

Sayı (Number): 3



İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri

Zekâi Şen

Şubat (February) 2017
İstanbul - Türkiye

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KÜLLİYESİ
TURKISH WATER FOUNDATION
CLIMATE CHANGE FACULTY

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BÜLTENİ : SAYI 3

İklım Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri

Zekai ŞEN

©2017 SU VAKFI

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

Basıma Hazırlayan :
Muhiddin YENİĞÜN



SU VAKFI

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

İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri

Zekâi Şen

Su Vakfı

1. Giriş

İklim elemanlarında (sıcaklık, yağış, nem vb.) olabilecek çok küçük bir değişiklik su miktar ve kalitesinde büyük değişikliklere sebep olabilecek niteliktedir. Bunun doğal bir sonucu olarak su kaynakları yapıları içinde ülkemiz için çok önemli olan barajların afetlere maruz kalması söz konusudur. Mesela daha fazla sıcaklıklar hidrolojik su çevrimini hızlandıracak biçimde tetikler, buharlaşma+terleme olayını artırır, bunun sonucunda da daha şiddetli kuraklık ve yağış olaylarının meydana gelmesine sebep olur. Fazla sıcaklıklar kardan ziyade yağmurların daha şiddetli olmasına sebebiyet verir ve bunun süresi de daha kısa zamanlıdır. Böyle bir durumun kar yağışlarına bağlı barajların emniyetinde emniyet azaltıcı yönde etkisi olur. Özellikle Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü yerlerde yağışların büyük bir kısmı kış mevsiminin ilk yarısında görülür.

2. Su kaynaklarına etki

Gelecekte iklim değişikliklerinin su kaynaklarını etkileyeceği gerçeği herkes tarafından kabul görmektedir. Çünkü iklimin geçmişte değişmiş olduğunu bugün için yapılan araştırmalardan bilmekteyiz. Hatta tarih öncesi denen devirlerde yani bundan yaklaşık en azından 5-10 bin sene önce, dünyamızın birçok yeri buzullarla kaplı ve insanoğlu da

bu sıralarda, ren geyiklerini avlayarak et yiyici olarak hayatını sürdürmekteydi (Timuçin, 2000). O devirlerde doğal olarak ortaya çıkan iklim değişikliği sonucunda ısınan atmosfer buzulları eriyerek kutup bölgelerine çekilmesine sebep olmuştur. İşte bu durum ilk insanlardan olan *homo neandertalensis*'lerin kutup bölgelerine giderek oralarda ren geyikleri avlamaktansa, buldukları yerde bitkilerden yararlanarak hayatlarını devam ettirmelerine sebep olmuştur. Böylece insanlar artık göçebelik yerine, yerleşik düzene ve burada da etrafındaki bitki yetiştirme becerisi sonucunda tarım yapmayı öğrenmiş ve böylece yiyecek türü, etten bitkiye doğru kaymıştır. Bütün bunlar tarihteki iklim değişikliklerinin insan hayatı, gıdası, barınması ve korunmasında köklü değişikliklerin ortaya çıkmasına sebep olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde gelecekte ortaya çıkabilecek iklim değişikliklerine eskiden farklı olarak şimdiden plan ve projeler geliştirerek hazırlıklı olmakta yarar vardır.

Günümüzde çokça konuşulan ve insan etkilerinin de bulunduğu iklim değişikliği beklentileri sonunda şimdiki kadar alışılabilir olmuş olan su kaynakları planlamalarında, proje değerlendirmelerinde, yağış ve akış bağlantıları ile bunların karşılıklı zamansal ve yerel değişimlerinde, deniz ve göl sevi-

yelerindeki artmalarda, arazi kullanımı ile tarım usul ve teknolojilerinde bazı değişikliklerin göz önünde bulundurulması gereklidir. İklim değişiklikleri sonrasında büyük göçlerin ortaya çıkması ile su kaynaklarına olabilecek taleplerde değişebilir. İklim değişikliğinin su kaynaklarına olabilecek etkileri yine IPCC (1996) tarafından sıralanmıştır.

1. Yağışların uzun yıllar boyunca alışılmış ortaya çıkma yerlerinde, zamanlamalarında farklılıklar ve daha yoğun yağışlar olabilecektir.

2. Yapılan genel dolaşım modellemelerine göre sıcaklıkta 1,5°C ilâ 4,5°C'ye kadar olan değişimler, yağış miktarlarında %3 ilâ %15'e varan artışlara sebep olacaktır.

3. Bölgesel dağılımında belirsizlikler olabilmesine karşılık yağışlar genel olarak yüksek enlemlerde özellikle de kış aylarında artacaktır.

4. Yağışların artma temayülüne karşılık, artan sıcaklık dolayısı ile yüksek buharlaşma oranları sonucunda su dengesine göre akışlarda azalmalar olabilecektir.

5. Yüksek enlemlerde fazla yağışlar sonucunda artan akışlar olabilecektir. Düşük enlemlerin bazı yörelerinde ise bir taraftan azalan yağışlar diğer taraftan da çoğalan buharlaşma etkileri ile akışlarda azalmalar olabilecektir.

6. Gerçek buharlaşma+terleme yani evapotranspirasyon sıcaklık artmasına rağmen zemin nemi ve yeraltı suyu seviyesi duruma göre artabilir de azalabilir de.

7. Küresel ısınma ile beraber yağışlar sonrasında taşkın miktarlarında artışlar beklenebilir. Bazı bölgelerde ise taşkınlar alışlagelmişden daha az miktarlarda ve sıklıkta olabilir.

8. Kuraklık alanları ve sürelerinde azalan yağış, artan sıcaklık, azalan yağış sıklığı ve artan buharlaşma+terleme sonucunda daha da etkili olacağı sonucuna varılabilir.

9. Özellikle kıraç, kurak ve yarı kurak olan bölgelerde su sıkıntıları daha da fazlalaşır ve kuraklık alan ile süre kapsamı artar.

