye kadar düşmektedir. Böylece aşağı yukarı yıllık ortalama yağış miktarları arasında çok önemli farklılıklar bulunmaktadır. Türkiye'nin kuzey ve güneyinde denizlere oldukça paralel sayılabilecek sıra dağların olması nemli ve bunun sonucun-

da yağışlı kıyı bölgeleri ile kısa mesafede daha az yağışlı ve kurak iç kısımlar vardır. Bu dağların denizlere bakan yamaçlarında yükselti farkı (orografik) etkilerinde etkisi ile yağışlar fazladır. Türkiye'nin en yağışlı kısımları Doğu Karadeniz'den sonra özellikle güneyda Batı Toroslar bölgesidir. Doğu Anadolu'nun yüksek dağlık kısımlarında da ortalama yıllık yağışlar 1000 mm'yi geçmesine karşılık aynı bölgenin dağlar arasında kalan çukur kısımlarında ise bu miktar 200 - 300 mm'ye kadar düşmektedir. Bu bakımdan Türkiyenin en kurak yerleri arasında İç Anadolu'ya kıyas edildiğinde Doğu Anadolu'nun bu gibi çurur kısımlarında bulunan, mesela, Iğdır ile Malatya ovalarıdır.

Erinç (1996) tarafından belirtildiği üzere Türkiye'de esas olarak birbirinden farklı üç yağış rejimi ile iki geçiş türü vardır. Bunları şöylece açıklayabiliriz.

1) Karadeniz türü: Yağışların bol olduğu dar bir kıyı şerididir. Cephesel faaliyetlerin fazla olduğu mevsimler sonbahar sonları ile kış aylarıdır. İlkbahar aylarında bu bölgede güney rüzgârları sıkça estiğinden Karadeniz'e paralel dağların kuzey yamaçlarında fön (bir yamaçta yükselen hava kütesinin diğer yamaçta alçalması ile oluşan rüzgârdır) rüzgârlarının esmesi ile yağış miktarlarında azalmalar vardır. İlkbahar aylarında deniz-kara etkileşiminde sıcaklık farklılıkları da diğer mevsimlere göre daha azdır,

2) Akdeniz Türü: Türkiye'nin Ege ve Akdeniz kıyılarında hâkim olan bu yağış türünde, yağışların hemen hepsi kış aylarında en düşükleri ise yaz aylarında ortaya çıkmaktadır,

3) İç kısımlar (Karasal) Tür: Yağışların en fazla olduğu aylar ilkbahar ve yazdır. Bunun başlıca sebebi geciken cephelerin buralara sokulmasıdır. Kışın kutup kaynaklı hava hareketlerinin sürekli etkisi altında olan iç kısımlarda en az yağışların kayıt edildiği görülmektedir. Yaz aylarında yer yer ve de-

ğişik zamanlarda konveksiyonel sağnaklara rastlanılır.

Yağış bakımından geçiş türü olarak iki farklı hava akımı vardır. Bunlar:

1) İç Anadolu türü: Burada genel dolaşımdan karasallığa geçiş söz konusudur. Genel dolaşımın etkisi ile en fazla yağışlar karasallığında rol oynaması sonucu ilkbahara yakın kış aylarında, en az yağışlar ise yaz aylarında olmaktadır. Yaz kuraklığı karasallık dolayısı ile Akdeniz türünden daha hafiftir,

2) Marmara türü: Burada Akdeniz türünden kara türüne geçiş söz konusudur. Akdeniz türüne benzer olarak daha fazla yağışlar kış, az yağışlar da yaz aylarında olmasına karşılık karasallığın tesiri ile yazın Akdeniz'e kıyasen daha az kuraklık ve ilave ilkbahar yağışları görülür.

Türkiye'de genel olarak bir günün yağışlı sayılması için, o günde en az 0,1 mm kadar yağışın kayıt edilmiş olması gereklidir. Buna göre Türkiye genelinde yağışlı gün sayısı ortalama 175 gün olarak en fazla Doğu Karadeniz, en az ise yine ortalama 50 gün olarak Malatya havzasındadır. Genel olarak, 100 gün veya daha az yağışlı günlerin bulunduğu alan Türkiye'nin beşte dördü kadardır.