10. Dağlık bölgelerde sıcaklık artması sonucunda yağışlarda fazlalıklar ortaya çıkacağından, kar yağışları azalır. Kar yağışları olsa bile gelecek olan yağmurlar dolayısı ile yeryüzünde fazla kalmazlar ve bu nedenle de ilkbahar aylarında ortaya çıkan kar erimesi yüzeysel su beslenmelerinde azalmalar olur.

11. Genel olarak akışların miktarında ortaya çıkabilecek azalmalar sonucunda bunların su kalitelerinde de kötüleşmeler beklenebilir.

Avrupa ve Kuzey Amerika'nın birçok şehirlerinde içme suyunun bile temin edilmesi artık tehlikeli bir duruma gelmiştir. ABD'nin batı kısmında sık sık görülen kuraklıklar sonucunda tatlı su kaynaklarında azalma ve bunun neticesinde de sıkıntılar baş göstermeye başlamıştır. İngiltere ve Almanya son yıllarda hiç beklemedikleri kuraklıklara maruz kalmışlardır. Sera etkisi ve bunun doğuracağı iklim değişikliği su kaynaklarına aşğıdaki şekilde tesir edecektir.

1. Ilıman olan bölgelerde kışın düşen kar miktarında önemli azalmalar görülebilir. Nitekim İstanbul'da bundan 20-30 yıl önce görülen ve 50 cm kalınlığa kadar varan kar yağışlarına artık rastlanamamaktadır. Bunun anlamı daha az kar erimesi sonucunda azalan su kaynağı sonucunda ilkbahar aylarında bile kuraklığa rastlanması ve yaz aylarında su sıkıntısı dolayısı ile su kısıntılarına gidilmesi durumlarıdır. Bu hal İstanbul'da ortaya çıkmıştır.

2. Kurak süreler daha da kurak ve uzun süreli hale gelebilirler. Bu ise Tuna nehri gibi bazı büyük nehirlerin su seviyelerinde azalmaların meydana gelmesi ile burardan su temini için alınacak miktarlarda çok önemli azalmalar ortaya çıkacaktır. Su biriktirme haznelerindeki su seviyelerinde de

devamlı azalmalar görülecektir. Hali hazırda su yetersizliği olan yerlerde daha da fazla su sıkıntısının çekilmesi mümkündür. Sıcaklığın artması sonucunda artan buharlaşma dolayısı ile bu haznelerden olan buharlaşma kayıpları da artar. Sıcaklığın artması kurak bölgelerin çölleşmesine sebep olur. Su bakımından yeterli olan yerlerde su kaynaklarının miktar ve kalitesinde azalmalar görülür. Nüfusun fazla olduğu yerlerde suya olan talebin de rol oynaması ile çözümü zor olan su sorunları yaşanabilir.

3. Sıcaklığın artması ile sahil kenarlarındaki su kaynaklarının miktarında da azalmalar görülecektir. Sıcaklık artışı deniz seviyesinin artmasına, bu da tuzlu suyun tatlı yeraltı sularına nüfuz etmesine sebep olur. Mesela deniz seviyesi 30 cm artacak olursa bunun tuzlu su girişi yeraltı akiferlerinde karalara doğru 10-20 km olacaktır. Bu ise büyük yeraltı suyu kaybı demektir. İç kısımlardaki kuyuların ve akiferlerin tuzlanması ile de su temin etme sisteminde kullanılan kuyular devre dışı kalabilir.

4. Su sıkıntısı sorununu çözebilecek yaklaşımların maliyetleri astronomik seviyelerde olacağından pratikte uygulanamaz.

5. Azalan yağışların etkisi ile atık suların tasfiye edilmesinde bazı güçlüklerle karşılaşılır. Azalan yağışlar nehirlerin karıştırarak konsantrasyonunu azaltacak kadar tatlı suya sahip olmamaları denizlere akan suların kirli kalmalarına sebep olacaktır. Bu durum ayrıca bu nehirlerin su kaynağı olarak kullanılamaz hale gelmesi sonucunu doğurur. Yağmur suyu ile aynı şebekede nakil edilen atık suyun kanallar veya kapalı borular ile uzaklara nakledilmesi gerekeğinden maliyette aşırı artışlar olacaktır.

3. Su çevrimi ve iklim değişikliği

İklim değişikliği ile ortaya çıkabilecek sıcaklık artmalarının su kaynakları yörelerinde buharlaşmanın artmasına, bunun sonucunda da, o yerlerdeki su çevrimlerinin

daha hareketli olmasına meydan verecektir. Buharlaşmanın artması, su çevriminde yükselen hava neminin, bazı yerlere öncekilerle kıyasen daha fazla yağışların düşmesine sebep olacaktır. Bu arada sıcaklığın önceki bölümlerde belirtilen ortalama artmalarına karşılık, bunların dünyanın değişik yerlerindeki etkilerinin aynı oranda olacağı beklenemez. İşte bu farklı etkileri olan sıcaklık artmaları sonucunda yine troposferde hava hareketlerinin alışlagelmiş genel veya yerel dolaşımında anormalliklerin ortaya çıkması ile önceden daha fazla yağış alan alanlar daha da fazla veya az yağış alabilecekleri gibi önceden kurak olan yerler daha da kurak veya kuraklığın bir dereceye kadar azalmasına maruz kalacaklardır. Sıcaklığın artması buharlaşma ve terlemeyi artıracak, ancak zemin nemi ile sızma oranlarının da değişmesi ile tarım türü ve alanlarının yeraltı suyu beslenme sahaları ve miktarlarının da değişmesine sebep olacaktır. İklim değişikliği ve etkilerinin neler olabileceği hakkında öngörülerde bulunabilmek için GDM denilen ve dünyanın tümünü anlık olarak işleyebilen bilgisayar yazılımları bulunmasına karşılık, yukarıda söylenen 2 - 3°C'lik sıcaklık artışlarında ortaya çıkabilecek hidrolojik değişiklikleri güvenilir biçimde hesaplayarak ortaya çıkarmak mümkün değildir. Bunun ötesinde, dünyadaki su toplama havzalarının her birinin kendi konum ve coğrafi durumlarına göre iklim değişikliğine karşı davranışları birbirinden farklı olacaktır. Bu bakımdan, bir ülkenin su toplama havzası ve bunun içindeki değişik su kaynaklarının nasıl etkileneceğinin belirlenmesinde sadece meteorolojik ve iklim şartları değil, özellikle morfolojik ve jeolojik karakterlerinin de önemle göz önünde tutulmaları gereklidir.

Küresel ısınma sonucunda dünyanın değişik yerlerinde zaten oldukça belirsiz olan su kaynaklarının konum ve miktarlarında belirsiz azalma veya artışlar ortaya çıkarak

su çevriminde değişikliklere uğraması doğaldır. Schneider et al. (1990) tarafından yapılan bir çalışmada, atmosferdeki CO₂ miktarının ikiye katlanması durumunda iklim değişikliği ile ortalama yağışlarda meydana gelebilecek değişikliğin $\pm\%20$ olabileceğini ileriye sürmüştür. Buna karşılık ortalama olarak zemin nemi ve yüzey akışlarındaki değişimlerin $\pm\%50$ olabileceği görüşündedirler. Akışlarda meydana gelebilecek değişimler yağış ve buharlaşmadaki değişimlerin doğrudan bir sonucudur. Schaake (1990) ABD'deki su toplama havzaları için su dengesi denklemini kullanarak su çevriminde olabilecek değişiklikleri araştırmıştır. Sadece sıcaklık artması akışların fazlaca azalmasına sebep olacaktır. Diğer taraftan sıcaklık artması ve yağış azalmasının beraberce getirdiği etki dolayısıyla ile akışlardaki azalmanın daha da az olması beklenir.

4. Türkiye ve iklim değişikliği

Türkiye 36° 42' kuzey enlemleri ve 26°45' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Kuzey yarıkürenin alt tropikal bölgesinde bulunan Türkiye, su kaynakları bakımından sürekli akan akarsuları, irili ufaklı iç gölleri ve üç tarafı denizlerle sarılı bir ülkedir. Su kaynaklarının meydana gelmesinde bölge meteorolojisi yanında, Avrupa, Asya ve Afrika kıtalarının karasal etkilerinin de rolü de vardır. Dünya standartlarına göre çok yağışlı diye nitelendirilemeyecek bölgemizde, coğrafik, topografik ve değişik hava akımlarının etkisi ile yerel yağışların bazı bölgelerde diğerlerinden fazla olduğu da bir gerçektir. Topografik özellikleri dolayısıyla ile Türkiye'nin iç kısımlarında karasal iklim türleri hüküm sürmektedir. Bütün bunlara rağmen ülkemizde su kaynakları ancak yetecek miktardadır. Bunların kirlenmeye karşı korunmaları, düzenli ve en iyi biçimde planlanarak işletmeye alınmaları bugünden yapılmaz ise, yarınki nesillerin daha da fazla su sorunları ile karşılaşması mümkündür (Şen, 2002).

Öncelikle, Türkiye üzerindeki meteoroloji şartlarını kontrol eden ve değişik kıtalardan gelen hava kütlelerinin hareketi söz konusudur. Türkiye kuzey taraftaki alçak basınç merkezleri ile güney taraflarındaki yüksek basınç merkezlerinin etkisi altındadır. Bu basınç merkezlerinin yerlerinde meydana gelecek değişiklikler Türkiye meteorolojisini ve iklim şartlarını etkiler (Erinç, 1996). Kuzey batıdan Türkiye'ye gelen ve Atlantik okyanusu kaynaklı denizsel-kutup ile kuzey ve kuzey doğudan gelen karasal-kutup kaynaklı hava hareketlerine ilave olarak, güney batıdan gelebilen karasal-tropik ve güney doğudan ülkemize sokulan denizsel-tropik hava akımları Türkiye meteorolojisi ve iklimi, yağışlar ve akışlar ile su kaynakları üzerinde etkilerini gösterir. Özellikle, denizsel-kutup hava hareketleri Türkiye'de yağışların fazlaca olmasına sebep olur. Türkiye Asya kıtasına doğudan geniş bir biçimde yapışık ve batıya doğru üç tarafı denizlerle çevrili bir yarım ada şeklindedir. Avrupa yakasında da doğuya doğru uzanan oldukça küçük Trakya yarım adası vardır. Türkiye genel konumu bakımından ekvator-tropik ve kuzey kutbu bölgeleri arasında yer alan orta enlemlerde ve hava hareketleri bakımından alt tropikal iklim kuşağı içindedir. Böylece tropik ve kutup bölgelerinin arasındaki geçişi temin eden bir bölge konumunda olduğundan, meteorolojik olayların tropikal ve kutup bölgeleri kadar kararlı olduğu söylenemez. Burası yaz ve kış mevsimleri arasında yukarıda sayılan deniz ve kara kaynaklı hava hareketlerinin zaman zaman sokulduğu bir bölgededir. Kış aylarında kuzeyli olan denizsel ve karasal kutuplardan kaynaklanan hava akımları, Türkiye'ye kadar sokulduğundan kış mevsimlerinde genel olarak soğuk, buharlaşma az ve yağışlar fazladır. Yaz aylarında ise güneyli denizsel ve karasal tropik hava hareketleri ülkemize sokularak buraların sıcak, buharlaşmanın ve dolayısıyla ile nemliliğin fazla ve yağışların az olduğu genel bir iklim

yapısına büründürür. Kuzeyli ve güneyli bu hava hareketleri ülkemize her yıl aynı miktarlarda sokulamadıklarından, yağış ve diğer meteorolojik büyüklüklerin miktarlarında da yıllık salınımlar fazla olur. Bazı yıllarda güneyli hava hareketleri ülkemize daha fazla ve art arda yıllarda sokulduklarından kuraklık belirtileri görülür. Bazı yıllarda da, bu hava akımları, kuzeylilerin ülkemize sokulması ile yaz aylarında bile havalarda en azından serin ve yağışlı geçmesine sebep olur. İşte bu tür dengesizlik sebebi ile, ülkemizde yağışın bol olduğu yıllarda akış sularının toplanarak, yağışın az olduğu yıllarda kullanma ve sulama suyu olarak biriktirilmesi için barajların yapılması gereklidir. Bu konuda son 50 yıl içinde ülkemizde yapılan baraj sayısı oldukça fazladır.