8 Kuraklıkla Mücadele

Atmosferi giderek ısınan dünyanın son elli yıldaki ortalama sıcaklık artışı 1°C'ye ulaşmış bulunmaktadır. Bu durum buzulların erimesine, buna bağlı olarak deniz seviyesinin yükselmesine ve dünya yağış rejiminde önemli değişikliklerin meydana gelmesine sebep olmuştur. Son yıllarda dünyanın bazı yörelerinde görülen aşırı kuraklıklar yanında, bazı bölgelerde yaşanan taşkınlar iklim değişikliğinin sonuçlarını göstermesi bakımından büyük bir anlam ifade etmektedir.

Dünya nüfusunun hızlı artması ve buna paralel olarak artan tarım, içme-kullanma ve sanayi suyu ihtiyaçları sebebi ile tatlı suya olan talep giderek artmaktadır. Dünyada tat-

lı suyun sonlu bir kaynak olmasına rağmen nüfusun ve ihtiyaçların sürekli artması ile riki yıllarda su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetiminde uygulanacak politikalar ve stratejiler ile sürdürülebilir bir kalkınmanın sağlanmasına duyulan ihtiyaca giderek büyüyen bir önem kazandırmaktadır.

Kuraklıkla mücadele ve etkisinin azaltılması gayesi ile yürütülen çalışmalarda, kuraklık süresi uzun tutuldukça risk azalmasına karşılık depolama kapasitesi artmakta ve buna bağlı olarak da büyük ve ekonomik olmayan boyutlarda yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu iki unsur birlikte ve akılcı olarak analiz edilerek Türkiye yararına uygun çözümler geliştirilmelidir. Bu çalışmalarda bir diğer etken kurak dönemlerde su arzının belli miktarlarda kısıntı yapılarak ihtiyaçlara yönlendirilmesidir.

Ülkemizde geliştirilen su kaynaklarının %80'i sulamada kullanılmaktadır. Bu sebep ile kurak sürelerde belli oranlarda kısıntıya gidilmesi ekonomik bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Stratejik öneme sahip ihtiyaçlar dışında, uzun vadeli ve sadece kurak sürelerdeki ihtiyaçların karşılanmasında kullanılmaya yönelik depolama tesislerinin inşası teknik yönden mümkün olmakla birlikte, ekonomik yönden akılcı bir çözüm olarak bulunmamakta, dolayısıyla kaynak israfı olarak değerlendirilmektedir.

Kurak sürelerde sulama suyunda kısıtlamaya gidilmesi elde edilecek faydalarda bir miktar azalma meydana getirmektedir. Burada kuraklık yıllarında, kuraklığın şiddeti belli risklerle önceden tahmin edilerek belli miktarlarda kısıntıya gidilmesi, süreç içerisindeki en kurak yılda bitki hayatı da dikkate alınmak suretiyle en az üretimi sağlayan su ihtiyacının belirlenerek bitkiye verilmesi uygun bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Bunun için kuraklık süresince yeraltı suyu haznelere yeterli su çekimini sağlayan işletme faaliyetlerine önem verilmeli

ve bu sürede mümkün olduğunca su ihtiyacı az olan bitkilerin üretimi teşvik edilmelidir.

Su kaynakları projelerinde ve kuraklık yönetiminde maliyetin en önemli bileşeni genellikle baraj diye isimlendirdiğimiz depolama tesisleri teşkil etmektedir. Proje ekonomisinin belirlenmesinde bu tesisler birinci derecede etken olmaktadır. Ancak, bu etken ekonomik kriterleri sağlamalıdır. Biriktirme haznelere (BH) işletme çalışmalarında, barajın üzerinde inşa edildiği akarsuyun ortalama akımı, bu akımın değişkenliği, haznedeki su çekim deseninin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmeli ve barajlar ile tesislerinin boyutu bu kriterlere göre belirlenmelidir. BH işletme çalışmalarının ana girdisi nehir akımları olduğundan bu akımların titizlikle ve mümkün olduğunca uzun süreli olması güvenilir sonuçlar elde edilmesi açısından önem taşımaktadır.