Yukarıda belirtilen genel hava hareketlerinin dışında ülkemizdeki su kaynaklarının beslenme kaynağı olan yağışların bazı yörelerde bölgesel ve yerel etkilerden fazlaca etkilendiği de bilinmektedir. Mesela, ülkemizde en fazla yağış alan yerler arasında Doğu Karadeniz ve özellikle de Rize ile güneybatı Akdeniz ile Antalya ve çevresi gelmektedir. Her iki yöre de aşağı yukarı yılda ortalama olarak 2000 mm'nin üzerinde yağış almaktadır. Bu iki bölgede yağışların fazla olmasının sebebi buralardaki Doğu Karadeniz ile Batı Toros dağlarının bulunmasıdır. Zaten bu dağların denize bakan yamaçları yağışları fazlaca alır. İç kısımlara bakan yamaçlarda ise yağış çok azdır. Bunun sebepleri Erinç (1996) tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Buradan ülkemizde özellikle Karadeniz ve Akdeniz'e bakan dağların yamaçlarında yağışların fazla olduğu anlaşılır. Ege bölgesinde ise dağlar denize dik olarak yerleştiğinden, Ege sahillerinde böyle bir durum söz konusu değildir. Bu sahillerden çok uzun mesafeler boyunca içerilere doğru sokulan hava kütleleri yağışlarını oldukça geniş alanlara az şiddetli miktarlarda bırakır.

Marmara ülkemizde yukarıda sayılanların dışında yine oldukça iyi yağış alan bir bölgemizdir. Burada, özellikle Bursa civarında Uludağ etkisi ile yağışlar en fazladır. Çanakkale ve İstanbul boğazları vasıtası ile kış aylarında Akdeniz iklimi Karadeniz'e kadar geçebilme imkânı sağladığından, Trakya Karadeniz sahilleri Anadolu Karadeniz sahilleri kadar yağış almaz. Buralarda ortalama yıllık yağış miktarları yine Türkiye yıllık yağış ortalamaları yakınlarında ve 650 mm kadardır. Türkiye'de en az yağış alan yerler etrafları dağlarla çevrilmiş olan ve denizlerden uzak bölgelerdir. Bunlar arasında Malatya ve Iğdır ovaları başta gelmektedir. Buralar güneydoğu Anadolu bölgesinden bile daha az yağış alırlar.

Özellikle yaz aylarında görülen yağışların bir türü de, karasal yörelerde ve daha ziyade İç Anadolu ile Doğu Anadolu'nun batı kısımlarında, yazın yeryüzünün fazlaca ısınması sonucunda yükselen nemli havanın yoğunlaşarak yağmur şeklinde düşmesine rastlanılır. Bunlar düşey sıcaklık farkından dolayı meydana gelen sıcaklık farkı (konvektif) yağışlar şeklindedir. Konya yöresinde bu tür yağışlar sıkça yaz günlerinde öğlenden sonra meydana geldikleri için bunlara yerel olarak "kırkikindi" yağışları adı verilmiştir. Aşağıdaki çizelgede, Türkiye'nin değişik istasyonlarında ölçülen aylık ortalama yağış miktarları verilmiştir.

5. Türkiye su kaynakları ve iklim değişikliği

Bugün birçok insanımız ülkede mevcut olan tatlı su kaynaklarının sınırsız olduğunu düşünerek kullanmaktadır. Hâlbuki ülkemizde kişi başına düşen su miktarı 65 milyonluk nüfus göz önünde tutularak 3600 m³/yıl/kişi'dir. Kullanılabilir suyun kişi başına bir yılda düştüğü miktar ise 1700 m³ civarındadır. Bir ülkenin su zengini sayılması için kişi başına bir yılda 10000 m³ su düşmelidir. Bu bakımdan ülkemiz dünya standartlarına

göre bir su fakiridir (Şen, 2002). Türkiye alt tropikal bölgede bulunması sebebi ile yağış ve akışlar ekvatora yakın diğer ülkelere göre göreceli olarak fazladır. Ancak, bu su kaynakları akıllıca ve en iyi biçimde işlenerek kullanım için dağıtılmazsa, ülkemizin su fakirliği daha da artarak, insanların yakın gelecekte bunun sıkıntısına düşeceği bir gerçektir. Türkiye’de yüzey ve yeraltı suları ana iki kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüzey suları ile sürekli envanterler yapılarak ne kadar olduğu yaklaşık bir biçimde hesap edilmiştir. Buna göre basit bir hesaplama Türkiye yıllık ortalama yağış miktarı bölgelere ve yağış rejimine göre değişkenlik göstermesine karşılık 650 mm ve yüzölçümü de yaklaşık 780000 km² olarak düşünüldüğünde bu iki sayının çarpımı atmosferden yağmur olarak ülkemize yine yaklaşık 500×10⁹ m³ suyun düştüğü sonucunu verir. Önceki bölümdeki akış katsayısı 0,35 alınırsa 0,35×500×10⁹ ≈ 190×10⁹ m³ kadar su akışa geçer. Bugün için yıllık tüketilebilir miktar aşağı yukarı 100×10⁹ m³tür ve bunun sadece 30×10⁹ m³ kadarını fiilen kullanılmaktadır. Yüzey akışına geçmeyen kayıplar arasında 275×10⁹ m³ kadarlık bir kısmı toprak ve su yüzeyinden buharlaşma ve bitkilerden terleme ile atmosfere geri verilirken, 40×10⁹ m³lük bir kısmı da sızarak yeraltı su haznelerini beslemektedir.

Türkiye’de gün geçtikçe dünya genelindeki sıcaklık artması sonunda daha da kuraklık hüküm sürmeye başlamıştır. Bunun başlıca sebepleri arasında topografyanın çok engebelik olması, yağış ve kaynakların bölgelere göre düzensiz dağılımı, su kaynaklarının uzun vadede ortaklaşa en iyi kullanım ve işletimi yerine, daha ziyade kısa vadeli, yerel ve diğer bölgelerden bağımsız bir şekilde gelişmesidir.

Yeraltı suyu kaynaklarının miktarı 12×10⁹ m³ civarındadır. Ancak yılda fiilen tüketilen miktar ise 6×10⁹ m³ kadardır. Maalesef, yeraltı sularının büyük bir kısmı denizlere bo-

şalarak tuzlu su haline gelmektedir. Yer altı suyu haznelerinin gerçeğe yakın hacimlerinin ve beslenme miktarlarının belirlenmesi için ayrıntılı ve değişik yerlerde hidrojeolojik etütlerin yapılması gereklidir. İklim değişikliğinin ülkemiz açısından olumsuz olabilecek yönlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

1. Özellikle güneydoğu bölgesinde etkisi fazlaca olabilecek iklim değişikliği dolayısı ile buradaki su kaynaklarının hacimlerinde, kalitelerinde ve yenilenme sürelerinde azalmalar olacaktır.

2. İklim değişikliği sonucunda su ekolojisinde de değişimler olabilecek ve su ürünlerinde azalmalar beklenmelidir. Balık üretiminde de azalmalar olabilecektir.

3. İklim değişikliği dolayısı ile ülkemizin genel olarak daha kurak bir iklim etkisi altına girmesi, tarım hasatlarında azalmalara ve türlerinde de değişimlere sebep olabilecektir.

4. Özellikle ülkemiz açısından önemli olan su kaynaklarında üretilen su enerjisi (hidroelektrik) azalmaları beklenmelidir.

5. Daha uzun sıcak mevsimlerin etkisine girmesi mümkün olan ülkemizde piknik imkânlarında da azalmalar beklenmelidir.

6. Ülkemizde ortaya çıkabilecek kuraklıklar sebebi ile biriktirme haznelerine gelen taşınım maddesi (sedimentasyon) daha fazla ve erozyonda fazla olabilecektir.

7. Sahil şeritlerinde olabilecek deniz seviyesi yükselmesi dolayısı ile özellikle kıyılara yakın ve yeraltı suyu ile beslenen yerleşim alanlarımızın su kaynakları daralacaktır. Bunun sebebi, her 1 metre deniz seviyesi yükselmesine karşılık yaklaşık 40 metre kadar daha içerilere doğru deniz suyunun girerek tatlı su kaynaklarını tuzlandırmasıdır.

8. Kişi başına düşecek yıllık su miktarında ortaya çıkacak azalmalar sonucunda ülkemiz daha da hissedilir bir şekilde su fakiri ülkeleri arasına girecektir.

9. İklim değişikliği komşu ülkelerde de özellikle güney komşularımızda ve onların da komşularında daha şiddetli bir şekilde ortaya çıkacağından, Türkiye'nin yüzeysel suları daha kritik biçimde uluslararası su sorunlarına yol açacak yönde azalacaktır.

10. Suyun azalması ile çokça su tüketimi isteyen tarım mahsullerinin yerini daha az su sarfiyatına gerek duyan bitkilerin getirilmesi sonucunda, Türkiye tarımında bir değişiklik beklenebilecektir.

Şimdiki su kaynakları ile 50 yıl sonraki su kaynaklarının nasıl değişeceği Çizelge 1'de değişik ülkeler için verilmiştir. Frederick ve Major (1997) tarafından verilen bu çizelge yazar tarafından değiştirilerek azalış oranları ilave edilmiştir.

Çizelge 1. Kişi başına yıllık m³ cinsinden su miktarlarının bugünkü ve 50 yıl sonraki durumları

Ülke	Bugünkü iklim	2050 yılı iklimi	Azalış oranı
Çin	2.500	1.630	0,652
Kıbrıs	1.280	820	0,640
Fransa	4.110	3.620	0,881
Haiti	1.700	650	0,387
Hindistan	1.900	1.050	0,553
Japonya	3.210	3.060	0,953
Kenya	540	170	0,315
Madagaskar	3.330	710	0,213
Meksika	4.270	2.100	0,492
Peru	1.860	880	0,473
Polonya	1.470	1.250	0,850
Suudi Arabistan	310	80	0,258
Güney Afrika	1.320	540	0,409
İspanya	3.310	3.090	0,933
Sri Lanka	2.500	1.520	0,608
Tayland	3.380	2.220	0,657
Togo	3.400	900	0,265
Türkiye	3.070	1.240	0,404
Ukrayna	4.050	3.480	0,859
İngiltere	2.650	2.430	0,917
Vietnam	6.880	2.970	0,432

Türkiye'deki 26 su toplama havzasındaki yağış ve akışlarda beklenecek azalma değişimleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Türkiye su toplama havzalarında iklim değişikliği sonunda meydana gelebilecek azalmalar ve oranları