Eğer mevcut su kaynakları kirletilmeden tasarrufa ve geliştirmeye yönelik akılcı bir yaklaşımla değerlendirilmezse her yıl sulu ortamda kuraklığı yaşamamız kaçınılmaz olacaktır. Su kaynaklarının değerlendirildiği yerlerde yani suyun en çok tüketildiği sulamada, evde ve endüstride tasarruf etmek gerekmektedir. Bu şekilde hiçbir masraf yapmadan yeni bir baraj veya birçok su kuyusu kazanmış oluruz. Kuraklık doğal bir olaydır. İnsanoğlunun yanlış eylemleri doğal konumdaki olayın etkilerinin artmasına sebep olmaktadır (Bilgiç, 2001). Gelecekte olabilecek bir kuraklığa karşı su tasarruf tedbirlerinin aşağıda belirtilen seçenekleri mevcuttur.

1. Planlanan yüzey su kaynaklarının devreye sokulması,
2. Yeraltı suyu potansiyelinden istifade edilmesi,
3. Ters osmoz, elektro-dializ veya damıtma metotları ile deniz suyundan tuz giderilmesi,

4. Atık suların ileri derecede tasfiyesi ve yeraltına beslenerek geri kazanılması,
5. Büyük deniz tankerleri veya balonları ile suların taşınması,
6. Buzulların ihtiyaç mahalline nakledilmesi,
7. Su kayıplarının azaltılması,
8. Yüzey kaynaklarındaki buharlaşma kayıplarının önlenmesi,
9. Isale hatları, hazne ve su şebekelerindeki kayıpların azaltılması,
10. Su tasarruf tedbirleri ile su sarfiyatının azaltılması,
11. Bina içi tesisatında ve binalarda, çift şebeke döşenmesi, çatı sularının sarnıçlarda toplanarak istifade edilmesi (yağmur hasatı) gibi pek çok seçenekler su açığının kapatılmasında etkili usullerdir. Yapay yağış ve tohumlama gibi usullerin ilmi olarak faydası görülmediğinden burada ayrıca belirtilmemektedir.

Bu seçenekler içinde en tesirli ve iktisadi olanı planlanan yüzeysel kaynaklarının açığı kapayacak şekilde hizmete alınmasıdır. Yeraltı suyu potansiyelinden kurak yıllardaki açığı kapatmak için istifade edilmesi uygundur. Ayrıca su şebekesindeki kaçakların azaltılması çok önemlidir. Hâlihazırda İstanbul su şebekesindeki kayıp ve kaçak su kullanımlarının %30 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu durumda kaçak su kayıplarının, su basıncının fazla ve nüfusun büyük olduğu bölgelerden başlaması suretiyle verimli hale getirilmesi gerekmektedir.

Denizden tuz giderilmesi (arıtma) ile su temin etmek daha önceki yıllarda pahalı bir çözüm olmasına rağmen günümüzde gelişen yeni arıtma teknolojilerinin kullanılması ile giderek daha da ekonomik olmaya başlamıştır.

Atık suların yeniden kullanımı yakın gelecekte söz konusu değildir. Ancak ilerki yıllarda kullanılmış sular ileri derecede tas-

fiye edilerek yeraltı suyunun beslenmesi ve tekrar kullanımı söz konusu olabilecektir. Bu da ciddi araştırmaları gerektiren bir husustur.

Büyük deniz tankerleri veya buzulların nakil ile su temini de diğer seçeneklerin mümkün olmadığı veya kurak yıllarda söz konusu olabilir. Bu seçenekte işin ekonomik boyutu da gözden uzak tutulmamalıdır.

9 Çölleşme

BM Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi (UNCCD) çölleşmeyi kurak, yarı-kurak ve kurak nem altı topraklarda, iklim değişiklikleri ve insan faaliyetleri de dâhil olmak üzere çeşitli etkiler yüzünden arazi bozulması olarak tanımlamaktadır. Toprak bozulması verimlilik kaybı olarak tanımlanmaktadır. Bozulmayı ölçmeyi kolaylaştırma yolu olarak Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi UNCCD'nin tanımını geliştirmiş ve toprak bozulmasını "eko-sistemlerin hizmet verme kapasitesindeki ısrarlı azalma" olarak tanımlanmıştır (Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi, 2005a).