Havzaadı	Alan (km ²)	Ort. yıllık yağış (2000) (cm)	Ort. yıllık akış (2000) (cm)	Ort. yıllık yağış (2050) (cm)	Ort. yıllık akış (2050) (cm)
1.Fırat	127304	582	248,2	261	100,2
2.Dicle	56616	814	437,4	366	176,7
3.Doğu Karadeniz	24077	1291	581,2	580	234,8
4.Antalya	19577	910	574,1	409	231,9
5.Batı Karadeniz	29598	803	339,2	361	137,0
6.BatıAkdeniz	20953	865	370,3	389	149,6
7.Marmara	24199	766	316,2	344	127,7
8.Seyhan	20450	629	345,2	283	139,4
9.Ceyhan	21982	758	328,0	340	132,1
10.Kızılırmak	78180	459	80,6	206	32,5
11.Sakarya	58180	534	103,7	240	41,8
12.Çoruh	19872	540	327,1	243	132,1
13.Yeşilirmak	36114	556	153,4	250	61,9
14.Susurluk	22399	730	238,8	328	96,4
15.Aras	27548	462	201,1	208	81,2
16.Konya Kapalı	53850	437	62,4	197	25,2
17.B.Menderes	24976	656	118,1	295	47,7
18.Doğu Akdeniz	22048	669	556,5	301	224
19.VanGölü	19405	507	133,5	228	53,9
20.KuzeyEge	10003	730	220,0	328	88,9
21.Gediz	18000	639	100,6	288	40,6
22.Meriç-Ergene	14560	640	85,9	288	34,7
23.K.Menderes	6907	740	162,2	333	65,5
24.Asi	7796	837	153,9	377	62,2
25.Burdur Gölleri	6374	436	48,6	196	19,6
26.Akarçay	7605	472	59,2	212	23,9

Bu çizelgelerden anlaşılacağı üzere 2050 yılında Türkiye ortalama yıllık olacak 425 cm'lik bir yağışla yaklaşık 325×10⁹ m³lük bir yağış hacmine sahip olabilecektir. Akış katsayısının da Türkiye'nin gittikçe çoraklaşmasının göz önünde tutulması ile 0,40

kadar olacağı düşünülürse yüzeysel akış miktarının da 130×10^9 m³ civarında olması beklenebilecektir. Bu hali hazırdaki su hacminden yaklaşık 60×10^9 m³ daha küçüktür. İşte bu da Türkiye'nin iklim değişikliği sonucunda su bakımından daha fakir bir hale geleceğinin bir göstergesidir.

6. İklim değişikliğine karşı alınabilecek tedbirler

Ülkemiz gibi alt-tropik bölgede bulunan bölgelerde iklim değişikliği sırasında su kaynakları miktar ve kalitelerinde azalmalar beklenir. Diğer taraftan artan nüfus ise talebin de artması sonucunda su kaynakları iki bakımdan etkin kullanılmak zorundadır. Bunlar ya artan talebi karşılamak için yeni su kaynaklarının bulunması veya bulunan yerlerden uzakta olsa taşınarak getirilmesi veya ilave kaynakların bulunamaması neticesinde talebin kontrol altına alınmasıdır. Kaynak artırımı için aşağıdaki yöntemlere başvurulabilir.

1. Mevcut yüzeysel kaynakları toplayan biriktirme haznelерinin hacimlerinin artırılması veya bunların üst taraflarında bulunan uygun yerlere ilave ama daha küçük hacimde biriktirme haznelерinin yapılması,

2. Yerleşim ve su kullanılan bölgelere yakın olan yerlerden ilave su kaynağı olabilecek yüzeysel ve yer altı sularının taşınması,

3. İklim değişikliğinden fazlaca etkilenmesi mümkün olmayan yeraltı suyu kaynaklarının yapay olarak beslenmesi ile yüzey biriktirmeleri yerine yeraltı depolanması ile kullanılabilir hacimlerin artırılması yoluna gidilebilir. Böylece, artan sıcaklıkla buharlaşma kayıplarının azaltılması da söz konusu olur.

4. Maliyet açısından uygun olması durumlarında alışlagelmiş su kaynaklarının arıtma tesisleri ile desteklenmesi,

5. Kullanılmış olan suların en azından tekrar kullanma veya sulama suyu olarak

kullanılabilecek biçimde ön tasfiyelere tutularak devreye sokulması da planlanmalıdır.

Daha kısa zamanlarda çözümleme için su kaynaklarının artırımı yerine talebin kullanıcılar tarafından düşürülmesi için bazı tedbirlerin alınması da uygundur. Talebin ayarlanması iklim değişikliğine bağlı olduğundan fazlaca belirsizlikler ihtiva etmez. Bunlar arasında,

1. Su kullanımının sarf edilmeden gerekli yerlerde ve zamanlarda kullanılması için su birim fiyatlarının artırılması,

2. Su kaynaklarının korunma altına alınması için gerekli yasal ve idari tedbirlerin devreye sokulması,

3. Kuraklık zamanlarında su ihtiyacını en elverişli düşük seviyelerde sağlayabilmek için gerekli plan ve programların ortaya konulması,

4. İnsanların psikolojik olarak tahammül edebilecekleri talep seviyelerinde talebin sürekli karşılanabilmesi için ayarlamaların yapılması,

5. Yerleşim alanlarına haftanın belirli saat ve günlerinde yeterli miktarda kısıtlamalara gidilerek suyun verilmesi, sayılabilir. Bütün bu ayarlamalar esnasında bazı sorunlarda ortaya çıkabilir. Bunları da aşağıdaki başlıklar altında toplayabiliriz.

1. İklim değişikliği dolayısı ile yapılacak uyarlamaların akıllıca ve verimli biçimde yapılabilmesi için beklenen değişikliklerin doğası, yönü ve şiddeti ile ilgili öngörülerin mümkün olduğu kadar az kabul ile yapılması gereklidir. Kabul sayısı ne kadar artarsa yapılacak çözüm tedbirleri o kadar güvensizlik içerecektir.

2. Kullanılan GDM'lerinin sonuçları daha ziyade çok geniş dünya alanları için ortalama sıcaklık ve iklim değişiklikleri hakkında bilgiler sergiler. Yoksa bu modellerle bir yerin iklim değişikliği karşısında ne gibi durumlar arz edeceği güvenilirlikle öngörülemez.

3. Şimdiye kadar kullanılan iklim değişikliği öngörü modellerinin hepsinde durağan yani zamanla dinamik olarak değişmeyen öngörüler yapılır. Bu nedenle de yapılan öngörülerin kısa zaman sürelerinde ortaya çıkabilecek değişikliklere karşı cevapları fazlaca güvenilir olmayacaktır. İklim değişikliği daha ziyade ortalama değişim şeklinde bir artış gidişi (trendi) diye düşünülebilir. Ancak, iklim değişkenliği hesaba katılmaktadır. İklim değişikliğindeki kısa süre ve küçük alanlar üzerinde belirsizlikler olmasına rağmen, yapılan öngörüler acaba ne güvenilirlikle geçerlidir ve mühendislik uygulamalarına esas alınabilir?