Sayırsız araştırma yeryüzünün karasal yüzey alanının %40'ını oluşturan kurak ve yarı-kurak eko-sistemlerin çölleşmeye yüksek derecede yatkın olduğunu ortaya çıkarmıştır. Burada soru iklim değişikliğinin bu kuru bölgelerin çölleşmeye yatkınlığını hangi ölçüde artıracaktır. Eğer artıracaksa bu hangi şekilde kendini gösterecektir? Her ne kadar süreci anlamak için daha fazla araştırma gerekse de çölleşme daha az tartışmalı bir konu haline gelmiştir ve literatür bu çölleşmenin mekan ve zaman bakımından her biri farklı boyutta faaliyet gösteren insanî, meteorolojik ve ekolojik süreçlerin bir ürünü olduğu konusunda daha büyük bir mütabakata işaret etmektedir (Dube ve Kwerepe, 2000; Reynolds ve Stafford-Smith, 2002). Ayrıca tam olarak uygulamaya girmese de çölleşme değerlendirmesinin iklim, yangın ve otsu bitkiler gibi arazi kullanımı faaliyetlerinin

interaktif süreçlerini dikkate alması gerektiği konusunda da mütabakat bulunmaktadır (Reynolds ve Stafford-Smith, 2002). Ancak biyo-fiziksel ve sosyo-ekonomik faktörlerin entegre edilmesine yönelik sınırlı bir girişim bulunmaktadır. Araştırmaların büyük çoğunluğu biyofizik faktörlerin üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Kurak ve yarı-kurak karasal bölgelerin yüksek derecede değişken yağmurla ayırt edilen düzensiz aralıklarla meydana gelen sistemler olduğu için çölleşmeye karşı duyarlı olduklarına yönelik gittikçe artan bir mütabakat bulunmaktadır (Holmgren vd., 2001; Leemans ve Kleidon, 2002; Nicholson, 2002). Kurak toprakların “değişken rezerv” çerçeve karakteri içinde faaliyet gösteren uzun vadeli interaktif süreçleri ve bunların çölleşme ve iklim süreçleri açısından sonuçlarını anlamaya yönelik çalışmalar sürmektedir. Bulgular çölleşme süreçlerinin aşırı etkinlik dönemleri boyunca, mesela eko-sistem mal ve hizmetlerine talebin arzi çok fazla aştığı kuraklık yıllarında daha yüksek oranda ilerlediğini göstermektedir (Dube ve Pickup, 2001; Holmgren vd., 2001).

Çölleşme insan ve iklim etkilerine ilave olarak ayrıca bir bölgenin toprak türü, manzara karakteristikleri ve bitkileşme gibi ekolojik yönlerinden de etkilenmektedir. Mesela, kumlu topraklar en fazla aşınmaya (erozyona) uğrayabilen topraklar iken killi topraklar en az aşınmaya uğrayan topraklar olarak sınıflandırılmaktadır (Leemans ve Kleidon, 2002). Kurak topraklardaki bitkilerdeki değişiklikleri topraktaki değişikliklerle, mesela haşlanma, aşınma ve taşlaşma biçimindeki arazi yozlaşması süreçleri su ve besin çevrimleri üzerinde etki yapacak ve bunun da temel üretkenlik açısından sonuçları olacaktır (Breshears ve Barnes, 1999; Ash vd., 2002). Kurak topraklar için kritik olan husus toprak yüzeylerinde farklı alg unsurlarının toprak üstü katmanının tane-

ciklerini birbirine bağlayarak yavaş bir yeneden kolonileşme göstermesidir. Bu tabaka bir kez aşınmaya uğradığında altında yatan topraklar ve hem rüzgâr hem de su aşınmasına maruz kalacak ve bu durum rahatsız edici etkinlikten en az 20 yıl sonrasına kadar sürecektir. Güney Utaht’ın kurak bölgelerinde toprak oluşumu 5000-10.000 yıl alabilmekte, bunun sonucu olarak toprak kaybı yozlaşmasına yol açan çölleşme süreçleri geri döndürülemez olarak değerlendirilmektedir (Lioubimtseva ve Adams, 2004).

Yüksek arazi kullanımını baskısı altındaki alanlarda kuraklık ile çalılık oluşumu arasındaki güçlü ilişki de gayet somut biçimde belirlenmiştir (Holmgren ve Scheffer, 2001). Ancak son zamanlardaki bulgular şimdiden sanayileşme öncesi düzeylerden 360 ppmv’ye yükselme sebebi ile ağaçlı bitkiler üzerindeki CO₂ gübrelmesi gibi insan etkilerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Bond ve Archibald, 2003). Diğer bulgular şimdiye kadar toprak yozlaşması süreçleriyle ilişkilendirilen çalılıklar ve yıllık bitkilerin üretkenliğinin 2050 yılı için yükselen CO₂ seviyeleri altında iki katından fazla çıkacağını göstermektedir (Smith vd., 2000a).