4. Maliyetin önemli bir faktör olmaması halinde su kaynaklarının geliştirilmesi kullanım için gerekli suyun bulunmasına yarar. Ancak sosyal ve politik yönleri dolayısı ile su talebi ile oynamak, iklim değişikliği dolayısı ile ortaya çıkan durumları iyileştirmek için rahatlıkla kullanılamaz. Burada en önemli soru, iklim değişikliğinden ortaya çıkabilecek su eksikliklerini karşılamak için suyun korunması yeterli olabilecek midir?

5. Hem su kaynaklarının geliştirilmesi hem de talebin çeşitli durumlara göre değiştirilmesinin bir program dâhilinde yapılması sırasında ortaya çıkabilecek belirsizliklerin göz önünde tutulması gereklidir. Bu bakımdan risk hesaplarının da yapılması yararlıdır. Bu konudaki kararları etkileyecek olan belirsizlik kaynaklarından birisi de iklim değişikliğidir.

7. Su kaynaklarına etki

Avrupa ve Kuzey Amerika'nın birçok şehirlerinde içme suyunun bile temin edilmesi artık tehlikeli bir duruma gelmiştir. ABD'nin batı kısmında sık sık görülen kuraklıklar sonucunda tatlı su kaynaklarında azalma ve bunun neticesinde de sıkıntılar baş göstermeye başlamıştır. İngiltere ve Almanya son yıllarda hiç beklemedikleri kuraklıklara maruz kalmışlardır. Sera etkisi ve bunun doğuracağı iklim değişikliği su kaynaklarına aşağıdaki şekilde tesir edecektir.

1. Ilıman olan bölgelerde kışın düşen kar miktarında önemli azalmalar görülebilir. Nitekim İstanbul'da bundan 20-30 yıl önce görülen ve 50 cm kalınlığa kadar varan kar yağışlarına artık rastlanamamaktadır. Bunun anlamı daha az kar erimesi sonucunda azalan su kaynağı sonucunda ilkbahar aylarında bile kuraklığa rastlanması ve yaz aylarında su sıkıntısı dolayısı ile su kısıntılarına gidilmesi durumlarıdır. Bu hal İstanbul'da ortaya çıkmıştır.

2. Kurak süreler daha da kurak ve uzun süreli hale gelebilirler. Bu ise Tuna nehri gibi bazı büyük nehirlerin su seviyelerinde azalmaların meydana gelmesi ile buralardan su temini için alınacak miktarlarda çok önemli azalmalar ortaya çıkacaktır. Su biriktirme haznelerindeki su seviyelerinde de devamlı azalmalar görülecektir. Hali hazırda su yetersizliği olan yerlerde daha da fazla su sıkıntısının çekilmesi mümkündür. Sıcaklığın artması sonucunda artan buharlaşma dolayısı ile bu haznelere olan buharlaşma kayıpları da artar. Sıcaklığın artması kurak bölgelerin çölleşmesine sebep olur. Su bakımından yeterli olan yerlerde su kaynaklarının miktar ve kalitesinde azalmalar görülür. Nüfusun fazla olduğu yerlerde suya olan talebin de rol oynaması ile çözümü zor olan su sorunları yaşanabilir.

3. Sıcaklığın artması ile sahil kenarlarındaki su kaynaklarının miktarında da azalmalar görülecektir. Sıcaklık artışı deniz seviyesinin artmasına, bu da tuzlu suyun tatlı yeraltı sularına nüfuz etmesine sebep olur. Mesela deniz seviyesi 30 cm artacak olursa bunun tuzlu su girişi yeraltı akiferlerinde karalara doğru 10-20 km olacaktır. Bu ise büyük yeraltı suyu kaybı demektir. İç kısımlardaki kuyuların ve akiferlerin tuzlanması ile de su temin etme sisteminde kullanılan kuyular devre dışı kalabilir.

4. Su sıkıntısı sorununu çözebilecek yaklaşımların maliyetleri astronomik seviyelerde olacağından pratikte uygulanamaz.

5. Azalan yağışların etkisi ile atık suların tasfiye edilmesinde bazı güçlüklerle karşılaşılır. Azalan yağışlar nehirlerin karıştırarak konsantrasyonunu azaltacak kadar tatlı suya sahip olmamaları denizlere akan suların kirli kalmalarına sebep olacaktır. Bu durum ayrıca bu nehirlerin su kaynağı olarak kullanılamaz hale gelmesi sonucunu doğurur. Yağmur suyu ile aynı şebekede nakil edilen atık suyun kanallar veya kapalı borular ile uzaklara nakledilmesi gerekeceğinden maliyette aşırı artışlar olacaktır.

Su kaynaklarına iklim değişikliğinin etkileri ve su yönetimi açısından göz önünde tutulması gerekli noktalar arasında şunlarda bulunmalıdır.

1. Yağışların zaman ve bölgesel dağılım dokusu değişecek ve daha yoğun yağışlı günler ortaya çıkacaktır,

2. İklim değişikliğini modelleyen Genel Dolaşım Modelleri sıcaklığın 2 ile 4 derece artmasının ortalama küresel yağışları %3 ile %15 arası artıracağını göstermektedir,

3. Yağışların bölgesel dağılımı oldukça belirsizdir, özellikle kış aylarında yüksek enlemlerde yağışın artması beklenmektedir,

4. Sıcaklığın artması ile potansiyel buharlaşma+termelenin artması doğaldır. Bunun sonucunda yağışların artmasına rağmen buharlaşma+terleme oranlarının artması yüzey akışının azalmasına sebep olacaktır. Bunun anlamı da mümkün olabilecek yenilenebilir su arzının ve özellikle de hidroelektrik enerjinin azalması söz konusudur,

5. Yüksek enlemlerde yağışın artması sonucu daha fazla olacak yüzey akışının aksine orta enlemlerde fazla buharlaşma ve az yağış sonucu akarsu havzalarında daha az akış ve daha fazla su sıkıntıları baş gösterecektir,

6. Birçok bölgede taşkın sıklıkları artacaktır ama bunların tepe debilerinde belirsizlikler hüküm sürecek ve etkisi değişik su havzalarında havza özelliğine göre farklı

olacaktır. Bazı bölgelerde de taşkınlar daha az ortaya çıkacaktır,

7. Kuraklıkların sıklık ve şiddeti yağışların azalması nispetinde artacaktır. Böylece daha sık kurak devreler ve yüksek buharlaşma+terleme olacaktır (bu ise sürekli su kaybı demektir),

8. Kurak ve yarı-kurak bölgelerde iklim değişikliğine olan hassasiyet artacaktır. Bazı bölgelerde göreceli olarak az sıcaklık ve yağış değişimleri büyük miktarlarda akışlara, taşkın ve kuraklık şiddetlerin de artmalarına sebep olabilecektir,

9. Mevsimlik farklılıklar ortaya çıkabilir ve bunun sonucunda özellikle dağlık bölgelerde su kaynaklarında azalmalar olabilir. Bu durum kardan fazla yağış düşmesine ve kar birikimlerindeki süre ve hacim azalmalarına bağlıdır,

10. Su kalitesi sorunları az akışların bulunması durumlarında önem kazanır, çünkü bu durumlarda doğal ve insan kaynaklı kirlenmelerin etkisi fazla olur,

8. Sonuçlar

Genellikle, su kaynaklarının küresel ısınma ile iklim değişikliğine maruz kalacağı bugün için bilinen bir gerçektir. Ancak bu etkinin yerel ve zaman bakımından etkilerinin ne olacağı tam kesin olarak öngörülememektedir. Bu bakımdan, bugün için bulunan su kaynaklarının dünyanın bazı yerlerinde gelecek 50 yıl içinde yetersiz kalması ve bunda iklim değişikliğinin büyük rol oynaması mümkün görülmektedir. İşte bu yazıda önce dünya ölçeğinde iklim değişikliklerinin su kaynakları bakımından genel değerlendirmesi yapılmış ve bunun sonunda bu etkilerin Türkiye su kaynaklarına olabilecek etkilerinin neler olabileceği ayrıntılı biçimde tartışılmıştır. Yapılan yaklaşık hesaplamalarla bugün için Türkiye’de bulunan 26 su toplama havzasında gelecek 50 yıl içinde çıkabilecek azalma miktarları gösterilmiştir. Türkiye alt tropikal iklim kuşağında bulun-

ması nedeni ile mümkün iklim değişikliklerinin gelecekte tesiri altında önemli ölçüde kalan yerlerden biri olacaktır.

1. Risklerin azaltılması için **eğitim** ve **öğretim** ile elde edilen bilgilerin ve verilerin ortaklaşa kullanılarak bilimsel sonuçlara varmak gereklidir.

2. Ancak böyle bir yaklaşımda **hava** ve **meteoroloji** ile ilgili **bilgi, yorum** ve verilerde çok eksikliğin olduğu anlaşılabilir. tedir.

3. **Hava paternlerinin** iklim değişikliklerine ve bunun sonucunda da insan **mal** ve **hayatına** olabilecek zararlarının belirlenmesi gereklidir.

4. Değişik **zaman** ve **konumlarda** ortaya çıkabilecek **risklerin** belirlenmesi istenir.

5. Her ülkenin kendisinin geliştirdiği doğal kaynaklı **afetlerin riskleri** ile ilgili **hazırlamaların** bulunması gereklidir.

6. Temel iklim verilerinin elde edilmesi oldukça **masraflı** olmasına karşılık bunların işlenerek değişik **kurumların** amaçlarına faydalı bir şekilde incelenerek **yorumlanmaları** sayılamayacak kadar fazla faydalar temin eder.

7. Değişik **kamu** ve **özel** kurum ve şirketlerin kendi başlarına çalışmalarından başka **ortaklaşa** çalışmaların yapılmasında yararlar vardır.

8. İnşaat sektöründe **yapı standartlarının** belirlenmesinde **hava koşullarının** göz önünde tutulmasında standart ve gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Özellikle rüzgâr ve kar yükleri önemlidir.

Kaynaklar

IPCC, (1996). Climate Change 1995. The Science of Climate Change: Contributions of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge University Press.

Erinç, S., 1986. Klimatoloji ve metotları. ALFA Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 538 sayfa.

Frederick, K.D., and Major, D.C. (1997). Climate Change and Water Resources.. Climate Change and Water Resources Planning Criteria, Edited by Kenneth D. Frederick, David C. Major and Eugene Z. Stakhiv. Kluwer Academic Publishers, 313 pp.

Timuçin, A., (2000). Düşünce Tarihi I. Gerçekçi Düşüncenin Kaynakları. Bulut Yayınevi, 440 sayfa.

Schneider, S.H., Gleick, P.H., and Mearns, L.O., (1990). Prospects of Climate Change, in Waggoner, P.E., ed., Climate Change and US Water Resources, 41-73, John Wiley and Sons, New York.

Schaake, J., (1990). From Climate to Flow, in Waggoner, P.E. ed., Climate Change and US Water Resources, 177-206, John Wiley and Sons, New York.

SU VAKFI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KÜLLİYESİNDE DAHA ÖNCE YAYINLANAN BÜLTENLER

SAYI 2	İklım Değişikliğinin Türkiye Su Kaynaklarına Etkisi <i>Zekâi ŞEN ve Ahmet ÖZTOPAL</i>
2017 Ocak (January)	
TÜRKÇE	
SAYI 1	Atmosferdeki CO ₂ Seviyesi 400 ppm'i Aştı <i>Ahmet ÖZTOPAL</i>
2016 Aralık (December)	
TÜRKÇE	

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



SU VAKFI

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