Batı ABD ve dünyanın diğer kısımlarındaki ovalar ve ormanlık alanlarda sulak etkinlikleri izleyen kuraklıklar insanların başlattığı yangın riskini artırma eğilimi göstermektedir. Yangın riski yıllık yabanî otların işgal ettiği alanlarda daha yüksektir. Bunun sonucu olarak çok yıllık bitki türlerinin ortaya çıkması imkânları çok azaldığı için yangın çölleşmeyi devam ettirmektedir (Smith vd. 2000a).

Bulgular toprak yüzeyi ev yapısını değiştiren ve böylece toprak neminin tutulması üzerinde etki yapan çölleşme sürecinin, meteorolojik süreçleri etkileme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Model ve istasyon verileri Batı Afrika’daki yerel yağış

değişkenliğini toprak nemi zaman ölçeği ile ilişkilendirmiştir (Nicholson, 2002). Kısa ve uzun vadeli dönemde bu kombine süreçlerin ortaya çıkışı ve boyutunu göstermek için daha fazla araştırma gerekmektedir. Diğer model sonuçları ilk araştırmalarda ortaya konulduğu şekliyle sonuçta albedodaki değişikliklerle ilişkilendirilen bitkileşme yokluğundan kaynaklanan gizli düşük ısı akışının zayıf kıtasal su döngüsü ve kurak alanlardaki değişen enerji dengesinde bir role sahip olduğunu göstermektedir.

Çalılık oluşmayan ve sığ kök sistemine sahip kısa ömürlü öncü türlerin egemen olduğu bozulmuş alanlar kuraklığa daha yatkındır (Snyman, 2005). Bu alanlar toprağın bozulmasına, nem tutma kapasitesi kaybına ve toprak karbonunun tükenmesine yol açan sıcaklık ve diğer aşınma unsurlarına maruzdur. Milenyum Değerlendirme raporuna göre çölleşme her yıl bir milyar ton karbon kaybına sebep olmakta ve bu karbonun çok küçük bir kısmı küresel atmosfere girmektedir (Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi, 2005a). Çölleşmeyi temel üretimdeki değişikliklerle ilişkilendiren literatürün geniş hacmine rağmen, temel üretimi ikincil üretimle, mesela hayvancılık üretimi ile birleştirme zaman ve mekan bakımından değişiklikler göstermektedir (Ash vd., 2002). Birçok araştırmada meydana geldiği varsayılmasına karşın ikincil üretimde toprak bozulmasına bağlı olarak kaybın ortaya konulmasının güç olduğu ortaya çıkmıştır. Kurak topraklardaki manzara heterojenliğinin otsu bitkilerin üretkenliğindeki rolünün, toprak bozulmasının rolünü değerlendirmeye yardım etmek üzere temel ve ikincil üretimin birleştirilmesindeki görünen eksikliğe katkıda bulunan bir faktör olduğuna dikkat çekilmiştir (Ash vd., 2002). Diğer misallerde bozulmanın etkisi tamamlayıcı besleme ve türlerin kompozisyonundaki değişiklik gibi dışarıdan müdahalelerle maskelenmektedir.

Kaynaklar

Bu bültende kullanılan bütün kaynaklarla ilgili bilgiler aşağıdaki kitapta bulunmaktadır.

Şen, Z., (2009). İklim Değişikliği İçerikli Kuraklık Âfet ve Modern Hesaplama Yöntemleri. Su Vakfı Yayınları, 248 Sayfa.

**SU VAKFI KURAKLIK KÜLLİYESİNDE
DAHA ÖNCE YAYINLANAN BÜLTENLER**

SAYI 1	Kuraklık Göstergeleri <i>Zekâi Şen</i>
2016 Aralık (December)	
TÜRKÇE	

Tüm Su Vakfi bültenlerini <http://bulten.suvakfi.org.tr> adresinden bilgisayarınıza indirebilirsiniz.



SU VAKFI

Libadiye Cad. Dođanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr